



Simulating Heavy Precipitation with HARMONIE, HIRLAM and WRF-ARW: A Flash Flood Case Study in Istanbul, Turkey

Hüseyin Toros^{1*}, Abdullah Kahraman², Seyda Tilev-Tanriover³, Gertie Geertsema⁴, Gerard Cats⁵

¹Istanbul Technical University, Faculty of Aeronautics and Astronautics, Department of Meteorology, Maslak, 34469, Istanbul, Turkey, toros@itu.edu.tr

²Samsun University, Faculty of Aeronautics and Astronautics, Department of Meteorological Engineering, Samsun, Turkey

³Abu Dhabi Polytechnic, Meteorology Department, Abu Dhabi, UAE

⁴Royal Netherlands Meteorological Institute, De Bilt, The Netherlands

⁵Utrecht, Nederland, gjcats@gmail.com

(First received 11 April 2018 and in final form 1 August 2018)

(DOI: 10.31590/ejosat.417535)

Abstract

The paper discusses the ability of three different numerical weather prediction models (HARMONIE, High Resolution Limited Area Model (HIRLAM) and WRF) to forecast a heavy precipitation event that occurred on 8–9 September 2009. The precipitation forecast for each model is compared against rainfall observations from 28 meteorological stations in the region. All models are performed on domains centred on the Thracian region (north-western Turkey). All three models forecast heavy precipitation in the area; however, the locations of the most intense rainfall are off by several tens of kilometres. The models forecast good signals of heavy precipitation, but locations of the forecasted maxima are shifted with respect to the observed locations.

Key words: Rainfall, natural hazards, forecasting, modelling, NWP

İstanbul'da 8-9 Eylül 2009'da Meydana Gelen Aşırı Yağışın HARMONIE, HIRLAM ve WRF-ARW ile Simülasyonu

Öz

Bu çalışmada, 8–9 Eylül 2009 tarihlerinde meydana gelen aşırı yağışın üç farklı sayısal hava tahmin modeli (HARMONIE, Yüksek Çözünürlük Sınırlı Alan Modeli (HIRLAM) ve WRF) kullanarak tahmin yeteneklerini değerlendirmektedir. Her bir model yağış tahminleri bölgedeki 28 yağış gözlemleriyle karşılaştırılmıştır. Tüm modeller İstanbul batısı baz alınarak çalıştırılmıştır. Her üç modelde bölgede yoğun yağış tahmin etmektedir, ancak, en yoğun yağış alanlarının yerleri onlarca kilometre uzaklıktadır. Modeller, aşırı yağışların sinyallerini iyi tahmin etmektedir, ancak maksimumların konumları, gözlenen yerlere göre farklıdır.

Anahtar kelimeler: Yağış, doğal felaketler, tahmin, modelleme, sayısal hava tahmini

1. Introduction

Flash flood is an important hydrometeorological phenomenon that causes widespread disruption, damage and loss of lives. The number of the natural disasters has been increasing in frequency and becoming more hazardous worldwide over the last few decades: The International Database reports indicate that the number of reported natural disasters was about 30 per year in the 1950s and more than 400 per year since 2000 (EM-DAT 2012). Furthermore, the number of people affected by such disasters has risen from about 25 million per year in the 1960s to some 300 million per year since 2000 (EM-DAT 2012). The main cause of this trend is the increasing number of climate-related disasters (EM-DAT 2012). Floods are responsible for 40% of all natural disasters and half of the loss of lives around the world (Bich et al. 2011).

In the last decade, some significant flood events with a major economic and social impact have occurred in various countries, with different climatic conditions, and from river basins that differ in both size and topography (Knight and Samuels 2007). During flood events, property and the risks to life are usually more severely affected in urban areas, depending on their topography, where changes to stream channels during urban development and population growth, as well as inadequate maintenance can limit the capacity to cope with flood-waters in urban areas.

It is known that the Mediterranean region is subject to flash flood events, as studied numerous times by different scientists. Three heavy rain cases were studied over the western Mediterranean (Doswell et al. 1998), based on the physical processes that drives the precipitation. The synoptic and mesoscale mechanisms of a long-lasting heavy precipitation

were discussed for the event that occurred on 12–13 November 2004 in southeastern Italy using observations and numerical outputs (Mastrangelo et al. 2011). The geographical aspects of two flash floods over southern France, one on 12–13 November 1999 and one on 8–9 September 2002, were studied, which caused 35 and 23 fatalities respectively (Vinet et al. 2008). As a Mediterranean country, Turkey also undergoes floods, with its complex topography favoring lift and overflow. Destructive flood events occur in Turkey with an average of 18 cases and 23 fatalities per year (Gurer and Ozguler 2004). The government has paid for a large part of the damage after each event, in addition to losing significant revenue due to the consequences of economic disruption (Gurer and Ozguler 2004). According to flood reports prepared by the General Directorate of State Hydraulic Works, on average, 90 million US\$ of flood damage has occurred per year (Kılıçer and Özgüler 2002). The number of floods was 69 in 2007, 42 in 2008 and 125 in 2009. Two of these occurred in the northwest part of Turkey on 8–9 September 2009, which caused 31 deaths and resulted in approximately 90 million US\$ of financial damage. According to local news, two days of torrential rain triggered flash floods, sweeping cars into the sea and sending gushing water into homes and businesses. These were considered as the most catastrophic floods in recent history of Turkey, following the 1957 Ankara and 1995 Izmir floods. A number of studies have focused on the synoptic and dynamic analysis of these violent flash flood events (Schipper and Erturk 2009, Kömüştü et al. 2011, Çelik et al. 2010, Kömüştü et al. 2010).

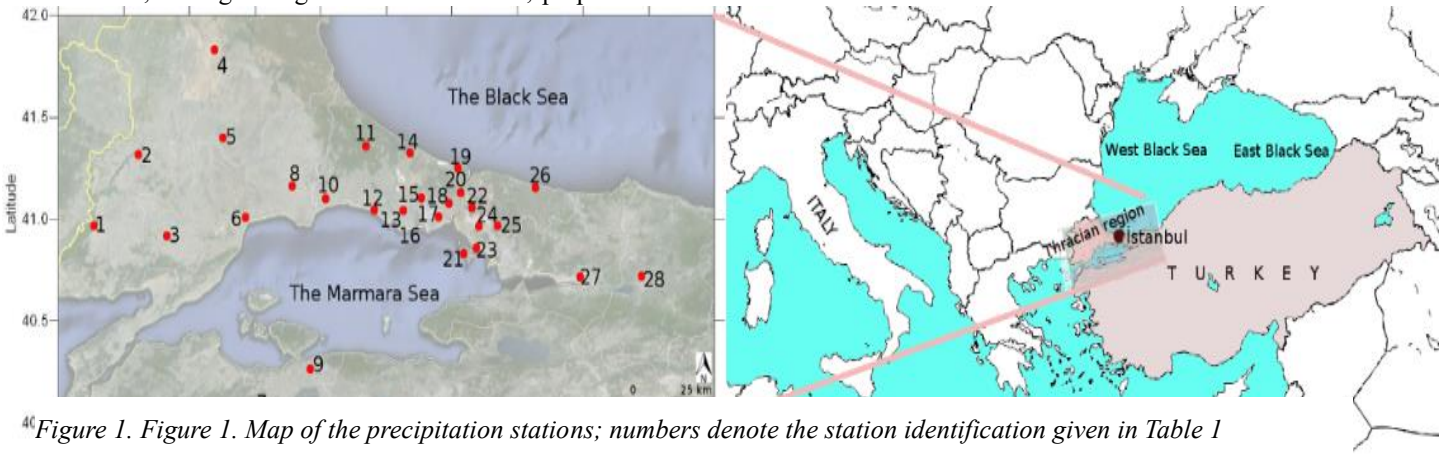
Several research centers, universities and institutes are developing models for the prediction of heavy precipitation around the world. WRF-ARW is a community model, developed by many institutes in the United States and elsewhere, widely used in atmospheric sciences both in research and operations (NCAR UCAR, 2018). It is a fully-compressible, Eulerian and non-hydrostatic model, using the Arakawa-C grid system and terrain-following vertical levels. On the other hand, HIRLAM is a Europe-based model, built with the collaboration of national meteorological services (initiated by Nordic countries). It is a hydrostatic model with semi-Lagrangian dynamics and hybrid vertical coordinates. The Arakawa-C grid system is also used in HIRLAM (for more details, see <http://hirlam.org>). HARMONIE is another Europe-based model, having strong ties with HIRLAM, prepared for

rapidly developing small-scale systems and can be strongly influenced by local terrain characteristics like orographic forcing and land-sea interaction (Chessa et al. 2004). The flood events on 8–9 September 2009 were studied using HIRLAM and HARMONIE models. They ran the models at ECMWF using the default settings with resolutions of 11 km and 2.5 km for these models to investigate whether the NWP models can forecast excessive precipitation in the Istanbul area (Toros et al. 2010). They obtained 24-hour accumulated precipitation forecasts by these models, which were quite high compared to the climatology, but were still far below the observed amounts, and there is a location error for precipitation. In this study, these models and the Weather Research and Forecasting (WRF) modelling system are used to simulate the above-mentioned heavy rain event, and the outputs are compared.

The performance of the models is evaluated by examining different predicted parameters, such as the upper and lower level circulations, moisture, temperature and precipitation. The goal of the study is to examine the performances of the HIRLAM/HARMONIE/WRF models for the simulation of the severe precipitation event of 8–9 September 2009 over the western part of Istanbul with varying horizontal resolutions.

2. Materials and methods

Twenty four-hour observed precipitation data for the event were obtained from the Turkish State Meteorological Service (TSMS) and Istanbul Metropolitan Municipality (AKOM). Hourly precipitation data from 28 stations in the study area and nearby have been used. The location of these sites can be seen in Figure 1. Numbers in this plot refer to the numbers in Table 1 where the station name and the location in latitude and longitude can be found. Table 1 also provides the 24-hour accumulated precipitation values.



⁴⁰Figure 1. Figure 1. Map of the precipitation stations; numbers denote the station identification given in Table 1

mesoscale simulations, with a non-hydrostatic dynamical core.

A high level of horizontal and vertical resolution in physical space is very important when predicting severe weather events, since such weather is often associated with

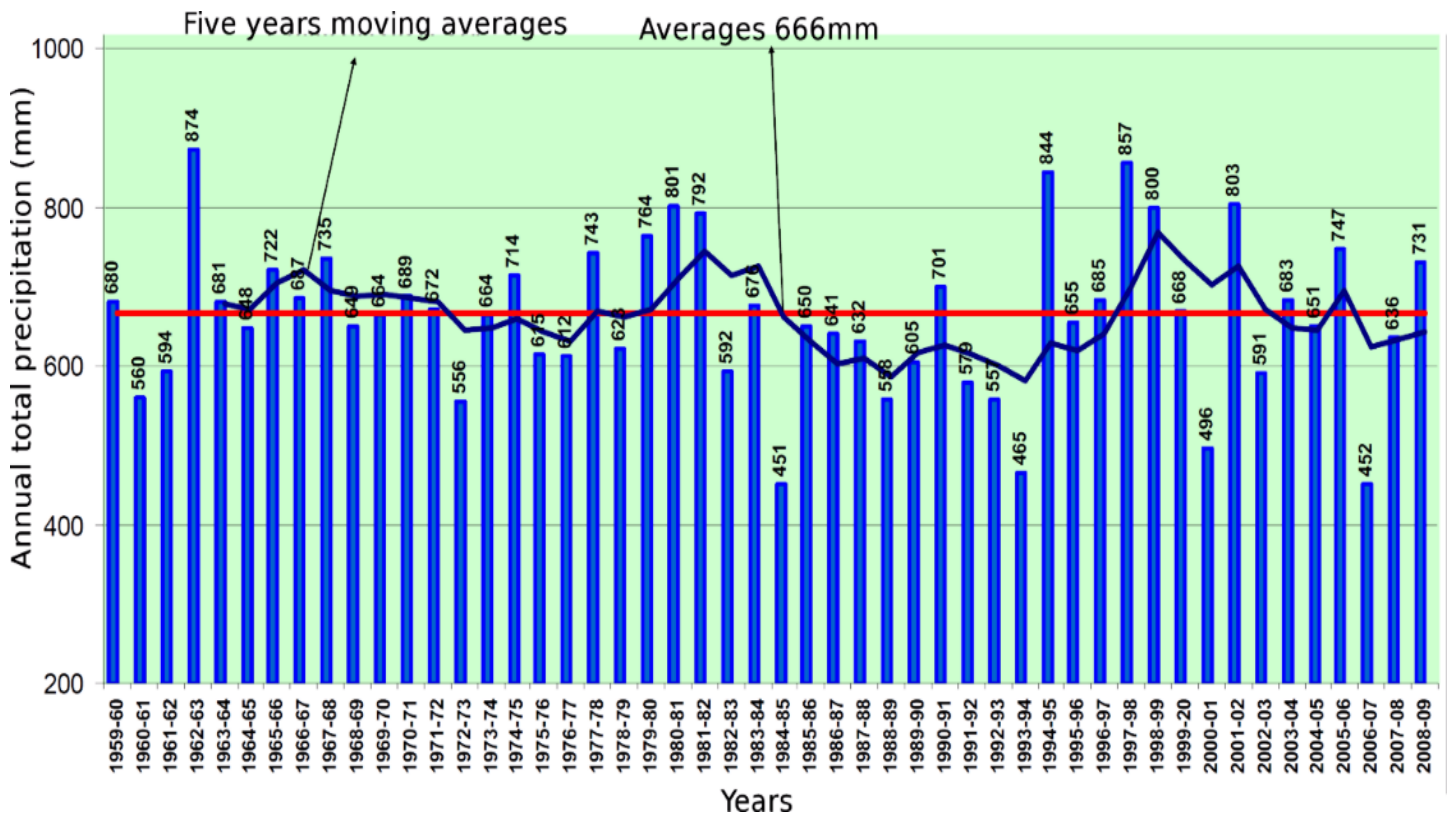


Figure 2. Long-term annual total precipitation (1959-2009) in the region (TSMS, 2010).

2.1. Study Area and Climate

Istanbul, as the business and cultural capital of Turkey and home to about 15 million people, has grown rapidly over the last several decades. It has historically been vulnerable to natural disasters. The climate of Istanbul can be characterized as a transition between Mediterranean and temperate. In the summer, the weather is generally warm and humid with very little rain, whereas the winter can be cold and wet with some snow. The spring and autumn seasons are mild. Istanbul covers a large area and has a complex topography with the Bosphorus Seawater Strait extending from the Black Sea to the Marmara Sea and separating the Asian and European sides of the city. The average annual precipitation in the northwestern part of Turkey, the Marmara Region, is approximately 666 mm, with a range from 451 mm–874 mm (Figure 2). For the two-day period of our case study, the 48-h accumulated precipitation values shown in Table 1 are at some observation sites up to 253.8 mm (Bandırma), which is roughly 38% of the annual average.

2.2. Numerical Models Setup for the Run

HIRLAM, non-hydrostatic convection-permitting model (HARMONIE) and Advanced Research Weather Research and Forecasting Model (WRF-ARW) are used for the simulation of this heavy rain case. HIRLAM is a grid-point model using the Arakawa-C grid, developed by the HIRLAM cooperation. It has

a hydrostatic dynamic core, with hybrid vertical coordinates. It is based on a semi-implicit semi-Lagrangian discretization of the multi-level primitive equations (Undén et al. 2002). HARMONIE is a spectral model built by HIRLAM and ALADIN, with a two time-level semi-implicit semi-Lagrangian discretization of the fully-elastic equations. It has non-hydrostatic and hydrostatic options. Vertical coordinates are hybrid. The model core is developed by ALADIN, and the parameterizations are adopted from AROME, which has been developed by the meso-NH community. Detailed information can be accessed from <http://hirlam.org>. The HARMONIE and HIRLAM models were run at ECMWF using the default settings. The model configurations are given in Table 2. WRF-ARW is a widely-used open-source community model. Dynamics are non-hydrostatic with a hydrostatic option. It uses the Arakawa-C grid structure, a third-order Runge-Kutta integration scheme and eta vertical coordinates (Skamarock et al. 2008). Configurations for the WRF model are also shown in Table 2. All of the experiments were started at 00 UTC on 6 September 2009, except for HIRLAM HL2.5/HL11, which started at 0600 UTC on 6 September 2009. HARMONIE, as well as HIRLAM HL11/EC and HL2.5/EC are nested within ECMWF analysis, but HIRLAM HL2.5/HL11 is nested in HL11/EC. The domains used for the simulations can be seen in Figure 3, where 24-hourly precipitation for 7 September 2009 is also plotted.

Table 1. Station id, name, longitude, latitude, altitude (m) and available daily total observed precipitation (8 September 2009 data for Terkos (id 14) did not include data from 08:00–23:00, so the amount given is for 9 hours only).

| Id | Stations | Long. (°) | Lat. (°) | Alt. (m) | Precipitation (mm) | | |
|---------|------------|-----------|----------|----------|--------------------|-------|-------|
| | | | | | Sep 8 | Sep 9 | Total |
| 1 | Ipsala | 26.37 | 40.92 | 10 | 50 | | 50 |
| 2 | Uzunköprü | 26.69 | 41.25 | 52 | 33 | | 33 |
| 3 | Malkara | 26.91 | 40.89 | 207 | 28 | 5 | 33 |
| 4 | Kırklareli | 27.22 | 41.74 | 232 | 25 | 2 | 28 |
| 5 | Luleburgaz | 27.31 | 41.35 | 46 | 37 | 11 | 48 |
| 6 | Tekirdag | 27.49 | 40.99 | 4 | 43 | 7 | 50 |
| 7 | Gönen | 27.64 | 40.11 | 37 | 122 | 6 | 128 |
| 8 | Çorlu | 27.82 | 41.15 | 183 | 30 | 18 | 48 |
| 9 | Bandırma | 27.99 | 40.33 | 63 | 109 | 144 | 254 |
| 10 | Çanta | 28.08 | 41.10 | 116 | 44 | 56 | 100 |
| 11 | Çatalca | 28.35 | 41.34 | 104 | 204 | 36 | 240 |
| 12 | Kamiloba | 28.43 | 41.05 | 54 | 65 | 97 | 162 |
| 13 | Hadimköy | 28.63 | 41.05 | 183 | 41 | 114 | 155 |
| 14 | Terkos | 28.67 | 41.32 | 4 | 49 | 80 | 128 |
| 15 | Olimpiyat | 28.77 | 41.10 | 100 | 50 | 175 | 225 |
| 16 | Florya | 28.79 | 40.97 | 37 | 27 | 79 | 107 |
| 17 | Aksaray | 28.90 | 41.03 | 4 | 15 | 11 | 26 |
| 18 | Akom | 28.97 | 41.10 | 88 | 33 | 38 | 71 |
| 19 | Kumköy | 29.04 | 41.25 | 38 | 25 | 66 | 91 |
| 20 | Sarıyer | 29.05 | 41.14 | 59 | 65 | 41 | 107 |
| 21 | Büyükada | 29.08 | 40.87 | 188 | 42 | 2 | 44 |
| 22 | Çavuşbaşı | 29.15 | 41.08 | 137 | 8 | 23 | 31 |
| 23 | Kartal | 29.18 | 40.89 | 28 | 10 | 27 | 37 |
| 24 | Samandıra | 29.20 | 40.99 | 123 | 15 | 11 | 26 |
| 25 | Ömerli | 29.33 | 41.00 | 153 | 7 | 5 | 12 |
| 26 | Şile | 29.60 | 41.17 | 83 | 3 | 13 | 16 |
| 27 | Kocaeli | 29.93 | 40.77 | 76 | 1 | 5 | 5 |
| 28 | Sakarya | 30.39 | 40.77 | 30 | 5 | 69 | 74 |
| Average | | | | | 43 | 41 | 83 |

Table 2. A summary of the characteristics of the models.

| Model feature | HARMONIE | HIRLAM | | | WRF | | |
|------------------------------|-------------------|----------------------------|------------------------------|------------|--|------------|-------------|
| Experiment | HM2.5/EC | HL11/EC | HL2.5/EC | HL2.5/HL11 | WRF24/EC | WRF8/WRF24 | WRF2.7/WRF8 |
| Exp. Begin Time (UTC) | 2009090600 | | | 2009090606 | 2009090600 | | |
| Version | Cy35h1.3 | 721 | 721 | 721 | v3.2 | | |
| Horizon. resolution (km) | 2.5 | 11 | 2.5 | 2.5 | 24 | 8 | 2.7 |
| Vertical levels | 60 | | | | 45 | | |
| Projection | Lambert Conformal | | | | | | |
| Nodes in x | 400 | 438 | 406 | 406 | 200 | 196 | 211 |
| Nodes in y | 400 | 400 | 400 | 400 | 150 | 196 | 175 |
| Coordinates (lon; lat) | 28.8;41.0 | -19.9S, -22.0W, 20N, 21.7E | -4.39S, -4.46W, 4.39N, 4.46E | | ref_lat = 45.00, ref_lon = 20.00, truelat1 = 35.0, truelat2 = 50.0, stand_lon = 30.0 | | |
| Coordinates of South pole | | -50.0;30 | -49.0;28.8 | -49.0;28.8 | - | - | - |
| Time step fc (s) | 60 | 360 | 80 | 80 | 50 | 20 | 15 |
| Time step lower res. DA, (s) | - | 1800 | 396 | 396 | - | - | - |
| Dynamics | Non-hydrostatic | Hydrostatic | | | Non-hydrostatic | | |
| Physics | Arome | Hirlam | | | Kain-Fritsch, WSM6class | | |
| Surface | Surfex | ISBA | ISBA | ISBA | NOAH LSM | | |
| Forecast length, (h) | 24 | 48 | 24 | 24 | 96 | | |
| Analysis | 3DVAR | 4DVAR | | | ECMWF | | |
| Boundaries | ECMWF | ECMWF | ECMWF | HL11 | ECMWF | WRF24 | WRF8 |

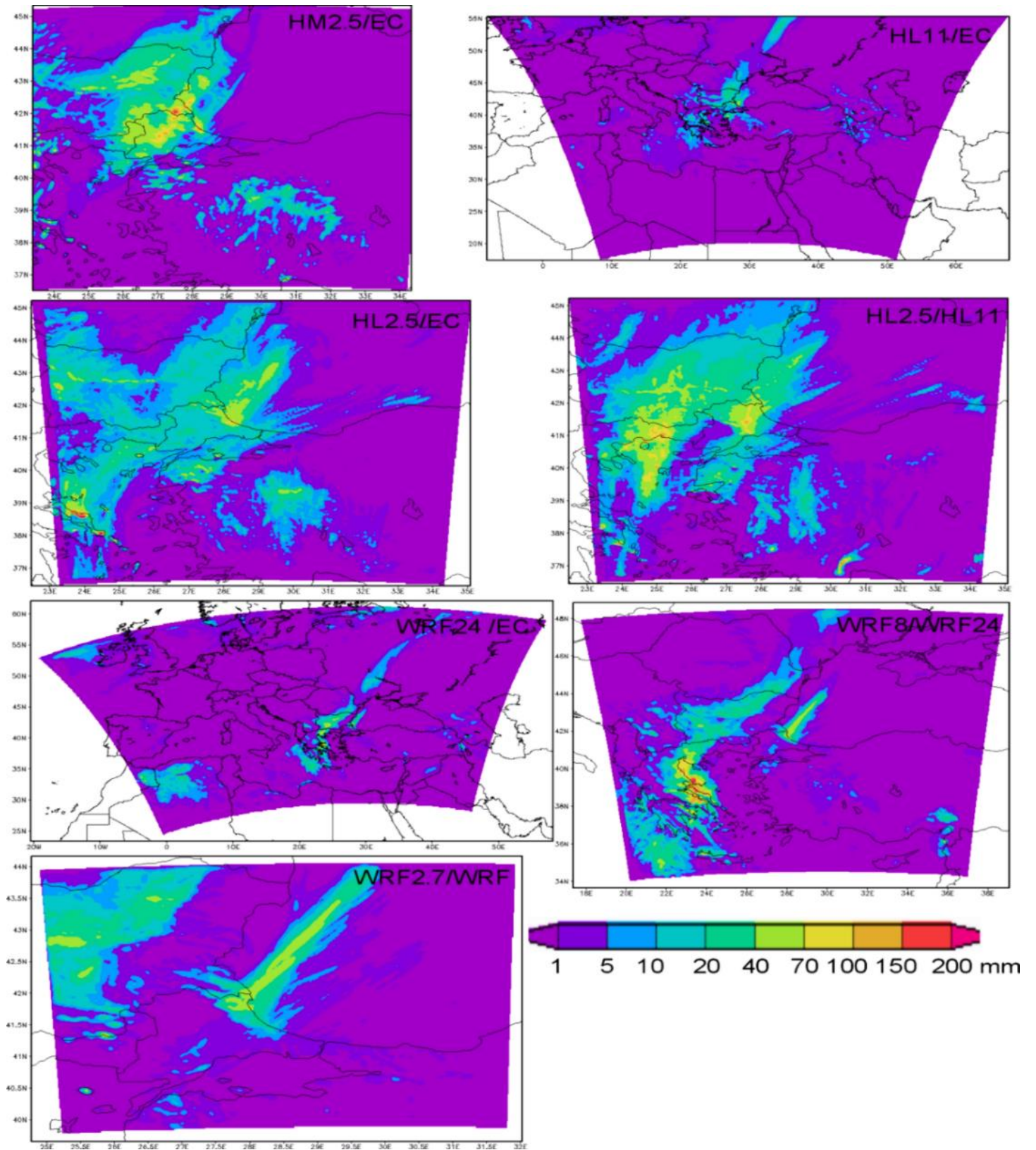


Figure 3. Domains of all models. Accumulated 0–24-hour precipitation forecast from 00 UTC 7 September–00 UTC 08 September. The plotted area shows: (a) HARMONIE HM2.5/EC, (b) HIRLAM HL11/EC, (c) HIRLAM HL2.5/EC, (d) HIRLAM HL2.5/HL11, (e) WRF24, (f) WRF8, (g) WRF2.7.

3. Heavy Rain Case

3.1. Synoptic Situation

On 6 September 2009, a low pressure system was centered over the Baltic Sea with a long north-to-south-oriented frontal zone affecting Northern and Eastern Europe (Figure 4). The edge of the cold front was related to the system approaching the western part of the Black Sea, while inland areas of Europe were under the effect of a strong high pressure center. As this strong high pressure system moved eastwards on 7 September 2009, the frontal zone was stretched out, reaching the northwestern Marmara Region. On 8 September 2009, the front became quasi-stationary, with a relatively strong northeasterly flow over the region and fractured afterwards on 9 September 2009, favoring severe convective storm environments remaining in the area of interest until 10 September 2009. It seems that heavy precipitation areas observed and simulated in this flash flood event are associated with wind patterns as the cloud band moves eastwards. In Figure 5, the formation of the cut-off low at 500 hPa over the area due to the fracture of the stretched front by anticyclonic forcing could be seen. The evolution of this pattern resulted in a semi-persistent gradient of 500–1000 hPa thickness over the Marmara Region. There was a northeasterly low level jet at 850

hPa reaching 18 m/s over Istanbul on 7–8 September 2009, transporting moisture from the western part of the Black Sea. Cold air aloft and moist air near the surface center favored training storms over the study area, triggered by previous convection outflows, the front and topography. After 9 September 2009, the system lost its strength and dissipated while moving eastwards.

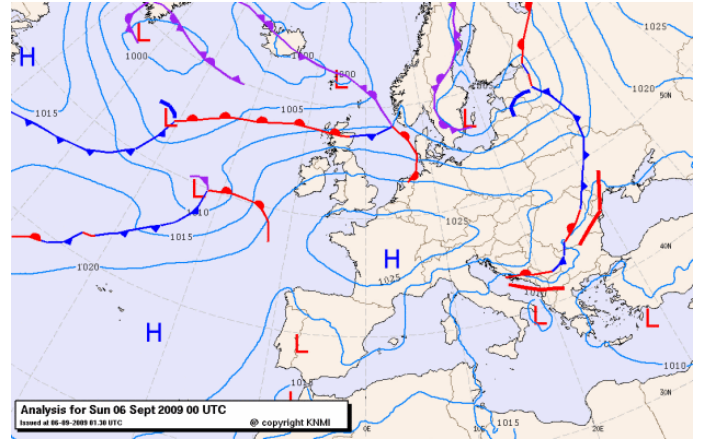


Figure 4. Weather chart showing the surface analysis for 00 UTC 6 September 2009 based on the operational HIRLAM analysis (courtesy: KNMI operational service).

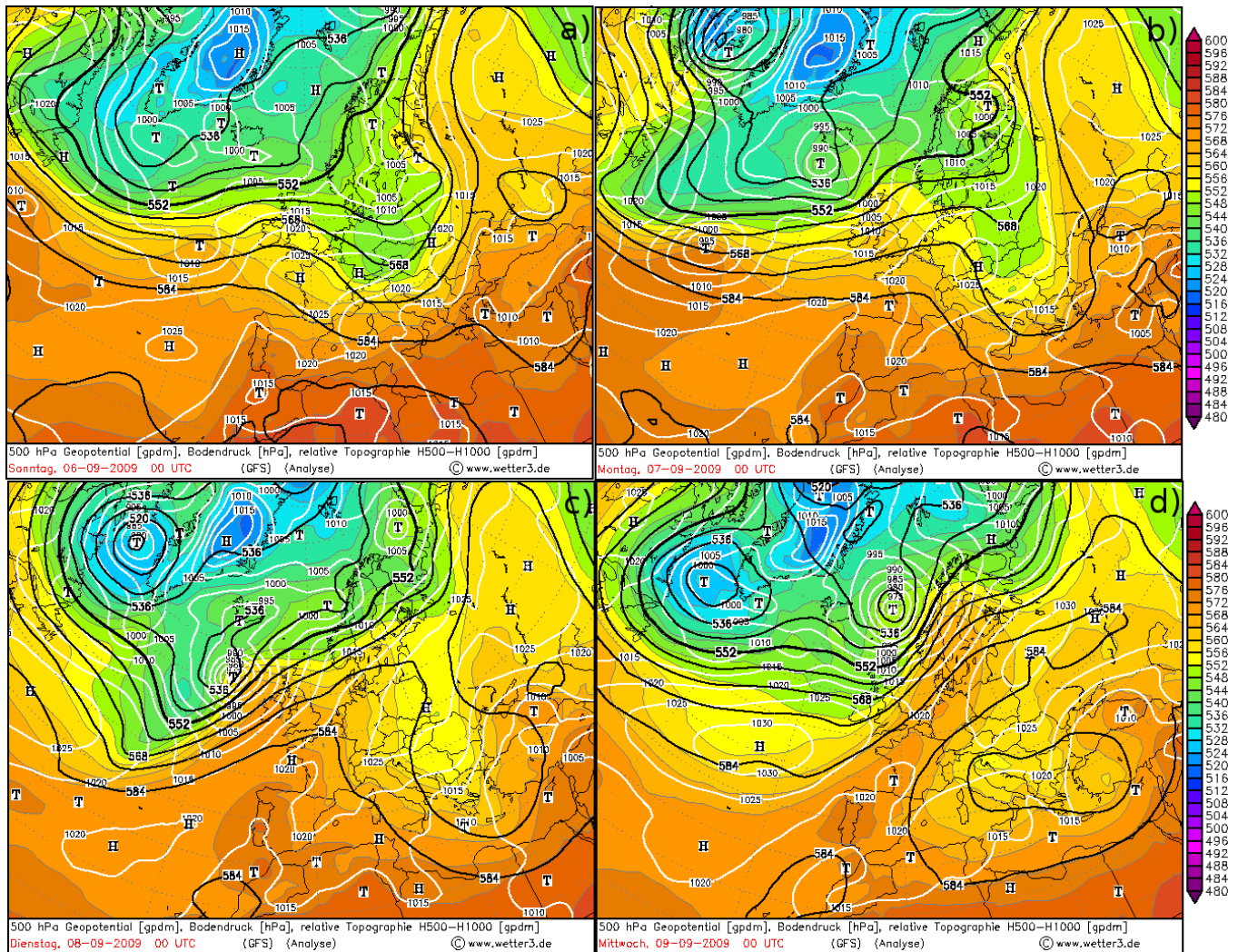


Figure 5. Mean sea level pressure, 500 hPa geopotential height and 1000–500 hPa thickness analysis of the GFS model between 6 and 9 September 2009 (retrieved from *wetter3.de*, 2010).

3.2. Observations

On 8 September, within a span of a few hours, the western parts of Istanbul received exceptionally large amounts of precipitation, with Çatalca, located around 150 km northwest of central Istanbul, recording over 204 mm of precipitation for 8 September. Heavy precipitation of 65 mm was observed at Kamiloba, located on the coast around 60 km southwest of the city center. Sarıyer, located west of the Bosphorus, received 65 mm of precipitation. However, Şile, on the north coast of Asian Istanbul, received less than 3 mm.

On 9 September, heavy precipitation of 175 mm was observed at Olimpiyat, located on the coast around 5 km northwest of the Basın Express highway, which connects two main highways to one another and the most important road leading to Turkey's biggest airport.

Hourly precipitation data from the 28 stations is given in Figure 1. The precipitation in the region in two days was around 83 mm on average, which is about 13% of the mean annual total precipitation, while in Çatalca, it was 240 mm, more than one third of the annual total. (see Table 1).

4. Results and Discussion

Due to some modelling constraints, accurate prediction of precipitation, in terms of both location and amount, is a challenging issue for numerical weather prediction. Primary sources of precipitation forecast errors in complex terrain are the spatial resolution of simulations, model initialization errors, representation of physical processes in clouds and the representation of land use characteristics of the domain in the models. Verification of the predicted precipitation is also a problematic issue, especially for this kind of convective heavy precipitation event, due to the extreme heterogeneity of their spatial distribution and the limited number of available observations; considering the limitation of grid point verification for this kind of convective event, and considering the limitation of Grid 156 point verification for these 157 convective events of this type.

4.1. Discussion for 8 September 2009

The front and the cloud band on 0600 UTC 8 September 2009 can be seen in Figure 6a,b. Daily precipitation observations from stations indicate that the spatial distribution of precipitation is quite inhomogeneous over the study area. On 0600 UTC 8 September 2009, 204 mm of precipitation are observed in Çatalca, in the northern part of western Istanbul, and 3 mm are observed in Şile, on the Black Sea coast of eastern Istanbul, approximately 100 km away from Çatalca (Figure 6d). Gönen and Bandırma in the southern part of the Marmara Sea also observed more than 100 mm of precipitation, demonstrating the low level propagation of the storms with a northeasterly origin. The southern coast of Istanbul, as well as the Bosphorus received around 40 mm of daily precipitation, with values ranging between 7 mm and 65 mm. The flash flood of 8 September 2009 occurred around Silivri, shown

in Figure 6d, with precipitation observations of 65 mm to the east (Kamiloba station) and 44 mm to the west (Çanta station). The peak of 204 mm of precipitation is observed at the Çatalca radar site, which has an elevation of 378 m and is approximately 25 km north of Silivri. An image of the daily precipitation amount derived from the Istanbul radar is given in Figure 6c. Compared with the station observations, it is clear that these derived estimates are far below the real precipitation. However, the overall pattern of the precipitation distribution is quite well matched. According to the radar-derived daily precipitation estimate, the highest amount of rainfall is observed in the northern part of western Istanbul. Precipitation in Terkos (49 mm, without data between 0800 and 2300) might be as high as Çatalca, as well as the area between them. The daily peak in the radar image extends to the middle of the peninsula, southeastwards of Çatalca, but there is no station around that region.

In general, the model outputs do not represent the highest amount of precipitation observations. With its 2.5-km grid-size, HARMONIE is the model that has the highest precipitation peaks, reaching 200 mm in the region (Figure 6e). However, the spatial distribution of precipitation is quite different from the observations. According to HARMONIE, the maxima are around downtown Istanbul and the western part of Bandırma. The HIRLAM model, with an 11-km grid-size, has a better spatial distribution of the daily precipitation, but the amount near northwestern Istanbul reaches 40–70 mm (Figure 6f). The 2.5-km HIRLAM with ECMWF input shifts the precipitation farther north, though it gives similar amounts (Figure 6g). On the other hand, the same model with the same horizontal resolution, but with HIRLAM 11-km input depicts a very different distribution of precipitation, carrying most of the rainfall over the Marmara Sea and westwards (Figure 6h). Maximum precipitation amount is higher with this simulation. In general, HIRLAM forecasts the precipitation on the wind side of the hill range. In HARMONIE, on the other hand, advection of a number of hydrometeors enables water to be transported over the top of the hills, in particular if the water is in the form of snow.

Because the top of the hill range is usually the border of a catchment area, this property of being able to advect precipitation to the lee side is essential to predict proper rainfall amounts for flooding (Toros et al. 2010). Nevertheless, although the drag of precipitation in the HARMONIE forecast is considered to be a contributory factor in the shift in the precipitation peaks, this is probably not the only explanation for these patterns. Results from three WRF model runs with horizontal resolutions, ranging from 24 km (Figure 6i), 8 km (Figure 6j) to 2.7 km (Figure 6k), show that the overall distribution of daily precipitation over the domain is quite well estimated, with maxima around northwest Istanbul and southern Marmara. However, the amounts are less than the observations, varying with respect to horizontal resolution by 70–100 mm in the 24-km run and 100–150 mm in the 8-km and 2.7-km runs.

4.1. Discussion for 9 September 2009

Figure 7 shows the observations and model products, as in Figure 6, but for 0600 UTC 9 September 2009. The quasi-

stationary front dissipates over the Marmara region (Figure 7a), and the cloud band is fractured (Figure 7b) on this day. The top of storms at 0600 UTC can be seen from the satellite image (Figure 7b). Precipitation observations for this day show a peak of 175 mm at Olimpiyat station, 144 mm at Bandırma station and 114 mm at Hadımköy station. The flash flood occurred around the İkitelli region, shown in Figure 7d. Radar precipitation estimates (Figure 7c) indicate that the highest precipitation is extending onshore on 9 September 2009, over the western part of the flooded catchment area. Radar estimations are again below the observation values.

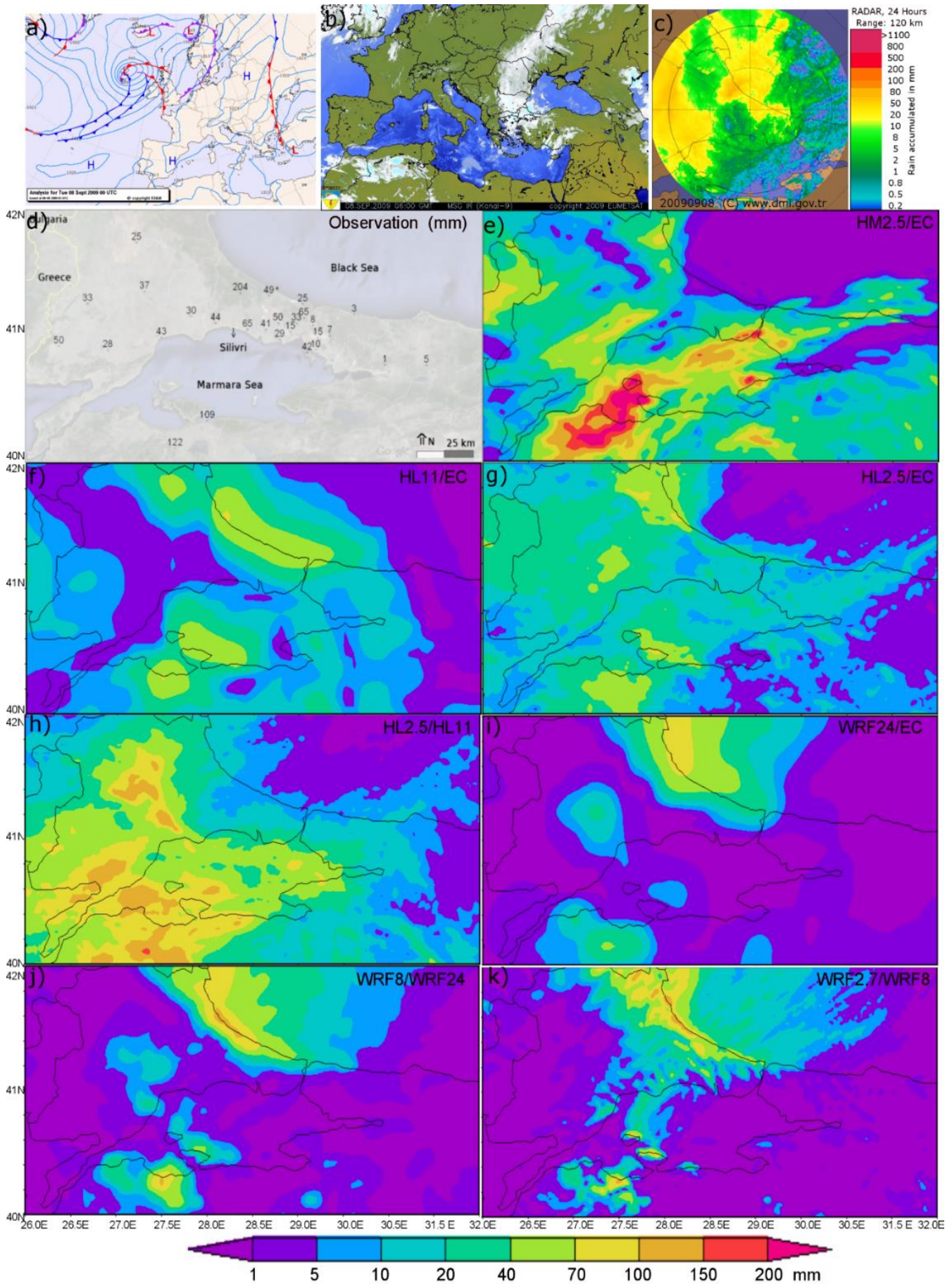


Figure 6. The 24-hour rainfall totals (mm) in Istanbul and its surroundings on 8 September 2009 (a); Meteosat 9 MSG IR images (b); weather chart showing the surface analysis for 00 UTC 8 September 2009 based on the operational HIRLAM analysis (courtesy:

KNMI operational service) (c); SLI R radar images for every six hours (d); the 24-hour forecast from HARMONIE (e), HIRLAM HL11 (f), HL2.5/EC (g), HL2.5/HL11 (h), WRF (i,k). The * in (d) indicates that the Terkos site did not register any data from 08:00–23:00.

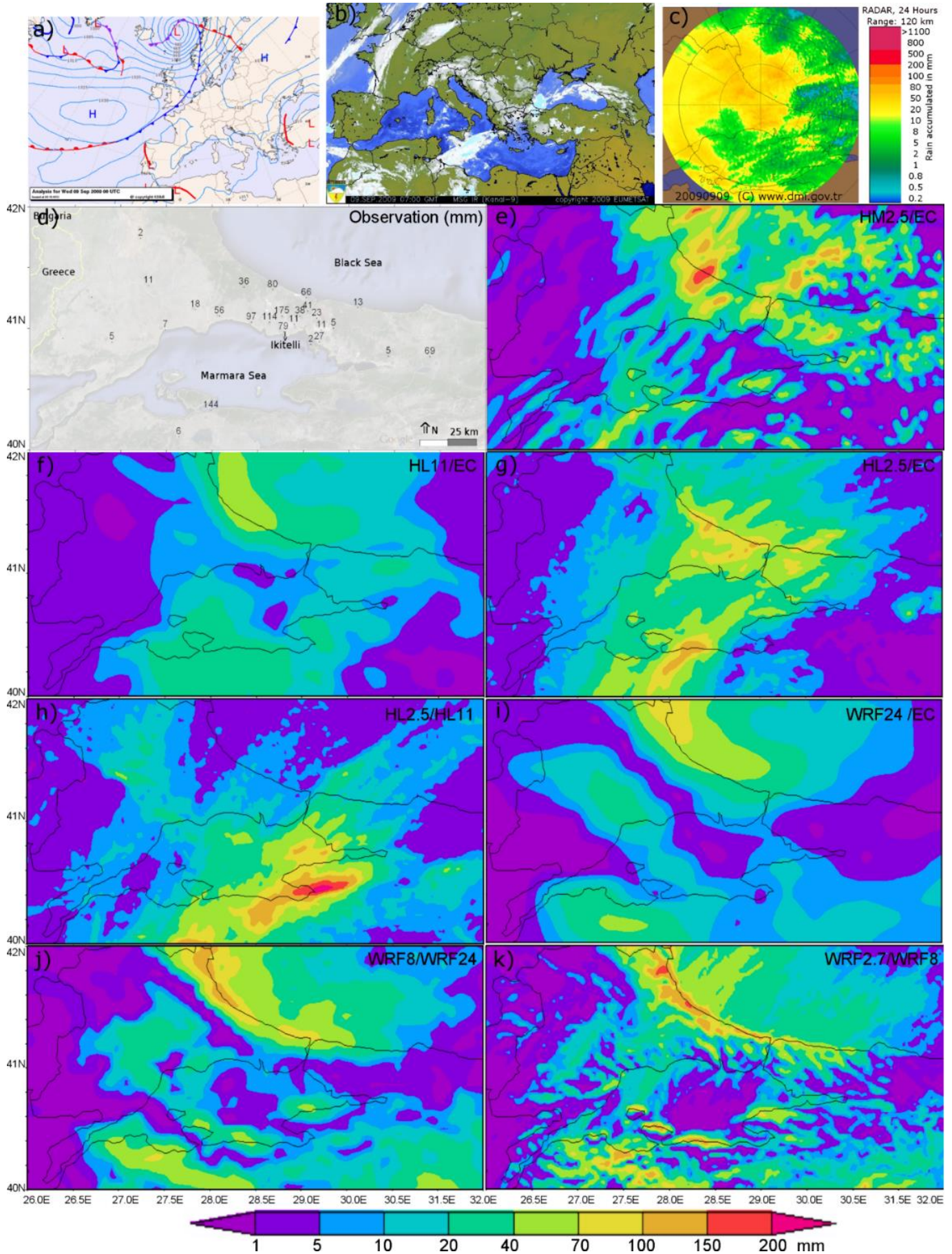


Figure 7. Weather charts as in Figure 6, but for 9 September 2009.

The HARMONIE forecast for 0600 UTC 9 September 2009 (Figure 7e) shows a good spatial distribution of precipitation compared to the radar estimation, with higher amounts over Istanbul and northwards and lesser amounts over the Marmara Sea. The overall high precipitation pattern has shifted a little east. The highest rainfall spots are over the Black Sea coast near Çatalca, exceeding 150 mm. The eastern part of Istanbul also has values up to 100–150 mm, which is not consistent with the radar estimation. Furthermore, the high amount of rain over Edirne and surroundings according to the radar estimation is not present in the HARMONIE forecast. The HIRLAM forecast with the 11-km grid-size (Figure 7f) simulates precipitation amounts that are far less than the observations, with a peak of 40–70 mm in 24 hours over the Black Sea coast. The overall precipitation pattern is acceptable, but still, the western part of the domain does not receive much rain according to the forecast in the HARMONIE case. The HIRLAM 2.5-km forecast with ECMWF input (Figure 7g) has a much higher amount of precipitation, as expected, but the locations of the precipitation maxima are scattered over the entire Istanbul area. It can be seen that the pattern is also further east than the radar estimation. The high precipitation spot to the east of Bandırma on this plot shows good agreement with the radar estimation and station observations. The simulation here represents 100–150 mm of rain, and the Bandırma observation shows 144 mm. On the other hand, the HIRLAM 2.5-km forecast with the HIRLAM 11-km input (Figure 7h) gives a different result. The maximum amount of precipitation on this plot is between 150 and 200 mm over Gemlik Bay. This region does not have high amounts of rain according to the radar estimation and other simulations.

WRF forecasts for the same day with 24-km (Figure 7i), 8-km (Figure 7j) and 2.7-km (Figure 7k) grid-sizes indicate a precipitation peak at the Black Sea coast, shifted slightly northwest compared to the radar estimation. The 24-km run has a peak of 70–100 mm; the 8-km run has a peak of 100–150 mm; and the 2.7-km run has a peak of 150–200 mm of precipitation near the coast. There is a contrast between the southern and northern coasts of Istanbul according to the analysis, and WRF probably underestimates the precipitation on the downwind side of the peninsula.

5. Concluding Remarks

Flash flood forecasting is still an ongoing issue for engineers and scientists. The goal of this study was to investigate how the HARMONIE, HIRLAM and WRF forecast excessive precipitation with an inhomogeneous spatial distribution. For this case, the flooded areas were in different locations on the two studied days. Therefore, the two days can be analyzed as two different events. The catchment areas for both events are quite small (some hundreds of square kilometers).

The 24-hour accumulated precipitation forecast by HIRLAM is quite high compared to the climatological data, but still far below the observed amounts and with a location error. This is explained by the model formulation causing the rain to fall vertically according to the result of some budget for the formulation to consider the way the precipitation falls down. Nevertheless, HIRLAM gives a clear signal that heavy precipitation in the area can be expected. However, interpretation of this signal by a human forecaster with respect to the possible amounts of the precipitation and the location is necessary.

HARMONIE, on the other hand, gives higher amounts, in particular in the catchment areas. Whether the amount and location are good enough to predict flooding should be investigated with a run-off model. WRF simulates a good spatial distribution of precipitation and precipitation amounts, but there is some location shift of the precipitation maxima. Furthermore, the WRF simulations are considered to underestimate downwind rainfall.

Although numerical models are still far from perfectly simulating small-scale precipitation variations, the models used were able to accurately produce excessive precipitation amounts, although with a considerable location error in this case study. Further tests regarding the precipitation rates and locations could be conducted on the use of sea surface temperature or microphysical, as well as convective parameterizations.

Acknowledgements

The authors are grateful to KNMI and ECMWF for financial support and supercomputing facilities, Turkish State Meteorological Service (MGM) for precipitation data and the radar, as well as satellite images (courtesy of EUMETSAT), as well as the Istanbul Metropolitan Municipality Center of Disaster Coordination (AKOM) for precipitation data.

References

- Bich TH, Quang LN, Ha LTT, Hanh TTD and Guha-Sapir D, 2011. Impacts of flood on health. epidemiologic evidence from Hanoi, Vietnam. *Global Health Action*, 4, 6356. doi. 10.3402/gha.v4i0.6356
- Chessa PA, Ficca G, Marrocu M and Buizza R, 2004. Application of a Limited-Area Short-Range Ensemble Forecast System to a Case of Heavy Rainfall in the Mediterranean Region. *Wea Forecasting*, 19, 566-581.
- Çelik S, Görgeç H and Deniz A, 2010. Meteorological analysis of 7-9 September 2009 flooding in North West Turkey (in Turkish), II. Ulusal Taskin Sempozyumu, Afyonkarahisar, Turkey, March 2010.
- Doswell III CA., Ramis C, Romero R and Alonso S, 1998. A diagnostic study of three heavy precipitation episodes in the western Mediterranean region. *Wea Forecasting*, 13, 102-124.
- EM-DAT, 2012. Trends and Relationships Periods 1900–2008: Emergency Events Database. Centre for Research on the Epidemiology of Disasters, Université Catholique de Louvain, Belgium
- Gurer I and Oztugler H, 2004. Recent Flood Disasters in Northwestern Black Sea Region, Integrated Flood Management Case Study. WMO Global Water Partnership, Technical Support Unit.
- Kılıçer Ü and Özgüler H, 2002. Floods in Turkey, (in Turkish). *TMH- Türkiye Müh Haberleri*, 420, 4-6.
- Knight D and Samuels P 2007. Examples of Recent Floods in Europe. *J Disaster Res*, 2, 190-199.
- Kömüşçü AÜ, Ceylan A, Akcakaya A and Erkan MA, 2010. Meteorological analysis of 7-9 September 2009 flooding in Istanbul (in Turkish). II. Ulusal Taskin Sempozyumu, Afyonkarahisar, Turkey, March 2010.
- Kömüşçü AÜ, Çelik S and Ceylan A, 2011. Rainfall analysis of the flood event that occurred in Marmara Region on 8-12 September 2009 (in Turkish). *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 9, 209-220.
- Mastrangelo D, Horvath K, Riccio A and Miglietta MM, 2011. Mechanisms for convection development in a long-lasting

- heavy precipitation event over southeastern Italy. *Atmos Res*, 100, 586-602.
- NCAR UCAR, 2018. <https://www.mmm.ucar.edu/weather-research-and-forecasting-model>, retrieved on Aug 3, 2018.
- Skamarock W, Klemp JB, Dudhia J, Gill DO, Barker D, Duda MG, Huang X-Y and Wang W, 2008. A Description of the Advanced Research WRF Version 3. NCAR Technical Note NCAR/TN-475+STR. doi.10.5065/D68S4MVH.
- Schipper J and Erturk AG, 2009. Flash Flood in Istanbul, 9 September 2009.
- Toros H, Geertsema G and Cats G, 2010. Evaluation of Hirlam and Harmonie precipitation forecasts for the Istanbul flash flood event of September 2009. *HIRLAM Newsletter* 56, 37-46.
- Undén P, Rontu L, Järvinen H, Lynch P, Calvo J, Cats G, Cuxart J and Coauthors, 2002. HIRLAM-5 scientific documentation. HIRLAM-5 Project Tech. Rep., SMHI, Norrköping, Sweden, 146 pp.
- Vinet F, 2008. Geographical analysis of damage due to flash floods in southern France. The cases of 12–13 November 1999 and 8–9 September 2002. *Appl Geography* 28.323-336.



Pediatric Hasta Grubu Bilgisayarlı Tomografi Uygulamalarında Organ Dozlarının Hesaplanması

Ümit Kara^{1*}

¹ Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta Sağlık Hizmetleri Myo, Tıbbi Görüntüleme Programı, Isparta, Türkiye, umitkara@sdu.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 25 Mayıs 2018 ve Kabul Tarihi 31 Temmuz 2018)

(DOI: 10.31590/ejosat.427207)

Özet

Tanısal amaçlı incelemelerde klinik radyasyon ve kullanımı geniş bir alanda yer almaktadır. Özellikle x ve gama ışınları ile çalışan cihazlar, hastanelerde farklı kliniklere tanısal anlamda çözüm kolaylığı sunmaktadır. Kullanılan ışınlar, iyonize radyasyon kaynakları olmasından dolayı canlı bünyesinde özellikle de pediatrik hastalarda zararlı etkilerinden dolayı dikkatli kullanmak gereklidir. Bu çalışmanın amacı, kliniklerde bilinmeyen ve merak edilen organ doz değerleri hesaplamalarının bebeklerde rutin pediatrik protokoller ile yapılan çekimler sırasında, farklı organlar tarafından soğrulan dozları ve efektif dozları hesaplamak ve karşılaştırmaktır. Çalışma için Philips MX 16 kesit bilgisayarlı tomografi cihazı modellenmesi, kendi protokol değerleri ile birlikte ve Monte Carlo metodu kullanılarak organ doz ve efektif doz değerleri hesaplanmış ve karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Tanısal Radyoloji, Bilgisayarlı Tomografi, Pediatrik doz.

Calculation of Organ Doses in Pediatric Patient Group Computerized Tomography Applications

Abstract

The usage of clinical radiations in diagnostic examinations situated within far and wide. Especially devices operating with x and gamma rays provide convenience of diagnostic solutions to different clinics in hospitals. Due to the in use radiation sources are ionized radiation sources, it is necessary to take into consideration the harmful effects that may occur especially in pediatric patients in vivo. The purpose of this study was the calculation of unknown and anticipated organ doses in routine pediatric protocols in infants and the calculating and comparing the absorbed doses of different organs and effective doses. For the present study, organ doses and effective doses were calculated and compared by using Philips MX 16 cross-sectional computerized tomography model's protocol values, and the Monte Carlo method.

Keywords: Diagnostic Radiology, Computerized Tomography, Pediatric Dose.

1. Giriş

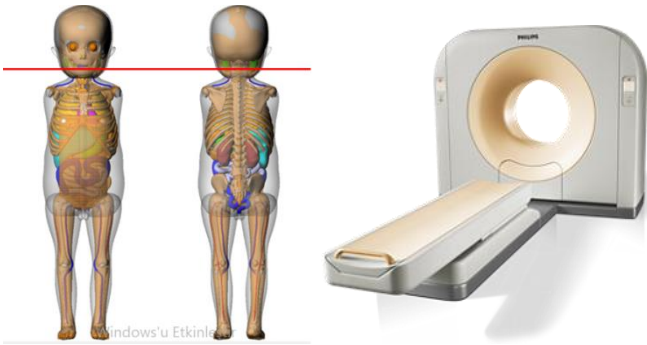
İnsanoğlu sürekli olarak doğal veya yapay radyasyona maruz kalır. (Günay vd. 2018, Günay 2018). Yapay yolla maruz kalınan radyasyonun büyük bölümü sağlık uygulamalarından kaynaklanmaktadır. Radyasyonun sağlık alanındaki uygulamalarından bir tanesi de bilgisayarlı tomografidir (BT). BT, incelenen objenin kesitsel görüntüsünü oluşturmaya yönelik radyolojik görüntüleme yöntemidir. Kaynak olarak x ışınlarını kolime ederek kullanır. Kolime edilmiş x-ışını demetinin objeye geçen kısmı, x-ışının tüpünü karşısına yerleştirilmiş dedektörler tarafından saptanarak görüntüye dönüştürülmektedir, başta santral sinir sistemi olmak üzere vücudun hemen her bölgesinin

incelenmesinde kullanılmaktadır. BT cihazları geliştirilme ve rutinde kullanılma aşamalarında bir dizi evrim geçirmiş ve daha da geçirmektedir. Görüntüleme süresi anlamında kısa sürede cevap veren ve kolay ulaşılabilir bir cihazdır fakat enerji kaynağı olarak iyonlaştırıcı radyasyon olan x ışınlarını kullanması sağlık için büyük bir dezavantajdır. BT çekimleri sırasında hastaların aldıkları doz oranları diğer görüntüleme ünitelerine göre daha yüksek olduğu bilinmesine rağmen cihazın kullanım alanları daha fazla artış göstermektedir. Bu da, bazı ülkelerde tanısal radyoloji nedeniyle maruz kalınan toplam doz oranlarını yaklaşık % 3-7'den, % 41'lere kadar çıkmasına neden olmuştur (Jessen vd., 2000 ; Pages vd., 2003). Bebek ve çocuk hastalarda da çekilen BT çekimleri artmıştır. Bebek ve çocukların, yetişkin hastalara göre x ışınlarına karşı biyolojik anlamda daha hassas

olmasından dolayı bu hastalarda BT çekimlerinde doğru doz tekniklerinin kullanılması gereklidir. Özellikle çocuklarda, organlara alınan radyasyon dozu artmış karsinogenez riski taşımaktadır (Brenner vd., 2001). Tanısal radyolojide hasta radyasyon doz kavramı “ALARA” (as low as reasonable achievable) prensibi çerçevesinde kar zarar durumu değerlendirilerek, pediatrik hastalar için ise gerekli protokoller uygulanarak çekimler yapılmalıdır.

2. Materyal ve Yöntem

Monte Carlo simülasyon yöntemi, olasılıksal (stokastik) süreçleri simüle etmeye yardımcı olan çeşitli algoritma dillilerine sahip istatistiksel bir tekniğe verilen isimdir. İlk ortaya çıkışı fizikçi araştırmacılar tarafından ve deneysel amaçlı kullanılmak üzere keşfedilmiş olup, sonraları birçok alana yayılmıştır. Monte Carlo simülasyonu finanstan mühendisliğe, çevreden sağlığa kadar birçok farklı alanda uygulanabilmektedir. Radyolojik araştırmalarda ise dünyaca kabul görmüş ve karmaşık yapıya sahip radyasyon, madde, canlı gibi etkileşimlerde problemleri çözmeye oldukça kullanışlı bir yöntemdir. Çalışma için BT ile çekim tetkikleri uygulanan bebek hastalarda organ dozlarını değerlendirmek için NCICT Monte Carlo Simülasyonu kullanılmıştır. Ayrıca bilgisayarlı tomografi doz indeksleri ile birlikte organlar tarafından soğurulan dozlar için referans olarak tarayıcının Monte Carlo simülasyonu ve Uluslararası Radyolojik Koruma Komisyonu (ICRP) tarafında referans edilen pediatrik fantomu kullanılmıştır. Kullanılan fantom, bir yaşını temsilen 77 cm, 10 kg ağırlığında, bilgisayarlı tomografi Philips marka MX 16 model 16 kesit sayısına sahip cihaz kullanılmıştır (Şekil 1).



Şekil 1. Kullanılan pediatrik fantom ve bilgisayarlı tomografi

Çekim için kullanılan protokoller ise cihazın kendine ait olan pediatrik protokolleridir. Bu anlamda bilgisayarlı tomografi cihaz tüp potansiyeli 120 kVp, tüp akım değeri 100 mAs, pitch faktörü 1, kolimasyon değeri 10 mm, CTDİvol 15 mGy, DLP 225 mGycm, çekim aralığı 1-15 cm değerleridir. Bir radyasyonunun herhangi bir T dokusuna bıraktığı ortalama absorplanan doz, wR radyasyon ağırlık faktörü ile çarpılır. Radyasyon türlerinin farklı biyolojik etkilerini gözönüne alır. Ayrıca organ ağırlık faktörleri Tablo 1 de detaylı olarak da verilmiştir. Farklı organ veya dokuların radyasyona karşı duyarlılıkları da farklıdır. WT organ ağırlık faktörü;

$$H_{T,R} = W_R \times D_{T,R} \quad (1)$$

Farklı organ veya dokuların radyasyona karşı duyarlılıkları da farklıdır. WT organ ağırlık faktörü;

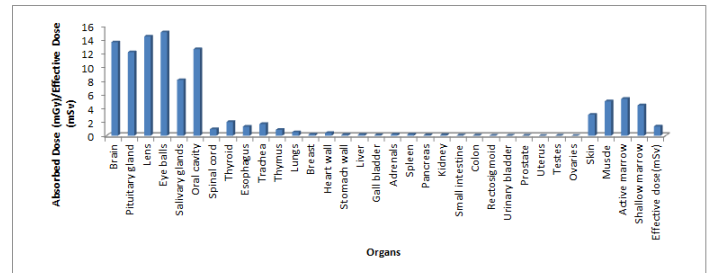
$$W = \sum \times (T) \quad (2)$$

Tablo 1. Organ Ağırlık Faktörleri

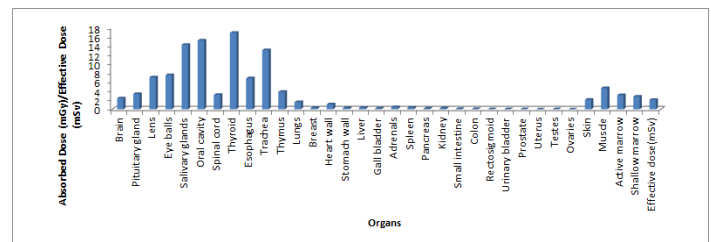
| Organ/doku | ICRP 26 | ICRP 60 | ICRP 103 |
|---------------------|---------|---------|----------|
| Yumurtalıklar | 0.25 | 0.20 | 0.08 |
| Meme | 0.15 | 0.05 | 0.12 |
| Kırmızı kemik iliği | 0.12 | 0.12 | 0.12 |
| Akciğer | 0.12 | 0.12 | 0.12 |
| Tiroid | 0.03 | 0.05 | 0.04 |
| Kemik yüzeyi | 0.03 | 0.01 | 0.01 |
| Kolon | - | 0.12 | 0.12 |
| Mide | - | 0.12 | 0.12 |
| Mesane | - | 0.05 | 0.04 |

3. Araştırma Bulguları

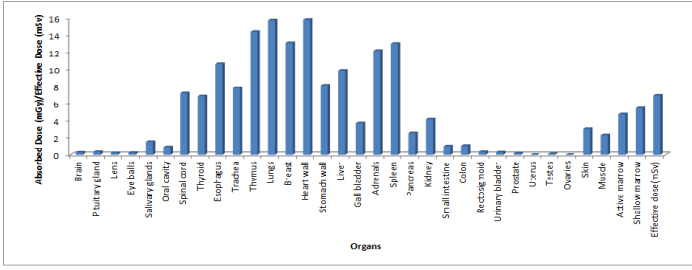
Tanısal radyoloji de x ışın kaynaklı cihazlar ile ilgili olarak yüksek kalitede tanısal etkinlik ile optimum ışın dozu arasındaki denge mutlaka korunmaya çalışılmalıdır. Bu anlamda çekim sırasında ilgili teknik parametrelerin optimize edilmesi, tüm bu koşullar yerine getirdikten sonra da görüntünün oluşması sağlanmalıdır. Bu çalışmada da aynı sıra ve işlemler Monte Carlo Simülasyon yöntemi ile uygulanmıştır yani uygun protokoller ile hastanın çekim istenilen bölgesi (FOV) taranmış ve hesaplamalar bu işlemlere göre yapılmıştır. Aşağıda verilen grafiklerde bu hesaplamalarla ortaya çıkan organ doz ve efektif doz sonuçlarını göstermektedir. Sırası ile şekil 2 hastanın kranial bölgesi, şekil 3 boyun bölgesi, şekil 4 toraks bölgesi, şekil 5 ise batin bölgesi çekim sonuçlarıdır. Şekil 2 için, kranial çekim bölgesinde göz 14.406 mGy, lensler 15.029 mGy, beyin 1.565 mGy, ağız boşluğu 12.561 mGy, tükürük bezleri ise 8.0809 mGy ile en yüksek dozlara hakimdirler. Etketif doz değeri ise 1.35 mSv tir. Şekil 3 için, tiroit 16.933 mGy, ağız boşluğu 15.242 mGy, tükürük bezleri 14.271 mGy, trakea 13.107 mGy ile en yüksek dozlara hakimdirler. Etketif doz değeri ise 2.058 mSv tir. Şekil 4 için, kalp 15.763 mGy, akciğer 15.709 mGy, timus 14.345 mGy, meme 13.021 mGy, dalak 12.923 mGy, böbrek üstü 12.118 mGy, özofagus 10.605 mGy ile en yüksek dozlara hakimdirler. Etketif doz değeri ise 6.93 mSv tir. Şekil 5 için, dalak 14.13 mGy, pankreas 13.793 mGy, böbrekler 13.725 mGy, karaciğer 13.4 mGy, mide 13.018 mGy ile en yüksek dozlara hakimdirler. Etketif doz değeri ise 5.03 mSv tir.



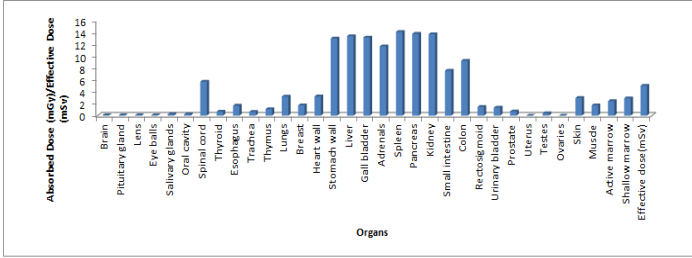
Şekil 2. Bir yaş kranial bölge çekim sonucu soğrulan ve efektif doz



Şekil 3. Bir yaş boyun bölgesi çekim sonucu soğrulan ve efektif doz



Şekil 4. Bir yaş toraks bölge çekim sonucu soğurulan ve efektif doz



Şekil 5. Bir yaş batın bölge çekim sonucu soğurulan ve efektif doz

Bu çalışma ile BT çekimi yapılan pediatrik yaş grubunda bulunan hastaların farklı çekimler esnasında maruz kaldıkları iyonize radyasyon ile ortaya çıkan organ soğurma dozları hesaplandı. Ayrıca BT'de iyonize radyasyon ve kanser riskindeki artış oranı da efektif doz ile beraber dikkate alınmalıdır. Bundan dolayı pediatrik görüntüleme radyasyon güvenliği ve pediatrik hasta protokolleri önemsenmelidir. Pediatrik hastalara uygulanan tetkikin ve bu uygulanan tetkike dayalı tekniğe ait parametrelerle beraber doz azaltıcı yaklaşımlar (kurşun önlük kullanımı) oldukça önem kazanmaktadır. BT çekim teknikleri ve istenen tetkike ait radyasyon dozu (CTDI_{vol}, DLP) günümüzde yeni nesil cihazlar tarafından sağlanabilmektedir. Belirli çekim teknikleri için doz çıktı değerleri fantom çıktıları olup pitch değerine bağlı olarak uygun protokole özgü bir değişkeni de hesaba katmaktadır. Kısacası çekim tekniklerine hakim tecrübeli

4. Tartışma ve Sonuç

Çekim sırasında hastaya ulaşan radyasyon dozu standartları yoktur. Bir organa verilen dozun direkt ölçümüne ya da değişik organlara verilen dozların ve duyarlılıklarının toplamının ağırlıklı ortalamasına (efektif doz) bağlı riskleri değerlendiren yöntemler kullanılmaktadır. Efektif doz ile bağlantılı kanser riskinin belirlenebilmesi oldukça zor ve karmaşıktır. Matematiksel modellere, bilgisayarlı simülasyonlara (monte carlo kodu) ve antropometrik pediatrik fantomlara (çalışmamızda kullanmış olduğumuz) bağlı olarak değişir ve araştırmalar için ihtiyaç duyulmaktadır. Bu anlamda yukarıda saydığımız gereksinimler ile, yaptığımız bu çalışma sayesinde kritik organlar ve hassas organların aldığı dozların güvenli doz limitlerini aşmış olmadığı belirlenebilecektir. Ayrıca çekim sonrası organ doz sonuçlarını değerlendirmek için son derece yararlı, literatüre katkı sağlayacak bir çalışma olması umulmaktadır.

Referanslar

bir kişi tarafından yapılan çekim ile tecrübesiz bir kişi tarafından yapılan çekimler arasında büyük doz farkları doğmakta ve bunların sonucunda da pediatrik hastalarda artan doz indeksleri ile karşı karşıya kalmaktayız. Pediatrik hasta ile karşılaşılan radyoloji birimlerinin, rutin çekimlerinde, verilen radyasyon dozunu düzenlemeleri, klinikte çalışan teknisyen ya da teknikere gerekli uyarı ve eğitimleri vermeleri gerekmektedir. Bu sonuçlara bakarak yapmış olduğumuz çalışmanın önemi bir kere daha ortaya çıkmaktadır. Çünkü yapılan tetkik ve incelemede hasta doz sonuçları direkt BT cihazı tarafından verilmemektedir, ancak uzman kişi ya da kişilerce yapılan hesaplamalar ile kişi efektif dozuna ulaşılabilir. BT cihazı çıktı olarak kişinin organlar tarafından soğurulan dozlarını göstermemekte ve klinikler tarafından da bilinmemektedir. Özellikle pediatrik gruplar ve bebeklerde, organların radyasyona karşı hassas olması ve önlerindeki yaşam sürelerinin uzun olma beklentisi gibi nedenlerle kümülatif radyasyona bağlı kanser riski, pediatrik yaş grubunda radyasyon miktarını önemli kılmaktadır. Özellikle bebek ve çocuklarda tiroid, meme ve gonadlar radyasyon hassasiyet ve duyarlılığı fazla olan organlardır. Bu durum, organların küçük olması ve organa verilen gerçek dozun fazla olmasına bağlıdır (Pierce vd., 1996). Çocukların vücut ağırlıkları çok farklı olduğundan, vücut büyüklüğüne göre BT protokollerinin uygulanmaması sonucunda gereksiz radyasyon verilmesine neden olur (Hollingsworth vd., 2003). Singh ve ark. iteratif rekonstrüksiyon yöntemi ile görüntü kalitesini koruyarak pediatrik toraks ve abdomen BT incelemelerinde elde ettikleri ortalama CTDI_{vol} ve DLP değerleri toraks için 3,7 mGy, 153 mGy_{cm}, abdomen için 5,7 mGy, 258 mGy_{cm}'dir. Bu değerler çalışmamızın kendi kontrol grubuna göre %40 daha düşüktür. Singh ve ark.larının kendi çalışmasında iteratif rekonstrüksiyon yöntemi ve standart algoritimde elde ettikleri değerler bu çalışmamızın çalışma ve kontrol grubuna göre daha yüksektir. Ancak bu çalışmadaki yaş ortalaması Singh ve ark.larının çalışmasının yaş ortalamasının yarısı kadardır (Singh vd., 2012). Reid ve ark. radyasyon dozunu azaltmak için pediatrik abdomen BT'lerde görüntü kalitesini koruyarak fantomlar üzerinde mAs ve kVp değerlerini optimize etmişlerdir. Tüp akım modülasyon teknikleri kullanmadan tanısal kalitede pediatrik abdomen BT'nin 10-15 mGy doz aralığında elde edilebileceğini göstermişlerdir (Reid vd., 2010).

- Günay, O., Saç, M.M., İçedef, M., Taşköprü, C., 2018, Soil gas radon concentrations along the Ganos Fault (GF) Arab J Geosci (2018) 11: 213. <https://doi.org/10.1007/s12517-018-3542-2>
- Günay O., 2018, Determination of Natural Radioactivity and Radiological Effects in some Soil Samples in Beykoz-Istanbul, European Journal of Science and Technology No. 12, pp. 9-14, April 2018 ISSN:2148-2683
- Jessen KA BG., Geleijns J., Golding SJ., Jurik AG, Leonardi M. 2000. Quality criteria development within the fourth framework research programme: computed tomography. Radiat Prot Dosim 90, 79-83.
- Pages J., Buls N., Osteaux M. 2003. CT doses in children: a multicentre study. Br J Radiol. 911-803.
- Berdon W. 2001. Estimated risks of radiation induced fatal cancer from pediatric CT. AJR Am J Roentgenol. 176, 289-96.
- Pierce DA., Shimizu Y., Preston DL., Vaeth M., Mabuchi K. 1996. Studies of the mortality of atomic bomb survivors. Report 12, part I. Cancer: 1950-1990. Radiat Res. 146:1-27.

- Hollingsworth C, Frush DP., Cross M., Lucaya J. 2003. Helical CT of the body: a survey of techniques used for pediatric patients. *AJR Am J Roentgenol* 180, 401–406.
- Singh S., Kalra MK., Shenoy Bhangle AS., Saini A., Gervais DA., Westra SJ. 2012. Radiation dose reduction with hybrid iterative reconstruction for pediatric CT. *Radiology*. 63(2), 537-46.



Akan Veri Kümeleme Teknikleri Üzerine Bir Derleme

Ali Şenol^{1*}, Hacer Karacan²

¹Ardahan Üniversitesi Yenisey Kampüsü, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, 75002, Ardahan, alisenol@ardahan.edu.tr

²Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, 06570 Maltepe Ankara, hkaracan@gazi.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 19 Temmuz 2018 ve Kabul Tarihi 27 Ağustos 2018)

(DOI: 10.31590/ejosat.446019)

Öz

Günümüz teknolojisinin gelişmesine paralel olarak bilgisayar ortamına aktarılmış olan veri miktarı inanılmaz boyutlara ulaşmış ve gün geçtikçe de artmaktadır. Bu nedenle veriyi işleme yöntemleri de değişmektedir. Klasik kümeleme yaklaşımlarında veri statiktir. Oysa günümüz teknolojisinde, verinin çok hızlı olduğu dünyada artık veriyi akarken kümeleyecek, kullanıcıya istediği zaman sonuç verebilecek uygulamalara ihtiyaç vardır. Bu anlamda ihtiyacı karşılayan akan veri kümeleme yaklaşımlarına olan talep gün geçtikçe artmaktadır. Çünkü akan veri kümeleme yaklaşımları bir defa okumalı, hızlı ve kendisini yeni gelen veriye uyarlama özelliğine sahiptir. Yani veri bir yandan akarken bir yandan kullanıcıya sonuç üretilebilmektedir. Bu çalışmada akan veri kümeleme alanında yapılan çalışmalar derlenmekte ve bu alana ilgi duyan araştırmacılara ışık tutulmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Akan veri kümeleme, akan veri kümeleme teknikleri, akan veri kümeleme alanındaki ihtiyaçlar

A Survey on Data Stream Clustering Techniques

Abstract

In parallel with the development of today's technology, the amount of data that has been transferred to the computer environment has reached incredible dimensions and is increasing day by day. For this reason, the methods of data processing are also changing. In classical data clustering approaches, data is static. However, in today's technology in which data streams very fast, there is a need for applications that can cluster data and show results while the data is streaming whenever the user wants. In this sense, the demand for data stream clustering approaches is increasing day by day. Because, the data stream clustering approaches read once, fast, and have the ability to adapt themselves to new data. In other words, the results are shown to the user on the one hand, while the data is streaming on the other hand. In this study, the proposed studies on the data stream clustering area are collected and the researchers who are interested in this field are enlighten.

Keywords: Data stream clustering, data stream clustering techniques, demands in data stream clustering area

1. Giriş

Teknolojinin hızlı bir şekilde gelişmesine paralel olarak bilgisayar, akıllı telefon veya sensor gibi veri üreten cihazların kullanımı yaygınlaşmıştır. Bu tür cihazlar kullanılarak "Büyük Veri" olarak tanımlanan inanılmaz bir veri miktarı üretilmektedir. Üretilen veriler çok hızlı bir şekilde arttığından klasik veri madenciliği yöntemleri pek çok açıdan yetersiz kalmaktadır. Bunların başında verileri bir yere kaydetme gelmektedir. Çünkü çok büyük veri miktarını kayıt altına almak için gereken kaynak ihtiyacı da çok büyüktür. Bir diğer yetersizlik nedeni çoğu uygulama için gerçek zamanlı sonuç üretmeye olan ihtiyaçtır. Örneğin banka gibi finansal kuruluşlar için analizlerin anlık yapılabilmesine ihtiyaç vardır. Çünkü dolandırıcılık gibi

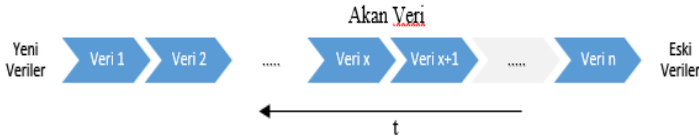
durumlar için 1 dk bile oldukça geç olabilir. Bu ve buna benzer nedenlerden dolayı gerçek zamanlı analizler üretebilecek uygulamalara olan ihtiyaç günden güne artmaktadır

Klasik veri kümeleme algoritmaları var olan bir veri seti üzerinde işlem yaparak bu veri setini kümelere ayırmaktadır. Kaç sınıf olacağını ya kullanıcıdan girdi olarak alır ya da rastgele belirleyerek işlem yapmakta ve sonuçta bu girdilere göre her zaman doğruluğu kesin olmayan bir kümeleme yapmaktadır. Yeni bir veri geldiğinde, dolayısıyla veri seti değiştiğinde kümeleme işlemini baştan yapar. Oysaki veri seti dinamik bir şekilde sürekli değişiyor da olabilir. Bu nedenle bu verileri dinamik bir şekilde, yeni veri geldiğinde sonucu güncelleyecek yaklaşımlara ihtiyaç duyulmaktadır.

Son yıllarda akan veri üzerinde kümeleme yapmaya yönelik çeşitli çalışmalar yapılmış ve bu konu gün geçtikçe ilgi çekmektedir. Akan veriyi kümeleme olarak çevirebileceğimiz *data stream clustering* dinamik bir şekilde değişen veriyi kümelemeye yönelik yapılan çalışmalardır. Bu çalışmada akan veri kümeleme alanında yapılan çalışmalar derlenerek bu alanda çalışmayı düşünen araştırmacılara ışık tutmak hedeflenmektedir. Makalenin geri kalanı şu şekilde sıralanmaktadır. 2. bölümde akan verinin ne olduğu açıklanmakta, 3. bölümde akan veri kümeleme alanında karşılaşılan problemler sıralanmakta ve 4. bölümde akan veri kümeleme yaklaşımlarının uygulama alanları üzerinde durulmaktadır. 5. bölümde bu alanda yapılan çalışmalarda kullanılan veri setleri açıklanmakta ve 6. bölümde veri özetleme metodolojileri üzerinde durulmakta iken 7. bölümde akan veri kümeleme yaklaşımlarının kümeleme başarısı değerlendirme yöntemleri açıklanmaktadır. 8. bölümde akan veri kümeleme alanında yapılan çalışmaların sınıflandırılması yapılmakta ve 9. bölümde başlıca akan veri kümeleme yaklaşımları açıklanarak karşılaştırmaları yapılmaktadır. Son bölümde ise bu alanda yeni çalışmalara açık olan konular üzerinde durularak çalışma sonuçlandırılmaktadır.

2. Akan veri kümeleme

Akan veri kümeleme finansal, network izleme, telekomünikasyon veri yönetim, web, sensör ağ, meteorolojik, bilim ve mühendislik gibi pek çok alanda kullanılmaktadır [1, 2]. Adı geçen uygulamalarda yüksek hızda anlık veri akmaktadır. Geliştirilecek uygulamaların anlık olarak bu verileri kümelemesi gerekir. Geliştirilecek uygulamaların tek yönlü tarama yapan, on-line, çok seviyeli ve çok yönlü olması gerekir [1]. Şekil 1'de de görüldüğü gibi akan veride verinin sonu belli değil ve çoğunlukla da boyutu sonsuzdur. Bu nedenle veriyi bir yerde biriktirip işleme imkânı yoktur, yani sınırsız depolama ihtiyacı doğmaktadır.



Şekil 1. Akan veri örneği

Veri yüksek hızda aktığından bu veriyi kümeleyecek yaklaşımın da hızlı bir şekilde çalışması gerekmektedir. Bunun yanında akan bu verinin genellikle belli bir sınırı yoktur. Başı ve sonu önceden bilinemez. Dolayısıyla verinin geneli hakkında bilgi sahibi olma imkânı yoktur. Kısaca akan veri, boyut olarak büyük, sonsuz, devamlı ve ardışıktır [3, 4].

3. Akan veri kümeleme yaklaşımlarında karşılaşılan problemler

Pek çok açıdan bakıldığı zaman akan veri kümeleme klasik veri kümeleme yaklaşımlarından farklıdır. Geleneksel kümeleme yaklaşımları ve akan veri kümeleme yaklaşımları arasındaki farkları şu şekilde sıralayabiliriz [5]:

- Geleneksel yöntemde veriler statiktir; ancak akan veride veri dinamiktir, sürekli değişmektedir.

- Akan veride geleneksel yöntem gibi veriyi bir yere kaydedip tekrar tekrar işleme imkânı yoktur.
- Geleneksel yöntemde sonuçlar sabittir; ancak akan veride sonuç zamana bağlı olarak değişir.

Akan veri pek çok açıdan kısıtlayıcıdır. Geliştirilecek yöntemin kaynakları etkin kullanması ve tatmin edici sonuçları makul bir zamanda sunması ihtiyacı bunlardan bazılarıdır. Bu nedenle geliştirilecek yöntemlerin bu problemleri göz önünde bulundurması gerekir. Akan veri kümelemede en sık karşılaşılan problemleri şu şekilde sıralayabiliriz [5]:

- *Sonsuz boyut ve yüksek hız*: Akan veride verinin sonu genelde yoktur veya sınırları bilinmez.
- *Dinamizm*: Veri dinamiktir, her an değişir.
- *Veriye genel bakış*: Geleneksel kümeleme yaklaşımlarında veriye genel bir bakış atıldıktan sonra daha iyi sonuçlar elde edilebilmektedir; ancak akan veride verinin sonu belli olmadığından veri hakkında kestirimde bulunmak çok zordur.
- *Sapan veri*: Geleneksel kümeleme yaklaşımlarında veri ön işleme ile sapan veri olup olmadığını, var ise bunları bertaraf etme imkânı vardır; ancak akan veride bunu tespit edip düzeltmek oldukça zordur.
- *Çok boyutluluk*: Akan veride çok boyutlu veriyi işlemek geleneksel yöntemlere göre oldukça zordur.
- *Parametreleri belirleme*: Akan veride parametreleri belirlemek tüm veriye hâkim olunmadığından oldukça zordur.

Bir akan veri kümeleme yaklaşımının kabul görebilmesi için sağlaması gereken minimum kriterler vardır [5]. Bunlar:

- *Uyarlanabilirlik*: Akan veri kümeleme yaklaşımlarının her yeni gelen veriye göre baştan kümeleme yapmak yerine yeni gelen veriye göre kendisini uyarlayabilmesi gerekir.
- *Veriyi bir defa işleme*: Akan veri kümeleme yaklaşımlarının veriyi tekrar tekrar işlemek gibi bir imkânı olmadığından bir defa işleyerek sonuç üretebilmesi gerekir.
- *Zaman kısıtı ve alan kriteri*: Veri sürekli aktığından bu veriyi hafızaya kaydedip işleme imkânı yoktur. Bu nedenle veriyi çok kısa bir zamanda ve çok az kaynak harcayarak işlemek gerekir.
- *Kümeleme adaptasyonu (Concept Evolution)*: Veri sürekli değiştiğinden daha önce oluşturulmuş kümelerin gelen veriye göre adapte olabilmesi gerekir. Gerekliğinde var olan kümeler dışında yeni bir küme oluşturma, var olan bir kümeyi yok etme, var olan iki kümeyi birleştirme veya var olan bir kümeyi farklı sayıda kümelere ayırmak gerekebilir.
- *Devamlı kümeleme modeli*: Akan verinin sonuna kadar bekleyip kümeleme yapma imkânı yoktur. Bu nedenle veri akarken kümeleme modelinin de bir taraftan kümeleme işlemini gerçekleştirmesi gerekir. Kullanıcının istediği her an küme sonuçlarını sunabilmesi gerekir.

- *Sapan veri tespiti*: Geliştirilen kümeleme yaklaşımının sapan verileri tespit edebilmesi gerekir. Çünkü sapan veriler kümeleme başarısını doğrudan etkilemektedir.

4. Akan veri kümeleme yaklaşımlarının uygulama alanları

Kullanıcıya ait click verisi analizi [6], saldırı tespit sistemleri [7-9], sosyal medya [10-12], finansal uygulamalar [13], bilimsel araştırmalar [14], sağlık araştırmaları [15-17], mobil uygulamalar [18], nesnelerin interneti (IoT) [19] ve sensor ağ [20, 21] gibi pek çok alanda kullanılmaktadır. Nesnelerin interneti konusunun yaygınlaştığı günümüzde uygulama alanlarının daha da artacağını söylemek mümkündür.

Yukarıda da bahsettiğimiz gibi teknolojinin gelişmesine paralel olarak internet ortamına aktarılmış olan veri miktarı üssel olarak artmaktadır. Bu devasa verilerin anlamlı bilgiye dönüştürülmesine olan talep ve yeni ihtiyaçlar bu alanda yapılacak çalışmalara ilham vermektedir.

5. Akan veri kümeleme yaklaşımlarında kullanılan veri setleri

Akan veri kümeleme alanında yapılan çalışmaların büyük bir çoğunluğunda sentetik veriler kullanılmaktadır. Çünkü çalışmaların odaklandığı sapan veri tespiti veya çok boyutluluk gibi problemleri aynı anda sağlayan gerçek verileri bulmak çok zordur. Bu nedenle bu alanda çalışma yapan araştırmacılar genelde kendi verilerini üretmektedir. Bunun yanında performans veya başarı karşılaştırmaları için KDD-CUP '99, KDD-CUP '09 veya UCI'nin orman örtüsü verisi de sıkça kullanılmaktadır. Kullanıma açık akan veri kümeleme verilerini sunan kaynakları şu şekilde sıralayabiliriz [22]:

- UCI Knowledge Discovery in Databases Archive - <http://kdd.ics.uci.edu>
- KDD Cup Center - <http://www.sigkdd.org/kddcup/>
- UCR Time-Series Datasets - http://www.cs.ucr.edu/~eamonn/time_series_data
- Kaggle - <https://www.kaggle.com/>

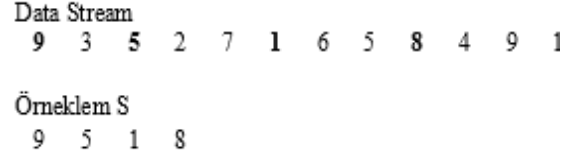
Bu veri seti sunan kuruluşların dışında ABD gibi bazı ülkelerin FBI, nüfus bürosu ve sağlık bakanlığı gibi çeşitli kurum ve kuruluşları ve Amazon, Twitter, Facebook ve Instagram gibi web platformları çeşitli veri setleri sunmaktadır.

6. Akan veri kümeleme yaklaşımlarında temel veri özetleme metodolojileri

Sonsuz depolama imkânına sahip olunmadığından kümeleme başarısı ve depolama alanı arasında makul bir oranın tutturulması gerekir. Bütün veriyi depolamak ve kümeleme işlemine tabi tutmak kümeleme başarısı açısından daha iyi olabilir; ancak bu durum, büyük depolama ihtiyacı doğurmaktadır. Bu nedenle

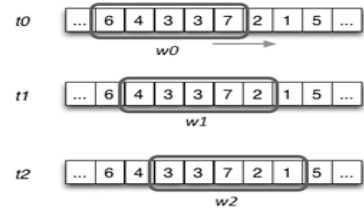
verinin tamamı yerine özetini almak hem kümeleme başarısı açısından makul bir sonuç almayı mümkün kılmakta, hem de alan açısından tasarruf sağlanmaktadır. Bu nedenle çeşitli özetleme algoritmaları geliştirilmiştir. Başlıca veri özetleme yöntemleri şunlardır:

Rastgele Örnekleme (Random Sampling): En basit özetleme yaklaşımıdır. Bu özetleme yaklaşımında belli aralıklarla örnek alınır. Bu özetleme yaklaşımının en büyük özelliği çoğu uygulama açısından kullanımı oldukça kolaydır. Şekil 2 örnek bir rastgele örnekleme örneğini göstermektedir.



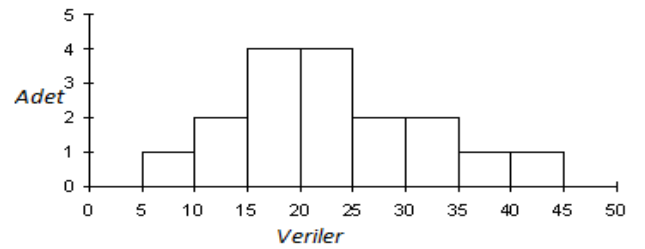
Şekil 2. Rastgele örnekleme örneği

Kayan Pencere (Sliding Window): Bu yaklaşımda örnekleme yapmak yerine sadece en son gelen veri alınır [23]. Şekil 3'te görüldüğü gibi herhangi bir t anında w kadar veri örnek olarak alınır. Stok veya sensör network uygulamaları için oldukça uygun bir yaklaşımdır. En son gelen verilerin daha önemli olduğu uygulamalar için kullanımı oldukça uygundur. Hafıza açısından oldukça tasarrufludur, sadece w kadar hafızaya gereksinim duyar.



Şekil 3. Sliding window örnekleme örneği

Histogramlar: Şekil 4'te de görüldüğü gibi veriye ait değerler için frekans değerlerine göre özet çıkararak bir yaklaşımdır. Bu yaklaşımda veriler kova (bucket) denilen parçalara bölünür. Kovaların boyutu gerekli hafıza miktarını belirler. Dezavantajı geriye dönük işlem yapamamasıdır.



Şekil 4. Histogram örnekleme örneği

Çok Çözünürlüklü Metodlar (Multiresolution Methods): Büyük veri miktarı ile baş etmek için geliştirilmiş bir yöntemdir. Bu yaklaşımda veri miktarını azaltmak için parçala ve fethet yaklaşımı izlenir. Bu yaklaşımın en önemli avantajı veriyi yönetme anlamında doğruluk ve kaynak açısından optimum sonuç vermesidir. Ayrıca veriyi farklı açılardan anlamaya yardımcı olur. Örnek olarak dengeli ikili ağaçlarını ele alırsak kökten yapraklara doğru indikçe her adımda sonuç detaylandırılmış olur. Bu yaklaşım da buna benzemektedir. İki çeşit çok çözünürlüklü metot vardır. Bunlar

- Mikro-kümeler (Micro-clusters)* [24]: En çok kullanılan özetleme yaklaşımlarından biridir. En büyük avantajı çok boyutlu veriler için oldukça kullanışlı olmasıdır.
- Dalgacık (Wavelets)* [25]: Dalgacık özetleme, veritabanlarında hiyerarşik verilerin ayrıştırılmasında ve özetlenmesinde sıkça kullanılan bir yöntemdir. Temelde hiyerarşik verileri ayrıştırmak için kullanılan bir yaklaşımdır.

Taslak (Sketches): En doğruya yakın bir cevabı elde etmeyi garanti eden bir yaklaşımdır. Veriyi bir defa işleme mantığına göre çalışır. Veriye ait sıklık momenti (frequency moment) sketch denilen özetler ile elde edilir.

Rastgele Hale Getirilmiş Algoritmalar (Randomized Algorithms): Çok boyutlu ve büyük verileri işlemek için geliştirilmiş bir yaklaşımdır. Rastgele örnekleme ve taslak yaklaşımlarının birleşiminden oluşur.

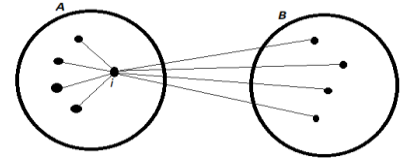
7. Akan veri kümeleme yaklaşımlarında kümeleme başarısını değerlendirme yöntemleri

Kümeleme yapan bir model ortaya konduktan sonra bu modelin başarısının ölçülmesi gerekmektedir. Akan veri kümeleme modellerinin başarısını ölçme yöntemleri yine klasik kümeleme yöntemlerini ölçme yöntemlerinde kullanılan yöntemlerle aynıdır. Purity Testi, F-Score, Accuracy, Rand index(RI), Adjusted Rand index(ARI) ve Silhouette index bu alanda kullanılan başlıca yöntemlerdir. Akan veri kümeleme modelini değerlendirirken bu parametrelerden sadece birini kullanmak başarıyı tam olarak ölçmek adına yeterli değildir. Bu nedenle bu parametrelerden birkaç tanesi kullanılmaktadır. Örneğin Purity-ARI, Purity-Accuracy-F-Score veya Purity-ARI-Silhouette Index parametrelerinin kullanımı oldukça yaygındır. Temel anlamda kümeleme başarısı değerlendirme yöntemlerini iki gruba ayırabiliriz: Dahili ve harici yöntemler.

7.1. Dahili yöntemler

Dahili yöntemlerde veri setine ait bir sınıf etiketinin olmasına gerek yoktur. Çünkü kümeleme başarısını değerlendirmek için sınıflara atanmış veriler arasındaki benzerliklere ve diğer kümelerle olan farklılığa bakar. Söz konusu bu benzerlik kriteri çoğu zaman uzaklıktır. Yani bir kümedeki veriler birbirine ne kadar yakınsa ve diğer kümelerle de ne kadar uzaksa bu kümeleme modeli o kadar başarılı olarak değerlendirilir. Silhouette index ve SSE (Sum of Squared Errors - Hataların Kareleri Toplamı), başlıca dahili küme başarısı değerlendirme yöntemleridir.

Şekil 5'te görüldüğü gibi Silhouette index [26], her veri için iki uzaklığı baz alır. Bu uzaklıklardan ilki verinin bulunduğu kümeye ait diğer verilere olan uzaklıkların ortalamasıdır. Diğer uzaklık ise verinin ait olduğu kümeye en yakın kümenin elemanlarına olan uzaklıkların ortalamasıdır. Bu iki uzaklık üzerinden $[-1, 1]$ aralığında bir değer hesaplar.



Şekil 5. Silhouette index örneği

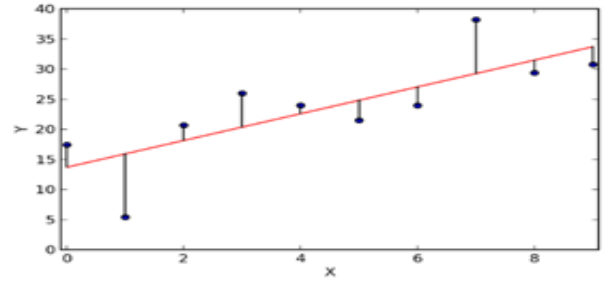
a herhangi bir i verisinin içinde bulunduğu kümedeki diğer verilere olan uzaklıkların ortalaması ve b , i verisinin en yakın olduğu kümeye ait verilerle olan uzaklıkların ortalaması olmak üzere Silhouette index S_i Eş. 1 ile hesaplanır.

$$S_i = \frac{b-a}{\max(a,b)} \quad (1)$$

SSE, kendi içerisinde verilerin hata payını hesaplar. Verilerin hata paylarının karelerinin toplamını bulur. n veri sayısını, y_i , i . verinin değerini ve \bar{y}_i tahminlerin ortalaması olmak üzere SSE Eş. 2 ile hesaplanır.

$$SSE = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_i)^2 \quad (2)$$

Şekil 6'da da görüldüğü gibi her verinin ortalama doğrusuna olan uzaklığı hata payını göstermektedir. Yani veri doğruya ne kadar yakın olursa hata payı o kadar azalır.



Şekil 6. SSE örneği

7.2. Harici yöntemler

Kümeleme başarısını değerlendirirken kullanılan harici yöntemlerde temel iş modelin atandığı küme etiketinin veri setinde bulunan gerçek küme etiketleri ile karşılaştırılmasıdır.

Purity önerilen modelin yaptığı kümeleme yaklaşımının saflık derecesini hesaplar. Her küme için içerisinde barındırdığı verilerden sayısı en fazla olan verilerin toplam veri sayısına oranıdır. Bu işlemi tüm kümeler için yapar ve elde edilen sonuçların tamamını toplar. Bu toplamın toplam veri sayısına oranı Purity'dir. K küme sayısını, C_i^d , C_i kümesindeki baskın sınıfa ait veri sayısını ifade etmek üzere Purity Eş. 3 ile hesaplanır.

$$Purity = \frac{\sum_{i=1}^K \frac{|C_i^d|}{|C_i|}}{K} \quad (3)$$

Accuracy kümelenen verilerin gerçekte ne kadarının doğru sınıfa atandığını bulmaya yarayan bir kümeleme başarısı değerlendirme yaklaşımıdır. a_i i kümesine atanmış ve gerçekte de i kümesine ait olan verilerin sayısı ve n de veri setindeki toplam veri sayısı olmak üzere Accuracy Eş. 4 ile hesaplanır.

$$Accuracy = \frac{\sum_{i=1}^k a_i}{n} \quad (4)$$

Precision ve Recall en temel kümeleme başarısını değerlendirme yöntemleridir. Bir dokümandaki ilgili olan dokümanların sayısı $|R|$, R olduğu tahmin edilenlerin sayısı $|A|$

ve R 'ye ait olduğu tahmin edilenlerden gerçekte R 'ye ait olanlar $|R_a|$ olmak üzere Precision ve Recall değerleri Eş. 5 ve Eş. 6 ile hesaplanır.

$$Precision = \frac{|R_a|}{A} \quad (5)$$

$$Recall = \frac{|R_a|}{|R|} \quad (6)$$

Rand Index (RI) [28], bir kümedeki verinin değerini hesaplar. Bu işlemi aynı şekilde gerçek sınıf etiketleri için de yapar. Sonrasında bu yapılan işlemi ikili olarak karşılaştırır. Aynı mı yoksa farklı mı olduğunu bir tabloda tutar. Bu tablo üzerinden RI değerini hesaplar. $X_{Gerçek}$, X parçasına ait gerçek sınıf etiketleri ve X_{Tahmin} X parçasına ait tahmin, $Uyumlu_{Aynı}$ ikili karşılaştırmanın hem $X_{Gerçek}$ 'de hem X_{Tahmin} 'de aynı olmasını, $Uyumlu_{Farklı}$ ikili karşılaştırmanın birinde farklı olmasını, $Uyumsuz_{Aynı}$ ikili karşılaştırmanın hem $X_{Gerçek}$ 'de hem X_{Tahmin} 'de aynı olmasını, $Uyumsuz_{Farklı}$ ikili karşılaştırmanın birinde farklı olmasını ifade etmek üzere RI Eş. 8 ile hesaplanır.

$$RI = \frac{Uyumlu_{Aynı} + Uyumlu_{Farklı}}{Uyumlu_{Aynı} + Uyumlu_{Farklı} + Uyumsuz_{Aynı} + Uyumsuz_{Farklı}} \quad (8)$$

Adjusted Rand Index (ARI) [29], RI üzerinden hesaplanan bir kümeleme başarısı değerlendirme yöntemidir Eş. 9 ile hesaplanır.

$$ARI = \frac{RI - Beklenen\ RI}{Max\ RI - Beklenen\ RI} \quad (9)$$

Jaccard index [30], modelin etiketlediği verileri gerçek etiketler ile karşılaştırır. Modelin verileri atadığı kümenin etiketi A, söz konusu verilerin gerçek küme etiketi B olmak üzere Jaccard index (J_s) iki kümenin kesişimlerinin birleşimlerine oranıdır ve Eş. 10 ile hesaplanır.

$$J_s = \frac{A \cap B}{A \cup B} \quad (10)$$

Yukarıda saydığımız küme başarısı değerlendirme yöntemlerinin dışında Calinski-Harabasz index [31], I index [32], Dunn index [33], Davies-Bouldin index [34], Fowlkes & Mallows [35], BIC (Bayesian Information Cirtaria) index [36], NMI (Normalized Mutual Infprmation) [37] ve Entropy [38] gibi küme başarısı değerlendirme yöntemleri de vardır.

Küme başarısı değerlendirme yöntemleri olarak dahili yöntemler harici yöntemlere göre daha kullanışlı ve tutarlıdır. Çünkü dahili yöntemlerde bir küme etiketine ihtiyaç olmadığından modelin kümeleme yaparken verdiği etiketin bir önemi yoktur. Bu nedenle Gerçekte 1 numaralı küme olarak etiketlenmiş verilerin model tarafından 2 veya 3 olarak etiketlenmesinin bir farkı yoktur ve kümeleme başarısını etkilemez. Oysa ki harici yöntemlerde verilen etiketin gerçek küme etiketi ile uyuşmaması, sonucu doğrudan etkiler. Zaman karmaşıklığı açısından bakıldığında zaman ARI, Jaccard index, Fowlkes & Mallows ve Silhouette index gibi kümeleme başarısı değerlendirme yöntemlerinin zaman karmaşıklığı diğer yöntemlerden daha yüksektir.

Kümeleme başarısını değerlendirme yöntemlerinden bir diğeri de F-Score'dur [27]. F-Score Precision ve Recall değerlerinin harmonik ortalamasıdır ve Eş. 7 ile hesaplanır.

$$F - Score = \frac{2 \cdot Precision \cdot Recall}{Precision + Recall} \quad (7)$$

8. Akan veri kümelemede temel yaklaşımlar

Akan veri kümeleme yaklaşımları parçalamalı, hiyerarşik, yoğunluk-tabanlı, grid-tabanlı ve model tabanlı olarak beş ana gruba ayrılmaktadır [39]. Tablo 1'de de görüldüğü gibi her yöntemin hem avantajı hem de dezavantajı bulunmaktadır.

Parçalama temelli akan veri kümeleme yaklaşımında veri k-means gibi uzaklık tabanlı bir algoritma ile çeşitli sayıda kümelere ayrılır. Bu tür yaklaşımlarda küme şekli yuvarlaktır. Oysaki küme şekli verinin özelliğine bağlı olarak değişebilir. Bu yaklaşımlarda genelde sonuç gürlüğü ve sapan veriden etkilenir. STREAM [40] ve CluStream [24] bu yaklaşımlara örnek verilebilir.

Hiyerarşik kümeleme, veriyi kümelere bölünmüş bir ağaç yapısında gruplar. Veri örnekleme ve veri görselleştirme açısından faydalı bir yaklaşımdır. Küme birleştirme (merge) ve küme bölme (split) işlemi sürekli yapılır. BIRCH [41] ve Chameleon [42] bu yaklaşımlara örnek verilebilir. Hiyerarşik kümelemenin başarısını arttırmak için diğer yöntemlerle birleştirilmiş yaklaşımlar da mevcuttur. Bu yaklaşımlara örnek ClusTree [43] verilebilir.

Grid tabanlı kümeleme, verinin dağılımından bağımsızdır. Veriyi grid denilen parçalara ayırır. Zaman açısından hızlı bir kümeleme yaklaşımıdır. STING [44], WaveCluster [45] ve CLIQUE [46] bu yaklaşımlara örnek verilebilir. Grid tabanlı yaklaşımların yoğunluk tabanlı yaklaşımlarla birleştirildiği çok sayıda çalışma da mevcuttur. D-Stream [47] ve MR-Stream [48] bunlara örnek verilebilir.

Model tabanlı kümeleme yaklaşımları, EM (Expectation Maximization) [49] gibi matematiksel modellerle veri arasında bir optimizasyon bulmaya çalışan kümeleme yaklaşımlarıdır. EM algoritması k-means algoritmasının değişik bir versiyonu olarak düşünülebilir. SWEM [50] algoritması bu yaklaşımlara örnektir.

Yoğunluk tabanlı kümeleme, yoğunluğu baz alarak kümeleme yapar. Bu yaklaşımlarda kümeler verinin yoğunlaştığı alanlarda yoğunlaşır. Temel yaklaşımı kümeyi verinin yoğunlaştığı yerlere doğru genişletmeye dayanır. Bu işlemi gerçekleştirirken belirli bir eşik değeri kullanır. Böylece sapan verileri bertaraf etmek ve veriye göre şekiller elde etmek mümkün olabilmektedir. DBSCAN [51], OPTICS [52] ve DENCLUE [53] yoğunluk tabanlı kümeleme algoritmalarıdır. DenStream [54] akan veriyi kümelemeye yönelik geliştirilmiş yoğunluk tabanlı kümeleme algoritması olarak verilebilir.

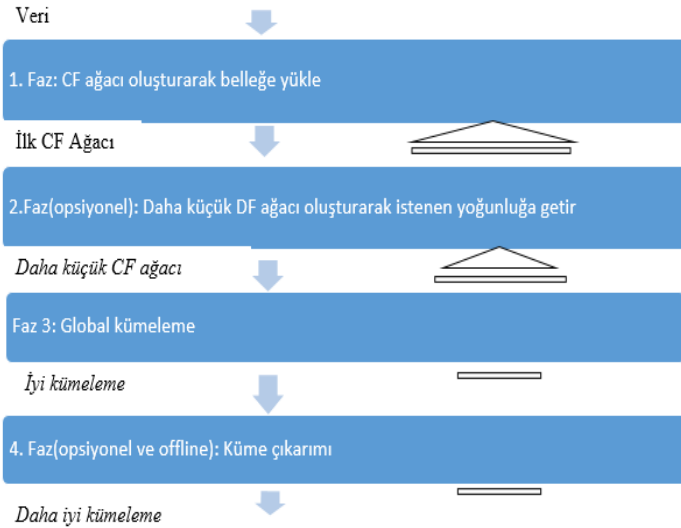
Tablo 1. Akan veri kümeleme yaklaşımlarının karşılaştırılması [55]

| Metod | Avantaj | Dezavantaj |
|-------------|--|--|
| Parçalamalı | <ul style="list-style-type: none"> Uygulaması kolaydır Özyinelemeli bir şekilde kümeleri oluşturur | <ul style="list-style-type: none"> Küme sayısı kullanıcı tarafından tanımlanmalıdır Sadece dairesel şekiller elde edilebilir |
| Hiyerarşik | <ul style="list-style-type: none"> Mesafe veya benzerliği ele alış şekli işi kolaylaştırır | <ul style="list-style-type: none"> İşlemi tamamlama kriterlerinde problem olabiliyor |

| | | |
|------------------|--|---|
| | | <ul style="list-style-type: none"> • Zaman karmaşıklığı yüksektir |
| Grid-tabanlı | <ul style="list-style-type: none"> • İşlemleri hızlı bir şekilde yapar • Sapan verileri tespit edebilir | <ul style="list-style-type: none"> • Çok boyutlu veriler kullanılamaz • Grid boyutu tanımlanmak zorundadır |
| Yoğunluk-tabanlı | <ul style="list-style-type: none"> • Farklı şekle sahip kümeleri tespit edebilir. • Sapan verileri tespit edebilir | <ul style="list-style-type: none"> • Çok sayıda parametre tanımlanmalı • Çoklu yoğunluk durumlarında çalışmaz |
| Model-tabanlı | <ul style="list-style-type: none"> • Standart istatistiki bilgilere dayanarak küme sayısını otomatik bir şekilde tanımlayabilir • Sapan verileri tespit edebilir | <ul style="list-style-type: none"> • Model veya tanımlanmış yapıya bağlıdır |

9. Başlıca akan veri kümeleme algoritmaları

STREAM [40], k-means tabanlı iki aşamadan oluşan bir yaklaşımdır. Böl ve fethet yaklaşımına dayanır. İlk aşamada data stream kova (bucket) denilen parçalara bölünür ve her kova için k-median uygulanarak k tane küme bulunur. Küme merkezleri kaydedilerek küme merkezleri sahip oldukları veri miktarlarına göre ağırlıklandırılır. Bu noktada asıl veriler göz ardı edilerek ağırlıklandırılmış veri merkezleri veri olarak kabul edilir. İkinci aşamada ağırlıklandırılmış veri merkezleri kümelenecek daha az sayıda küme elde edilir.



Şekil 7. BIRCH genel yapısı [41]

CluStream [24] bir online ve bir offline bileşenden oluşur. Online bileşen veriyi mikro-küme (micro-cluster) yapısında özetler. Burada mikro-küme BIRCH [41] (Şekil 7)'in kümeleme özelliğinin geçici genişletilmiş bir versiyonudur. Veriye ait özetleme istatistikleri belleğe kaydedilir. Bu durum, kullanıcıya zaman açısından esneklik sağlar. Offline bileşen ise k-means kümeleme uygulayarak mikro-küme daha büyük kümelere dönüştürür. Bu algoritma dairesel olmayan şekilleri bulmakta çok verimli değildir. Ayrıca sapan veriden çok etkilenir. Bunun yanında yapısı gereği büyük veri setleri için çok başarılı değildir. CluStream algoritmasının gelişmiş bir versiyonu olan StreamSamp [56] algoritması geliştirilmiştir. Bu yaklaşım temel anlamda verimli bellek kullanımı ile ön plana çıkmaktadır. StreamSamp'te sabit boyutlu bellek kullanımı benimsenmiştir. İki çeşit hafızalama yoluna gidilmektedir. Kısa boyutlu ve daha uzun boyutlu hafızalama. Kısa boyutlu hafızalama küçük boyutlu periyodik hafızalama yaparken, uzun boyutlu hafızalama büyük

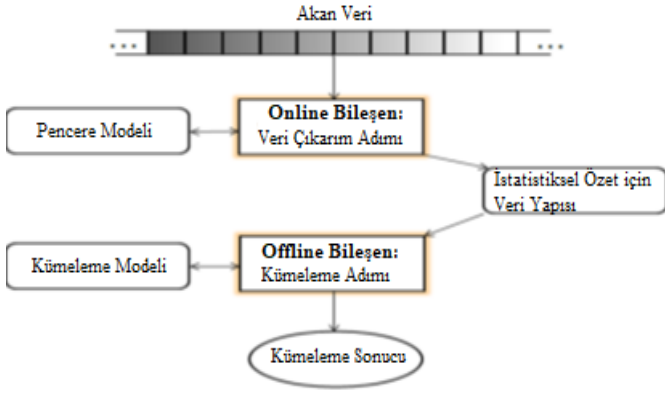
boyutlu periyodik hafızalama yapmaktadır. StreamSamp akan veriyi hızlı bir şekilde özetleme yeteneğine sahip olmasına rağmen kümeleme başarısı zamana bağlı olarak azalmaktadır.

ClusTree [43] kümeleme işlemini yine online ve offline olmak üzere iki aşamada gerçekleştirir. Online kısım mikro-küme bulmak için kullanılır. mikro-küme hiyerarşik yapıda birleştirilir. Böylece herhangi bir adımda offline bileşen uygulanabilir. Sistem kendinden uyarlamalıdır. Bu nedenle herhangi bir anda sistem sonuç üretebilmektedir.

HPStream [57], Fading Cluster Structure (FCS – Veri Ağırlığını Azaltma) kullanarak zamana bağlı olarak eski verilerin ağırlığını azaltır. CluStream algoritmasının gelişmiş bir versiyonudur. CluStream algoritmasına göre avantajı çok boyutluluğu desteklemesidir. Çok boyutlu verilerde boyutların bir alt kümesini alır. Nitelik sayısı her küme için farklı olabilir. Nitelik sayısı güncellenebilmektedir. Yeni gelen verilere daha fazla önem verilmesi gereken uygulamalar için uygundur. Bu yaklaşım sensör network uygulamaları için oldukça faydalı bir yaklaşımdır. Çok boyutluluğu desteklemesine rağmen çok boyutluluk konusunda optimum bir sonuç verememektedir. Küme şekillerini belirlemede problem çıkmaktadır. İyi performans için verinin tamamı hakkında yeterli bilgiye sahip olmak gerekir. Bu da akan veri için her zaman mümkün değildir.

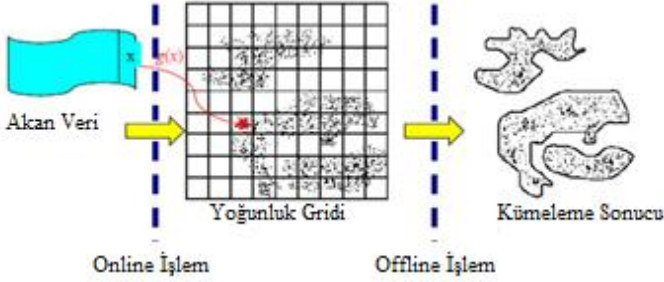
DUCstream [58] veriyi birbiri ile örtüşmeyen gridlere ayırır ve veriyi yığın (chunk) denilen parçalara ayırır. Her bir yığın M tane veriden oluşur. Gridler noktalar halinde haritalanır ve depth first search algoritması uygulanarak kümeler oluşturulur. Kümeleri bir grafin parçaları gibi birbirine bağlar. Kümeleme açısından oldukça elverişli bir algoritmadır. Ancak veriyi gridlere ayırmak için veri hakkında yeterli bilgiye sahip olmak gerekir.

DenStream [54] yoğunluk tabanlı bir kümeleme yaklaşımıdır. Bu yaklaşım da DBSCAN algoritmasının geliştirilmiş bir versiyonudur ve mikro-küme kullanır. Şekil 8'de de görüldüğü gibi online ve offline olmak üzere iki bölümden oluşur. Online bölümde veriler mikro-küme şeklinde temsil edilir. Offline bölümde mikro-küme yapısındaki veri DBSCAN [51] algoritması ile kümelenebilir. Bu algoritmanın en büyük avantajı sapan verileri tespit edebilmesidir. rDenStream [59] algoritması da DenStream algoritması gibidir. rDenStream algoritmasının en önemli farkı atılan verilere ikinci bir şans vermesidir.



Şekil 8. DenStream algoritması [54]

E-Stream [60], beş tip işlem gerçekleştirmektedir: Yeni bir kümenin ortaya çıkması, var olan bir kümenin yok edilmesi, büyük bir kümenin bölünmesi, iki kümenin birleştirilmesi, kümenin karakteristiğinin değiştirilmesi. Fading cluster yapısını ve histogram kullanır. Bu nedenle performansı HPStream [57] algoritmasından daha iyidir. Ancak kullanıcının pek çok parametreyi tanımlamasına ihtiyaç duyar [60].



Şekil 9. D-Stream kümeleme [47]

D-stream [47], yoğunluk tabanlı grid yapısı kullanan bir kümeleme algoritmasıdır. Veriyi gridlere böler. Şekil 9'da da görüldüğü gibi iki aşamadan oluşur. Online bölümde gelen veri gridlere göre haritalanır. Offline aşamada her grid için yoğunluk hesaplayarak veriyi atar. Son olarak grid yoğunluğuna göre bir kümeleme yapar. Eski gridlerin ağırlığını azaltmak için zamana bağlı olarak ağırlık azaltma (fading) fonksiyonu kullanır. Eğer belirlenen bir gridin yoğunluk değeri eşik değerinin altına düşerse ve yeni veriler eklenmez ise silinir. Nitelik sayısı (dimension) arttıkça grid sayısı üssel artar, bu nedenle çok boyutlu problemler için uygun değildir.

SE-Stream [61], E-Stream algoritmasının gelişmiş bir versiyonudur. Boyut problemini de ele alan bir algoritmadır. Amaç çok boyutlu veriler için performansı arttırmaktır. Boyut indirgeme işlemi yapılır. Bunu yaparken de sonuçla en fazla alakası olan nitelikler seçilir. E-Stream [60] algoritmasında MergeOverlapClustering ve LimitMaximumCluster işlemleri çok zaman almaktadır. SE-Stream algoritmasında bunlar optimize edilir.

DD-Stream [62], yoğunluk ve grid tabanlı yaklaşımları birleştiren bir yaklaşımdır. n-boyutlu veriyi gridlere ayırır ve özvektör (eigenvector) ile update eder. Özvektör grid merkezinin koordinatlarını, gridin en son güncellendiği zamanı, gridin grid merkezinden silindiği zamanı ve en son grid yoğunluğu gibi veri gruplarını içerir. Özvektör ile gridin yoğun mu yoksa seyrek bir grid mi olduğuna karar verir. Şekil 10'da da görüldüğü gibi yoğun

gridlere ait kümeleri bulmak için yoğunluk tabanlı kümeleme yaklaşımı kullanılır.

HUE-Stream [63], E-Stream [60] algoritmasının geliştirilmiş bir versiyonudur. Kategorik niteliklerde belirsizliği ortadan kaldırmak için iki objenin uzaklık fonksiyonunu olasılık dağılımı ile kullanır. K üme yapısında değişiklik yapıp yapılmayacağına adı geçen uzaklık fonksiyonu ile karar verir. Bu fonksiyon ile bir kümenin ikiye ayrılmasına veya iki kümenin birleştirilmesine karar verir.

STREAMKM++ [64], k-means ve Öklid uzaklığı tabanlı bir akan veri kümeleme algoritmasıdır. Eğer küme merkezlerinin sayısı fazla ise BIRCH [41] algoritmasından daha iyi sonuç vermektedir. Ancak performans açısından bakıldığı zaman BIRCH algoritmasına göre daha yavaş bir algoritmadır.

HDDStream [65], HPStream [57] benzeri bir algoritmadır. HDDStream üç aşamadan oluşur. İlk aşamada mikro-küme oluşturulur. Sonra online bölümde sapan veriler tespit edilir ve geri kalan veri kümeleştirilir. Offline bölümde ise elde edilmiş kümeler daha büyük kümelere dönüştürülür. HDDStream algoritmasının HPStream algoritmasından farkı küme sayısının zamana bağlı olarak değişmesidir.

LeaDen-Stream [66], yoğunluk tabanlı bir akan veri kümeleme yaklaşımıdır. Şekil 11'de de görüldüğü gibi bu yaklaşımın yoğunluk tabanlı diğer çalışmalardan farkı, oluşturulmuş olan mikro-küme içindeki verilerin dağılımını da göz önünde bulundurmasıdır. Burada mikro-küme içinde verinin yoğunlaştığı yerde bulunan veri lider olarak seçilir. Offline bölümde lider noktalar kullanılarak sonuç kümeleri oluşturulur.

CL-Ant [68] ve CL-AntInc [69] algoritmaları karınca kolonilerini örnekleyen akan veri kümeleme yaklaşımlarıdır. CL-Ant ve CL-AntInc algoritmalarında veriler karınca olarak temsil edilmektedir. Karınca kolonilerinin her biri de küme olarak kabul edilmektedir. Algoritma başlangıçta k-means algoritması uygulayarak kümeleme yapmaktadır. Daha sonra dinamik bir graf yapısı oluşturularak dinamik bir kümeleme yapılmaktadır.

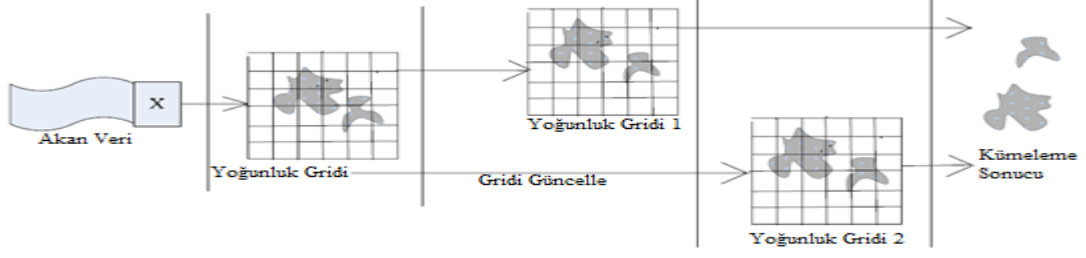
HSDStream [70], çok boyutlu verileri kümelemek amacıyla geliştirilmiş bir algoritmadır. HSDStream üç aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşamada veri sabit boyutlu mikro-kümelere (core-mc) dönüştürülür. İkinci aşama olan online aşamada sapan veriler tespit edilir. Offline bölümde ise sonuç kümeleri oluşturulur. Bu algoritmanın HDDStream [65] algoritmasından farkı çok boyutlu veriyi işleyebilmesidir. Yapılan deneysel çalışmalar HSDStream algoritmasının HDDStream algoritmasından daha iyi sonuçlar verdiğini ortaya koymuştur.

Şekil 12'de de görüldüğü gibi CODAS [67], yine yoğunluk tabanlı bir akan veri kümeleme yaklaşımıdır. CODAS'ın getirdiği en önemli yenilik tamamen online çalışmasıdır. Online olarak veriyi mikro-kümelere böler, sonra bu mikro-küme birleştirilerek asıl küme elde edilir. Bunu gerçekleştirmek için kümelemede hyper-spherical mikro-küme denilen yapıyı kullanır. Sapan verileri tespit etmek için bir eşik değeri kullanılır. Bu kümeleme yaklaşımının en büyük eksiği online çalışmasından dolayı çok hızlı akan veriyi işlemede oluşabilecek problemler ve son gelen verileri daha önemli kılacak bir yapıya sahip olmamasıdır.

SOC [71], temelde hızlı bir şekilde ve online kümeleme yapmayı amaçlayan bir yaklaşımdır. k-means ve k-medoid gibi yaklaşımların aksine herhangi bir varsayımda bulunmaz. Kümele

skeleton denilen parçalar ile temsil edilir. Skeleton denilen parçalar verinin yoğunluğa göre ağırlıklandırılmış şeklidir. Hızlı bir şekilde kümeleme yapmak için her yeni veri gelişinde kümeler güncellenir. Önerilen yaklaşım kümeleri otomatik bir şekilde tespit ederken sapan verileri de tespit etme yeteneğine sahiptir.

Mevcut yaklaşımların çoğundan daha iyi sonuç verdiği tespit edilmiştir.



Şekil 10. DD-Stream algoritması [62]



Şekil 11. Leaden-Stream algoritmasında mikro-makro kümeler[66]

STREAMLEADER [72], CODAS algoritması gibi offline bölüme gerek duymadan veriyi online olarak kümeleyen bir kümeleme yaklaşımıdır. Bu yaklaşımda kullanıcıdan sadece bir parametreyi belirlemesi beklenmektedir. Sistem MOA¹ platformuna adapte edilmiştir. Geliştirilen yöntem CluStream, DenStream ve ClusTree algoritmaları ile karşılaştırıldığında daha iyi sonuç verdiği tespit edilmiştir.

DBSTREAM [73] mikro-küme yapısını kullanırken mikro-kümeler arasındaki verileri de işleme alır. Online kısımda veri özetlenirken özeti alınmış veriler yoğunluğa göre ağırlıklandırılmaktadır. DBSTREAM veriyi mikro-kümelere bölerken sadece mikro-kümeler arası mesafeyi almaz aynı zamanda orijinal veriler arasındaki yoğunluk bağlantılarını da alır.

DCSTREAM [74], STREAM gibi böl ve fethet ve k-means tabanlı bir kümeleme algoritmasıdır. Büyük verileri kümelemek için geliştirilmiştir. Veriler w boyutunda parçalara ayrılır. w_i penceresine alınmış veri w_i+1 süresi içerisinde yok edilir. Yani geriye dönüş w süresince olabilir. Biri online ve biri offline olmak üzere iki bileşenden oluşur. Veri online bölümden önce veri temizleme, nitelik seçme, nitelik azaltma ve veri dönüşümü gibi işlemler gerçekleştirilir. Online bölümde veriler mikro-kümelere bölünür. Burada küme birleştirme ve ayırma (merge ve split) k-means ile yapılır. Offline bölümde w_i+1 süresi sonunda w_i yok olduğundan son gelen verilere önem verilerek kümeleme

yapılmış olur. Şekil 14 DCSTREAM algoritmasının framework'ünü göstermektedir.

FEAC-Stream [75] küme sayısında sınırlama getirmeyen ve veriyi özetlerken verinin değişim noktalarını tespit etmeye çalışan böylece performansı arttıran bir akan veri kümeleme yaklaşımıdır. Yani oluşturulmuş kümeleri değiştirmeyi belirli şartlara bağlar aksi durumda kurulmuş olan yapı devam ettirilmektedir

DPStream [76] algoritması DPClust yapısını kullanan bir hiyerarşik veri kümeleme yaklaşımıdır. Verileri hiyerarşik bir yapıda birleştiren DPStream bunu yaparken verileri yoğunluğa bağlı olarak en yakın yüksek yoğunluklu olarak birbirine bağlar. Mevcut yöntemler ile karşılaştırıldığında performans açısından çok hızlı çalışan bir algoritma olduğu söylenebilir.

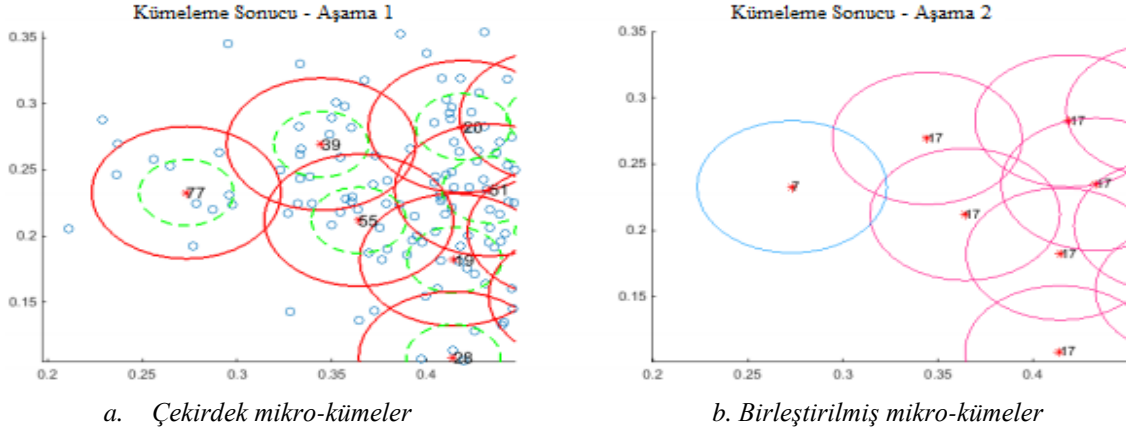
CEDAS [77] graf yapısını kullanan bir akan veri kümeleme yaklaşımıdır. Verileri ilk olarak mikro-küme yapısında birleştiren daha sonra bu mikro-kümelere yakınlık derecesine bakarak birleştiren ve makro kümeleri oluşturan online çalışan ve farklı şekildedeki kümeleri tespit etme yeteneğine sahip bir yaklaşımdır. Her veri gelişinde graf yapısı kontrol edilmekte ve eğer gerek varsa bu yapı güncellenmektedir.

LLDStream [78], DenStream ve DBSCAN [51] algoritmalarını temel alan yoğunluk tabanlı bir algoritmadır. LLDStream online ve offline olarak iki aşamadan oluşur. Online aşamada gelen verinin atanacağı mikro-kümeyle belirlenir. Offline aşamada ise kullanıcıya mikro-kümelere oluşan makro kümeler sunulur. LLDStream boyut indirgemeyi LDA (Linear Discriminant Analysis)'dan faydalanarak yapar. Çok boyutluluğu ve farklı şekildedeki kümeleri tespit edebilmesi avantajı olarak öne çıkmaktadır.

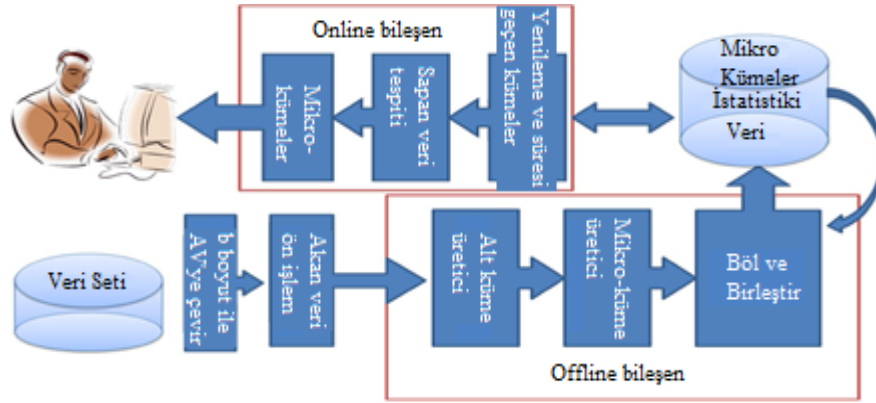
Bir diğer önerilen akan veri kümeleme yaklaşımı Xinxin ve ark. [79] sapan verileri tespit edebilen, en yakın komşu yaklaşımından güç alan yoğunluk ve grid tabanlı algoritmadır. Bu yaklaşım kayan pencere veri özetleme yaklaşımını kullanır. Özeti alınmış veri bir graf yapısında yapılandırılır. En yakın komşu yaklaşımına göre bir birine yakın olan veriler aynı kümenin elemanları olarak tanımlanır. Farklı şekildedeki kümeleri ve sapan verileri tespit edebilmesi en güçlü yönleri olarak öne çıkarken,

¹ Massive Online Analysis: Yeni Zelanda'nın Waikato Üniversitesi'nin akan veri kümeleme için geliştirdiği açık kaynak kodlu bir framework

parametrelerin optimum belirlenmesi ihtiyacı zayıf tarafı olarak öne çıkmaktadır.



Şekil 12. CODAS algoritmasına ait mikro ve birleştirilmiş kümeler [67]



Şekil 13. DCSTREAM algoritmasına ait framework [74]

SPE-Cluster [80], oto-regresyon modelleme tekniğini kullanarak akan veriler arasındaki korelasyonu hesaplar. Bunun için akan veriden birbiri ile alakalı nitelikleri bulmak için frekans spektrumunu bulur. Online ve offline iki bölümden oluşur. Online bölüm kayan pencere ile akan verilerin spektral bileşenlerini hesaplar. Offline bölüm ise Dinamik k-means kullanarak akan veriyi kümeler. SPE-Cluster dinamik yapısı ile kümeleme adaptasyonu (concept evolution) ve küme sayısı problemlerine çözüm üretmektedir.

Jurgen ve ark. [81] paralel akan veriyi kümelemek için değişken tabanlı bir yaklaşım önermişlerdir. Veriyi özetlemek için veriler arasındaki uzaklığı ve Discrete Fourier Transform (DFT) katsayısını kaydeder. Akan veriyi işlemek için kayan pencere yapısını kullanır. Kümeleme işlemini gerçekleştirmek için k-means kümelemeyi kullanır. Kümeleme adaptasyonu gerçekleştirmek için küme sayısını birer birer artırır ve birer birer azaltır. Küme sayısını artırırken merkeze uzak veriyi yeni küme olarak tanımlar. Küme sayısını azaltırken var olan bir kümenin elemanlarını diğer kümelere atar.

ODAC [82], kümeleme adaptasyonunu desteklemek için ayırıcı ve kümeleyici bir yapıdadır. Üstten aşağıya (top-down) bir yapıyı destekler, hiyerarşik bir ağaç yapısındadır. Veriler arasındaki uzaklığı bulmak için korelasyona benzeyen bir hesaplama yaklaşımı vardır. Hiyerarşik ağaçta her bir kök (node - burada küme) uzaklığa bakarak ayırır. Aynı şekilde uzaklık

korelasyonuna göre iki kökü birleştirir. Var olan kümelerin çapına bakarak kümelerin birleştirilmesine veya ikiye ayrılmasına karar verir. Bu işlem zamana bağlı olarak periyodik bir şekilde yapar.

POD-Clus [83], model tabanlı bir akan veri kümeleme yaklaşımıdır. Örnekleme için küme özetini kullanır. Bunun için ortalama, standart sapma ve her küme için nokta sayısına bakar. Kümelerin ayrıştırılması, iki kümenin birleştirilmesi, yeni bir küme oluşturulması veya var olan bir kümenin yok edilmesini destekler. Kümeleme başarısı tatmin edici olmasına rağmen işlem performansı kötüdür.

COMET-CORE [84], çoklu akan veriyi online manada kümelemek için geliştirilmiş bir yaklaşımdır. Benzerlik ölçütü olarak ağırlıklandırılmış korelasyon kullanır. ODAC [82]'in aksine COMET-CORE veriyi periyodik olarak kümelemez. Belirli bir durum olduğunda kümeleri böler veya birleştirir. Akan veriler arasındaki ağırlıklandırılmış korelasyonu sürekli günceller.

Tablo 2, akan veri kümeleme alanında geliştirilmiş olan belli başlı yaklaşımları kullanılan parametreler, kümeleme adaptasyonunu destekleme, veri ağırlığını zamana göre azaltma (fading), kümeleme türü, avantaj ve dezavantajları açısından karşılaştırmaktadır.

Tablo 2. Akan veri kümeleme alanında geliştirilmiş algoritmaların karşılaştırılması

| Algoritma | Yıl | Parametreler | Avantajlar | Dezavantajlar | Kümeleme Adaptasyonu Destegi Var mı? | Veri Ağırlığını Azaltma Var mı? | Kümeleme türü |
|---------------|------|--|--|--|--------------------------------------|---------------------------------|-------------------------|
| STREAM | 2001 | Küme sayısı | Performansı | Küme sayısını sınırlama | Hayır | Hayır | Parçalama |
| SPE-Cluster | 2001 | Kayan ve temel pencerelerin tanımlanması gerekir | Küme sayısı belirlemede ve zamana bağlı küme adaptasyonunda avantajlıdır | Dairesel olmayan kümeleri bulmakta problemli | Evet | Hayır | Parçalama |
| CluStream | 2003 | Küme sayısı ve zaman penceresi | Özetleme sayesinde kullanıcıya esneklik sağlar | Dairesel olmayan kümeleri tespit etmekte problemli Sapan veriden etkilenir Büyük verilerde problemli | Evet | Hayır | Parçalama & Hiyerarşik |
| HPStream | 2004 | Max küme sayısı, ortalama boyut değeri | Çok boyutlu verileri destekler Yeni gelen verilerin ağırlığı daha fazla | Dairesel olmayan kümeleri bulmakta problemli | Evet | Evet | Parçalama & Hiyerarşik |
| DUCstream | 2005 | Grid hücrelerinin yoğunluk eşik değeri | Dairesel olmayan şekilleri bulabiliyor | Tüm verilerin ağırlığı aynı | Evet | Hayır | Yoğunluk & Grid tabanlı |
| DenStream | 2006 | Küme yarıçapı eşik değeri Veri ağırlık eşik değeri Sapan veri eşik değeri Küme ağırlığı Bozunum katsayısı (decay factor) | Farklı şekillerdeki kümeleri bulabilir Sapan verileri tespit edebilir | Sapan verileri bulma işlemi performansı düşürüyor Küme bölme ve birleştirme işlemlerini yapmıyor | Evet | Evet | Yoğunluk tabanlı |
| D-Stream | 2007 | Bozunum katsayısı Grid yoğunluk eşik değeri Veri ağırlığını azaltma oranı | Yoğunluğa bakarak kümeleri gerçek zamanlı olarak tespit edebiliyor Zamana bağlı olarak kümelerin dönüşümünü destekliyor | Algoritmanın zaman karmaşıklığı pek çok değişkenden etkilenir | Evet | Evet | Yoğunluk & Grid tabanlı |
| E-Stream | 2007 | Maksimum küme sayısı, yarıçap değeri, stream hızı, silme eşik değeri, aktif olma eşik değeri, birleştirme eşik değeri | Kümelerin zamana bağlı dönüşümünü destekler Zamanla küme bölme ve birleştirme işlemleri gerçekleşir | Dairesel olmayan kümeleri bulmakta problemli, çok sayıda parametrenin tanımlanması gerekir | Evet | Evet | Hiyerarşik |
| DD-Stream | 2008 | Grid hücrelerinin yoğunluk eşik değeri, yoğunluk fading oranı gibi parametreler | Farklı şekillerdeki kümeleri bulabilir Kümeleme başarısı tatmin edici | Çok boyutluluğu destekleme | Evet | Evet | Yoğunluk & Grid tabanlı |
| ODAC | 2008 | Kümeleri bölme eşik değeri | Kümeleri bölme ve birleştirme işleminde başarılı | Dairesel olmayan kümeleri bulmakta problemli | Evet | Hayır | Hiyerarşik |
| POD-Clus | 2008 | Küme bölme ve birleştirme eşik değerleri, veri ağırlığı azaltma oranı | Dairesel olmayan kümeleri tespit edebilir | İşlem performansı kötü | Evet | Evet | Model tabanlı |
| COMET-CORE | 2009 | Korelasyon eşik değeri, küme bölme ve birleştirme eşik değerleri | Çok boyutluluğu destekler | Dairesel olmayan kümeleri bulmakta problemli | Evet | Evet | Hiyerarşik |
| HUE-Stream | 2011 | Veri ağırlığı azaltma oranı ve E-Stream'in diğer parametreleri | Kümelerin zamana bağlı dönüşümlerini destekler, performansı E-Stream'e göre daha iyi | Dairesel olmayan kümeleri bulmakta problemli, çok sayıda parametrenin tanımlanması gerekir | Evet | Evet | Hiyerarşik |
| HDDStream | 2012 | Küme yarıçapı, küme ağırlığı, sapan veri eşik değeri, bozunum katsayısı | Farklı şekildeki kümeleri tespit edebilir, çok boyutlu verileri destekler, sapan verileri tespit edebilir, | Algoritmanın performansı düşük | Evet | Evet | Yoğunluk |
| LeaDen-Stream | 2013 | MMLC ve MMLCweight, MMLC ve MMLCCenter, MMLC ve MMLCradius | Kümeleme başarısı makul | Çok boyutlu veriyi desteklemiyor | Evet | Evet | Yoğunluk |

| | | | | | | | |
|-----------------------------------|------|---|--|--|-------|-------|-------------------------|
| | | | Sapan verilere karşı dirençli, performansı tatmin edici | | | | |
| SE-Stream | 2013 | Silme eşik değeri, yarıçap değeri, veri akış hızı gibi çok sayıda parametre tanımlanmalıdır | E-Stream algoritmasına göre performans daha iyi, algoritma optimize edilmiştir. | Çok sayıda parametrenin tanımlanması gerekir | Evet | Evet | Hiyerarşik |
| HSDStream | 2015 | Pencere genişliği, yarıçap eşik değeri, sapan veri eşik değeri, veri sayısı eşik değeri, varyans eşik değeri, boyut indirgeme eşik değeri | Sapan verilere karşı dirençli, çok boyutlu verileri destekler, performans tatmin edicidir | Çok sayıda verinin tanımlanması gerekir | Evet | Evet | Yoğunluk |
| SOC | 2015 | Küme bölme ve birleştirme eşik değerleri | Sapan verileri tespit edebilir, kümeleme başarısı tatmin edici | Küme başarısı için belli sayıda verinin ulaşmış olması gerekir | Evet | Evet | Model tabanlı |
| DCSTREAM | 2016 | Küme bölme ve birleştirme eşik değerleri, sapan veri eşik değeri | STREAM algoritmasına göre çok daha başarılı, Çok boyutlu veriyi destekler | Dairesel olmayan kümeleri tespit etmek problemlidir | Evet | Evet | Parçalama |
| DBSTREAM | 2016 | Ağırlık azaltma oranı, yarıçap, α vs. | Mikro-kümeler arasında kalan verileri de kullanır buna göre gerekirse kümeler güncellenmektedir. | Mikro-kümeler arasındaki verileri de işlediği için zaman karmaşıklığı bir miktar artmaktadır. | Evet | Evet | Yoğunluk |
| FEAC-Stream | 2017 | InitSize, 10 k-means iterasyonu vs. | Küme sayısının ön tanımlı olmasına gerek yok | Eski oluşturulmuş kümeler silinir | Evet | Evet | Yoğunluk |
| DPStream | 2017 | Lokal yarıçap, global yarıçap, işleme alınan veri boyutu vs. | Tamamıyla online ve farklı şekilleri destekler. Ayrıca çok hızlı çalışan bir algoritmadır. | Çok sayıda parametre var ve parametrelerin çok doğru seçilmesi gerekir. | Evet | Hayır | Hiyerarşik ve Yoğunluk |
| CEDAS | 2017 | Yarıçap, küme yaşlanma oranı ve minimum eşik değeri | Tamamıyla online çalışan ve farklı şekildedeki kümeleri tespit edebilir. Az sayıda parametre tanımlanmakta | Mikro kümelerin birleşimi ile oluşan makro kümelerin doğru tanımlanabilmesi optimum yarıçapın tanımlanması gerekir | Evet | Evet | Yoğunluk |
| LLDStream | 2017 | Yarıçap ve yoğunluk parametresi | Boyut indirgemeyi destekler, farklı şekilli kümeleri tespit edebilir, performansı iyi | Tamamen online değil ve seçilen parametreler sonucu etkiler | Evet | Evet | Yoğunluk |
| Xinxin ve ark. önerdiği algoritma | 2018 | Yoğunluk eşik değeri, yoğunluk katsayısı, en yakın komşu değeri paylaşım değeri | Farklı şekildedeki kümeleri bulabilir, sapan verileri tespit edebilir, küme sayısında sınırlama yok | Optimum parametreleri belirlemek zor | Hayır | Hayır | Yoğunluk & Grid tabanlı |

10. Sonuç ve öneriler

Akan veri kümeleme konusu son dönemin popüler konularından biridir. Veri akarken gerçek zamanlı kümeleme yapmak ve kullanıcıya anında bilgi sunmak oldukça önemlidir. Özellikle banka, sağlık kuruluşları, güvenlik ve sağlık kurumları gibi kuruluşlar için veriyi akarken anlamlandırmak gerekir. Çünkü bu tür kuruluşlarda zamana karşı bir yarış söz konusudur. Bunun yanında bilim, ticaret, meteoroloji, teknoloji ve kamu yönetimi gibi pek çok alanda yaygın olarak kullanılmakta ve kullanım alanı gün geçtikçe artmaktadır.

Akan veriyi kümeleme statik veriyi kümelemekten çok daha zordur. Çünkü veriyi bir yere kaydetmek ve bu veriyi işlemek çok zordur. Zira büyük miktarda veri akmaktadır. Bu nedenle bu veriyi kaydetmek ve işlemek çok büyük kaynak ihtiyacını doğurmaktadır. Dolayısıyla akan veriyi kümeleyecek yaklaşımlara olan talep sürekli artmaktadır. Veri akarken bu

veriyi hızlı bir şekilde işleyecek yaklaşımlara olan ihtiyaç güncel problemlerden birisidir. Literatürdeki çalışmaların çoğu online-offline olarak iki bileşenden oluşmaktadır. Tamamen online çalışan yöntemler de önerilmektedir. Ancak bu tür yöntemler ya istenen başarıyı vermemektedir ya da performansı arttırmak için özetleme yöntemleri kullanıldığından verinin önemli bir kısmı yok sayılmaktadır. Kısaca verinin nasıl özetleneceği de yine çalışmaya açık alanlardan birisidir. Bu nedenle bu alanda yeni yaklaşımların geliştirilmesine ihtiyaç vardır.

Akan veri kümeleme alanında yeni yöntemler geliştirilmesine açık alanlardan bir diğeri evrimsel kümeleme alanıdır. Veri dinamik bir şekilde akmaktadır. Dolayısıyla verinin özelliği de zamana bağlı olarak değişmektedir. Bu nedenle geliştirilen yöntemin de verinin özelliğine göre zamana bağlı olarak evrilmesi gerekir. Yani zamana bağlı olarak bir kümenin oluşturulması, silinmesi, iki kümenin birleştirilmesi veya bir kümenin ikiye bölünmesi ve kümenin yapısının değişmesi gibi

işlemlerin verinin özelliğine bağlı olarak gerektiğinde gerçekleştirilmesi gerekir.

Geliştirilen yöntemlerde kullanılan parametrelerin seçimi ve atanması da yine güncel problemlerden birisidir. Çoğu çalışmada çok sayıda parametrenin belirlenmesi gerekmektedir. Bu parametrelerin doğru belirlenmemesi başarıyı doğrudan etkilemektedir. Parametreleri azaltmak ve bu parametrelerin mümkün olduğunca model tarafından belirlenmesi de önemli problemlerden birisidir. Ayrıca sapan verileri tespit etmek ve performansı düşürmeden çok boyutluluğu desteklemek de güncel problemler arasındadır.

Kaynaklar

1. Ankleshwaria, T.B. and J.S. Dhobi, *Mining Data Streams: A Survey*. International Journal of Advance Research in Computer Science and Management Studies, 2014. **2**(2): p. 379-386.
2. Ikonomovska, E., S. Loskovska, and D. Gjorgjevik, *A survey of stream data mining*, in *Eighth International Conference with International Participation – ETAI 2007*. 2007: Ohrid, Republic of Macedonia.
3. Aggarwal, C.C., *Data Streams: Models and Algorithms*. 1 ed. Advances in Database Systems. 2007: Springer US.
4. Bifet, A. and R. Kirkby, *Data stream mining a practical approach*. 2009.
5. Yogita and D. Toshniwal, *Clustering techniques for streaming data-a survey*. in *2013 3rd IEEE International Advance Computing Conference (IACC)*. 2013.
6. Antonellis, P., C. Makris, and N. Tsirakis, *Algorithms for clustering clickstream data*. Information Processing Letters, 2009. **109**(8): p. 381-385.
7. Yin, C., L. Xia, and J. Wang, *Application of an Improved Data Stream Clustering Algorithm in Intrusion Detection System*. in *Advanced Multimedia and Ubiquitous Engineering*. 2017. Singapore: Springer Singapore.
8. Yin, C., L. Xia, and J. Wang, *Data Stream Clustering Algorithm Based on Bucket Density for Intrusion Detection*. in *Advances in Computer Science and Ubiquitous Computing*. 2018. Singapore: Springer Singapore.
9. Li, Z.Q., *A New Data Stream Clustering Approach about Intrusion Detection*. Advanced Materials Research, 2014. **926-930**: p. 2898-2901.
10. Weiler, A., M. Grossniklaus, and M.H. Scholl, *Situation monitoring of urban areas using social media data streams*. Information Systems, 2016. **57**: p. 129-141.
11. Hawwash, B., *Stream-dashboard : a big data stream clustering framework with applications to social mediastreams*, in *Department of Computer Engineering and Computer Science*. 2013, University of Louisville.
12. Barddal, J.P., et al., *SNStream: a social network-based data stream clustering algorithm*, in *Proceedings of the 30th Annual ACM Symposium on Applied Computing*. 2015, ACM: Salamanca, Spain. p. 935-940.
13. Hendricks, D., *Using real-time cluster configurations of streaming asynchronous features as online state descriptors in financial markets*. Pattern Recognition Letters, 2017. **97**: p. 21-28.
14. Aggarwal, C.C., *Data Streams: An Overview and Scientific Applications*, in *Scientific Data Mining and Knowledge Discovery: Principles and Foundations*, M.M. Gaber, Editor. 2010, Springer Berlin Heidelberg: Berlin, Heidelberg. p. 377-397.
15. King, R.C., et al., *Application of data fusion techniques and technologies for wearable health monitoring*. Medical Engineering & Physics, 2017. **42**: p. 1-12.
16. Gravina, R., et al., *Multi-sensor fusion in body sensor networks: State-of-the-art and research challenges*. Information Fusion, 2017. **35**: p. 68-80.
17. Manzi, A., P. Dario, and F. Cavallo, *A Human Activity Recognition System Based on Dynamic Clustering of Skeleton Data*. Sensors (Basel, Switzerland), 2017. **17**(5): p. 1100.
18. Tasnim, S., et al. *Semantic-Aware Clustering-based Approach of Trajectory Data Stream Mining*. in *2018 International Conference on Computing, Networking and Communications (ICNC)*. 2018.
19. Diaz-Rozo, J., C. Bielza, and P. Larrañaga, *Clustering of Data Streams with Dynamic Gaussian Mixture Models. An IoT Application in Industrial Processes*. IEEE Internet of Things Journal, 2018: p. 1-1.
20. Sabit, H., A. Al-Anbuky, and H. Gholam-Hosseini. *Distributed WSN Data Stream Mining Based on Fuzzy Clustering*. in *2009 Symposia and Workshops on Ubiquitous, Autonomic and Trusted Computing*. 2009.
21. Silva, A.d., et al., *A clustering approach for sampling data streams in sensor networks*. Knowl. Inf. Syst., 2012. **32**(1): p. 1-23.
22. Silva, J.A., et al., *Data stream clustering: A survey*. ACM Comput. Surv., 2013. **46**(1): p. 1-31.
23. Datar, M., et al., *Maintaining stream statistics over sliding windows: (extended abstract)*, in *Proceedings of the thirteenth annual ACM-SIAM symposium on Discrete algorithms*. 2002, Society for Industrial and Applied Mathematics: San Francisco, California. p. 635-644.
24. Aggarwal, C.C., et al., *A framework for clustering evolving data streams*, in *Proceedings of the 29th international conference on Very large data bases - Volume 29*. 2003, VLDB Endowment: Berlin, Germany. p. 81-92.
25. Keim, D.A. and M. Heczeko. *Wavelets and their Applications in Databases*. in *17th International Conference on Data Engineering (ICDE'01), Heidelberg, Germany, 2001*. 2001.
26. Rousseeuw, P.J., *Silhouettes: A graphical aid to the interpretation and validation of cluster analysis*. Journal of Computational and Applied Mathematics, 1987. **20**: p. 53-65.
27. Brun, M., et al., *Model-based evaluation of clustering validation measures*. Pattern Recognition, 2007. **40**(3): p. 807-824.
28. Rand, W.M., *Objective Criteria for the Evaluation of Clustering Methods*. Journal of the American Statistical Association, 1971. **66**(336): p. 846-850.
29. Hubert, L. and P. Arabie, *Comparing partitions*. Journal of Classification, 1985. **2**(1): p. 193-218.
30. Jaccard, P., *Distribution de la flore alpine dans le bassin des Dranses et dans quelques régions voisines*. Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles, 1901. **37**: p. 241-272.
31. Caliński, T. and J. Harabasz, *A dendrite method for cluster analysis*. Communications in Statistics, 1974. **3**(1): p. 1-27.
32. Maulik, U. and S. Bandyopadhyay, *Performance evaluation of some clustering algorithms and validity indices*. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2002. **24**(12): p. 1650-1654.
33. Dunn†, J.C., *Well-Separated Clusters and Optimal Fuzzy Partitions*. Journal of Cybernetics, 1974. **4**(1): p. 95-104.

34. Davies, D.L. and D.W. Bouldin, *A Cluster Separation Measure*. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1979. **PAMI-1**(2): p. 224-227.
35. Wallace, D.L., *A Method for Comparing Two Hierarchical Clusterings: Comment*. Journal of the American Statistical Association, 1983. **78**(383): p. 569-576.
36. Raftery, A.E., *A Note on Bayesian Factors for Log-Linear Contingency Table Models with Vague Prior Information*. Journal of the Royal Statistical Society, Series B, 1986. **48**(B): p. 249-250.
37. Strehl, A. and J. Ghosh, *Cluster ensembles --- a knowledge reuse framework for combining multiple partitions*. J. Mach. Learn. Res., 2003. **3**: p. 583-617.
38. Shannon, C.E., *A mathematical theory of communication*. SIGMOBILE Mob. Comput. Commun. Rev., 2001. **5**(1): p. 3-55.
39. Amini, A., T.Y. Wah, and H. Saboohi, *On Density-Based Data Streams Clustering Algorithms: A Survey*. Journal of Computer Science and Technology, 2014. **29**(1): p. 116-141.
40. O'Callaghan, L., et al. *Streaming-data algorithms for high-quality clustering*. in *Proceedings 1st International Conference on Data Engineering*. 2002. San Jose, CA, USA, USA: IEEE.
41. Zhang, T., R. Ramakrishnan, and M. Livny, *BIRCH: an efficient data clustering method for very large databases*. SIGMOD Rec., 1996. **25**(2): p. 103-114.
42. Karypis, G., E.-H. Han, and V. Kumar, *Chameleon: Hierarchical Clustering Using Dynamic Modeling*. Computer, 1999. **32**(8): p. 68-75.
43. Kranen, P., et al., *The ClusTree: indexing micro-clusters for anytime stream mining*. Knowledge and Information Systems, 2011. **29**(2): p. 249-272.
44. Wang, W., J. Yang, and R.R. Muntz, *STING: A Statistical Information Grid Approach to Spatial Data Mining*, in *Proceedings of the 23rd International Conference on Very Large Data Bases*. 1997, Morgan Kaufmann Publishers Inc. p. 186-195.
45. Sheikholeslami, G., S. Chatterjee, and A. Zhang, *WaveCluster: a wavelet-based clustering approach for spatial data in very large databases*. The VLDB Journal, 2000. **8**(3): p. 289-304.
46. Agrawal, R., et al., *Automatic subspace clustering of high dimensional data for data mining applications*. SIGMOD Rec., 1998. **27**(2): p. 94-105.
47. Tu, L. and Y. Chen, *Stream data clustering based on grid density and attraction*. ACM Trans. Knowl. Discov. Data, 2009. **3**(3): p. 1-27.
48. Wan, L., et al., *Density-based clustering of data streams at multiple resolutions*. ACM Trans. Knowl. Discov. Data, 2009. **3**(3): p. 1-28.
49. Dempster, A., N.M. Laird, and D.B. Rubin, *Maximum Likelihood from Incomplete Data via the EM Algorithm*, in *Paper presented at the Royal Statistical Society at a meeting organized by the Research Section*. 1976.
50. Dang, X.H., et al. *An EM-Based Algorithm for Clustering Data Streams in Sliding Windows*. 2009. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
51. Ester, M., et al., *A density-based algorithm for discovering clusters in large spatial databases with noise*, in *Proceedings of the Second International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*. 1996, AAAI Press: Portland, Oregon. p. 226-231.
52. Ankerst, M., et al., *OPTICS: ordering points to identify the clustering structure*. SIGMOD Rec., 1999. **28**(2): p. 49-60.
53. Hinneburg, A. and D.A. Keim, *An efficient approach to clustering in large multimedia databases with noise*, in *Proceedings of the Fourth International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*. 1998, AAAI Press: New York, NY. p. 58-65.
54. Cao, F., et al., *Density-Based Clustering over an Evolving Data Stream with Noise*, in *Proceedings of the 2006 SIAM International Conference on Data Mining*. p. 328-339.
55. Mousavi, M., A.A. Bakar, and M. Vakilian, *Data stream clustering algorithms: A review*. International Journal of Advances in Soft Computing and its Applications, 2015. **7**(Specialissue3): p. 1-15.
56. Csernel, B., F. Clerot, and G. Hébrail. *StreamSamp: DataStream Clustering Over Tilted Windows Through Sampling*. in *ECML PKDD 2006 Workshop on Knowledge Discovery from Data Streams*.
57. Charu, C.A., et al., *A framework for projected clustering of high dimensional data streams*, in *Proceedings of the Thirtieth international conference on Very large data bases - Volume 30 %@ 0-12-088469-0*. 2004, VLDB Endowment: Toronto, Canada. p. 852-863.
58. Gao, J., et al. *An Incremental Data Stream Clustering Algorithm Based on Dense Units Detection*. 2005. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
59. Liu, L.x., et al. *rDenStream, A Clustering Algorithm over an Evolving Data Stream*. in *2009 International Conference on Information Engineering and Computer Science*. 2009.
60. Udommanetanakit, K., T. Rakthanmanon, and K. Waiyamai. *E-Stream: Evolution-Based Technique for Stream Clustering*. 2007. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
61. Chairukwattana, R., et al. *Efficient evolution-based clustering of high dimensional data streams with dimension projection*. in *2013 International Computer Science and Engineering Conference (ICSEC)*. 2013.
62. Jia, C., C. Tan, and A. Yong. *A Grid and Density-Based Clustering Algorithm for Processing Data Stream*. in *2008 Second International Conference on Genetic and Evolutionary Computing*. 2008.
63. Meesuksabai, W., T. Kangkachit, and K. Waiyamai. *HUE-Stream: Evolution-Based Clustering Technique for Heterogeneous Data Streams with Uncertainty*. 2011. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
64. Ackermann, M.R., et al., *StreamKM++: A clustering algorithm for data streams*. J. Exp. Algorithmics, 2012. **17**: p. 2.1-2.30.
65. Ntoutsis, I., et al. *Density-based Projected Clustering over High Dimensional Data Streams*. in *SIAM International Conference on Data Mining*. 2012.
66. Amini, A. and T.Y. Wah, *LeaDen-Stream: A Leader Density-Based Clustering Algorithm over Evolving Data Stream*. Journal of Computer and Communications, 2013. **1**: p. 26-31.
67. Hyde, R. and P. Angelov. *A new online clustering approach for data in arbitrary shaped clusters*. in *2015 IEEE 2nd International Conference on Cybernetics (CYBCONF)*. 2015.
68. Masmoudi, N., et al. *Incremental clustering of data stream using real ants behavior*. in *2014 Sixth World Congress on Nature and Biologically Inspired Computing (NaBIC 2014)*. 2014.
69. Masmoudi, N., et al., *CL-AntInc Algorithm for Clustering Binary Data Streams Using the Ants Behavior*. Procedia Comput. Sci., 2016. **96**(C): p. 187-196.
70. Ahmed, I., I. Ahmed, and W. Shahzad, *Scaling up for high dimensional and high speed data streams: HSDStream*. CoRR, 2015. **abs/1510.03375**.

71. Choromanski, K., S. Kumar, and X. Liu, *Fast Online Clustering with Randomized Skeleton Sets*. CoRR, 2015. **abs/1506.03425**.
72. Merino, J.A., *Streaming data clustering in MOA using the leader algorithm*, in *Department of Computer Science*. 2015, Universitat Politècnica de Catalunya. p. 122.
73. Hahsler, M. and M. Bolaños, *Clustering Data Streams Based on Shared Density between Micro-Clusters*. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, 2016. **28**(6): p. 1449-1461.
74. Khalilian, M., N. Mustapha, and N. Sulaiman, *Data stream clustering by divide and conquer approach based on vector model*. Journal of Big Data, 2016. **3**(1): p. 1.
75. Silva, J.d.A., et al., *An evolutionary algorithm for clustering data streams with a variable number of clusters*. Expert Syst. Appl., 2017. **67**(C): p. 228-238.
76. Xu, J., et al., *Fat node leading tree for data stream clustering with density peaks*. Knowledge-Based Systems, 2017. **120**: p. 99-117.
77. Hyde, R., P. Angelov, and A.R. MacKenzie, *Fully online clustering of evolving data streams into arbitrarily shaped clusters*. Information Sciences, 2017. **382-383**: p. 96-114.
78. Laohakiat, S., S. Phimoltares, and C. Lursinsap, *A clustering algorithm for stream data with LDA-based unsupervised localized dimension reduction*. Information Sciences, 2017. **381**: p. 104-123.
79. Shao, X., M. Zhang, and J. Meng, *Data Stream Clustering and Outlier Detection Algorithm Based on Shared Nearest Neighbor Density*. in *2018 International Conference on Intelligent Transportation, Big Data & Smart City (ICITBS)*. 2018.
80. Keogh, E., et al. *An online algorithm for segmenting time series*. in *Proceedings 2001 IEEE International Conference on Data Mining 2001*. San Jose, CA, USA, USA: IEEE.
81. Beringer, J. and E. Hüllermeier, *Online clustering of parallel data streams*. Data & Knowledge Engineering, 2006. **58**(2): p. 180-204.
82. Rodrigues, P.P., J. Gama, and J. Pedroso, *Hierarchical Clustering of Time-Series Data Streams*. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, 2008. **20**(5): p. 615-627.
83. Chaovalit, P. and A. Gangopadhyay, *A method for clustering transient data streams*, in *Proceedings of the 2009 ACM symposium on Applied Computing*. 2009, ACM: Honolulu, Hawaii. p. 1518-1519.
84. Yeh, M.Y., B.R. Dai, and M.S. Chen, *Clustering over Multiple Evolving Streams by Events and Correlations*. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, 2007. **19**(10): p. 1349-1362.



Türkiye’de Deponi Alanlarının Sürdürülebilir Çevre Koruma ve Çevresel Etkilerine İlişkin Bir Değerlendirme

Sevda ÖZEL^{1*}

¹Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü 58140 Sivas, Türkiye, sozel@cumhuriyet.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 14 Şubat 2018 ve Kabul Tarihi 1 Ağustos 2018)

(DOI: 10.31590/ejosat.394890)

Öz

Günümüzde tekrar kullanılmamak üzere uzaklaştırılmak (bertaraf edilmek) istenen her şey, atık adı ile ifade edilmektedir. Ancak atıklar (katı/sıvı/gaz), günümüz bilgisi ve teknolojisine göre artık hiç kullanılmayacak ve işe yaramayacak bir malzeme anlamına da gelmemektedirler. Bu atıklar, günümüz bilgi ve teknolojisine ile geliştirilmiş özel işleme ve bertaraf (uzaklaştırma) tesislerinde ya yeniden kullanılmaktadırlar ya da başka malzemelere dönüştürülerek faydalı ürünler (ikincil hammaddeler) haline getirilmektedirler. Bir kısmı da yakılarak yok edilmektedirler. Dolayısıyla bu işlemler yapılırken, atık yönetimi ve atık bertarafı için yer seçimi, özellikle çevrenin korunması ve sürdürülebilirliği için çok önemlidir. Bu amaçla konu ile ilgili uzmanların çalışmalar yapması, kararlar alınması, geliştirme çalışmaları yapması, planlar/planlamalar yapması ve bunlara göre öneriler yapılarak önlemler alınması önemli olmaktadır. Bu çalışmalar, Çevresel Etki Değerlendirme (ÇED) kapsamındaki çalışmalar öncesinde, süresince ve sonrasında da önemli olan ve yapılması düşünülen başka çalışmaları da kapsamalıdır. Böylece sürdürülebilir bir çevre koruması sağlanabilecektir.

Anahtar kelimeler: Çevre bilimleri, deponi alanı, atık, ÇED, çevre koruma.

An Evaluation on the Sustainable Environmental Protection and Environmental Impact of Disposal Areas in Turkey

Abstract

Today, not to be reused, everything to be thrown is called waste. However, according to current knowledge and technology, the wastes (solid/liquid/gas) are not useless materials that will no longer be used. These wastes are either reused in developed special processing and disposal facilities (with today’s knowledge and technology) or converted into other materials to become useful products (secondary raw materials). Some of them are also destroyed by burning. Therefore, while these processes are being implemented, the waste management and the choice of waste disposal location is crucial for the protection of the environment and their sustainability in particular. For this purpose, it is important that the relevant experts work, make decisions, carry out development work and make plans. These studies should also include other studies that are important and are expected to be undertaken before, during and after studies under the Environmental Impact Assessment (EIA). Thus, a sustainable environmental protection will be achieved.

Key words: Environmental sciences, disposal area, waste, EIA, environmental protection.

1. Giriş

Günümüzde insan kaynaklı olarak ortaya çıkan çevre sorunlarından bir bölümü de düzenli ve düzensiz/vahşi depolama alanlarındaki atıklardan kaynaklanmaktadır. Bu nedenle deponi alanlarının (katı, sıvı ve gaz atıkları için) yer seçiminde, atık yönetiminde ve izlenmesinde bilimsel çalışmalar önemlidir. Yaşanan sorunlar nedeniyle kaynakta azaltma, tekrar kullanım, geri dönüşüm, geri kazanım, kompostlaştırma, yakma, düzenli depolama gibi bilinen çevreci çözüm yöntemleri ile çevresel sorunlar azaltılmakta ve yeni çözüm önerileri/yöntemleri de hala

geliştirilmektedir. Çünkü atıkların doğru yönetimi, düzenli depolamanın önemi ve doğru yer seçimindeki sorunlar azaldıkça, sürdürülebilir çevre koruma da o kadar iyi olacaktır. Bu nedenle çevresel açıdan en büyük sorun olan genel kirlilik sorunları dikkate alınırca, deponi alanı kaynaklı çevre kirliliği, bu tür alanların yakın çevresi ile birlikte bilimsel birçok alanda araştırma konusudur (Karlık ve Kaya, 2000; Yaramancı, 2001, Tchobanoglous ve Kreith, 2002; Vereckeen ve ark., 2004; Yılmaz ve Atmaca, 2004; Şimşek ve ark., 2006; Frohlich ve ark., 2007; Kaya ve ark., 2008; Yılmaz, 2008a; Özel, 2010; Özel ve ark., 2017). Çünkü bu kirlilik türleri yaşamın devamlılığını

tehdit edici olup, çevresel sorunların da en temel kaynaklarından. Bu konulardaki bilimsel çalışmaların önemini anlaşılması ve artması ile birlikte, günümüzde özellikle gelişmiş ülkelerin bu sorunları çözmeye, önceden belirleme ve izleme çalışmaları ile birlikte yeni yöntemler gelişmesini de sağlamıştır. Bu nedenle sadece belli yer seçimi çalışmalarında değil, ÇED/SÇED (Çevresel Etki Değerlendirme/Stratejik ÇED, Environmental Impact Assessment-EIA/Strategic Environmental Assessment-SEA) gibi raporların hazırlanması kapsamındaki çalışmalarda ve uzaklaştırma çalışmalarında da yeni yöntemler gelişmeye devam etmiştir.

Atıklar, günümüzde katı/sıvı/gaz olsun, günümüz bilgisi ve teknolojisine göre tekrar kullanılacak ya da değerlendirilecek veya dönüştürülecek bir malzeme haline, yani hammadde/enerji kaynağı haline gelebilmektedir. Dolayısıyla atık yönetimi ve atık bertarafı için yer seçimi, özellikle çevrenin korunması ve sürdürülebilir çevre koruma için önemlidir. Bu amaçla yerbilimleri ve diğer bilimsel çalışmalar, bu yönde çok ilerleme göstermiştir (Botkin ve Kreith, 1995; Tchobanoglous, 1997, 2002; Vereecken ve ark., 2004-2006; Kaya ve ark., 2008; Ayolabi ve ark., 2013; Şimşek ve ark., 2014; Özel ve ark., 2017). Ayrıca ister atık yönetimi olsun ister yer seçimi tüm

bilimsel çalışmaların yüzey, sığ ve derinlik çalışmaları olarak ayrı ayrı planlanması ve sonuçlarının birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir. Buna göre bu planlamaların ve değerlendirmelerin, Çizelge 1'deki gibi bir çerçevede düşünülerek yapılması faydalı olabilir (Özel, 2017). Bu çalışmalara, özellikle ÇED kapsamındaki çalışmalar öncesinde, süresince ve sonrasında da dikkat edilmesi önemlidir. Bu kapsamda deponi alanı yer seçiminde tercih edilen bilimsel yöntemler, ölçülmesi ve hesaplanması gereken parametreler ve bu parametrelerin üstünlükleri ve eksiklikleri ortaya konularak kararlar alınmalıdır. Benzer şekilde deponi alanlarının izlenmesinde ve denetiminde kullanılan bilimsel yöntemler, ölçülmesi ve hesaplanması gereken parametreler de ortaya konularak, deponi alanlarının sadece yer seçimi ve izleme/denetleme araştırmalarında değil, tüm ÇED ve proje hazırlıkları aşamasında da bilimsel yöntemler kullanılmalıdır (Yılmaz, 2008b; Yılmaz, 2009a; Özel, 2010). Diğer yandan denetleme mekanizmasının sürdürülebilirliği açısından ortak ve farklı meslek disiplinleriyle fikir alışverişi veya proje geliştirme çalışmalarına gerekli zaman ve bütçe ayrıldığı takdirde, çevresel etkiler ortadan kalkacak ya da daha az olacaktır. Böylece yer seçimi ve izleme sürecindeki çalışmaların standartları belirlenerek, bunların geliştirilmesi de sağlanabilecektir.

Çizelge 1. Atık bertarafında yer seçiminde, çevrenin korunması ve sürdürülebilirliğinde yerbilimleri ve diğer bilimlerin çalışma konularına göre genel olarak etki alanı (Özel, 2017)

| Konu | Araştırma türü | Araştırma yöntemi | Açıklama |
|---|--|--|---|
| Yer seçimi | Yüzeüstü araştırmaları | Toprak-su örnekleri, gaz ölçümleri, mühendislik ve diğer bilimlerin çalışmaları, ÇED | Mühendislik ve diğer bilimlerin (kimya, biyoloji, arkeoloji, tarih, sosyoloji, ...) araştırmaları |
| | Yüzealtı araştırmaları | Yüzeyle ilgili toprağın sıyrılıp atılarak altından örnekler alma ve gaz ölçümü | Yerbilimleri, mühendislik ve diğer bilimlerin/uzmanlıkların araştırmaları |
| | Sığ araştırmalar | Yüzeyle ilgili 100 m derinliğe kadar olan araştırmalar: Vadoz zon (suya doymuş olmayan zon) ve freatik zon (suya doymuş zon) sınırları içerisindeki olaylar (geçirimsizlik, gözeneklilik, vb.), yeraltısuyu seviyesi değişim sınırlarını ve yönünü belirleyen araştırmalar, karstik yapılar, heyelan geometrisi araştırmaları, ÇED | |
| Derin araştırmalar | 100 m'den daha derin araştırmalar: Jeolojik tabakalanma ve sismik aktivite, volkanizma, karst gibi yerbilim olaylarının varlığı araştırmaları, ÇED | | |
| Çevre koruma ve sürdürülebilirliği | İzleme araştırmaları | Sıvı ve gaz sızıntı izleme araştırmaları | |
| | Kirlilik araştırmaları | Doğal olmayan kirlenmelerin veya jeolojik süreçlerle gelişen olaylarda (formasyonlara tuzlu su, jeotermal su, petrol, kirli sular, kimyasal, radyoaktif içerikli vb. madde veya gaz girişimleri) yatay-düşey sınırlarını belirleyen yer araştırmaları, ÇED | |
| Türlerin varlığının ve göç yollarının korunması | İzleme araştırmaları | Doğal ortamdaki bitki ve hayvan türlerinde ve yaşam ortamlarında değişimlerin olup olmadığının izlenmesi araştırmaları, ÇED | |

Çizelge 1'deki konu başlıklarına göre yapılacak araştırmaların etki alanları değerlendirildiğinde, bu etki alanlarının sadece mühendislik çalışmalarından ibaret olmadığı görülür. Yapılacak çalışmalarda (özellikle de ÇED/SÇED kapsamında) çevrenin jeolojik, morfolojik, coğrafi, meteorolojik, sosyolojik, nüfus, türler, yaban hayat göç yolları, su kaynakları, verimli toprakları, sit alanı vb. pek çok duruma bağlı olarak planlamalar yapılması, sadece yüzeysel çalışmaların değil sığ ve daha derin çalışmalarında bu çerçevede çalışmalara dahil edilmesi ve bunlar ortaya konulduktan sonra deponi alanı için yer seçimi, yönetimi ve izleme çalışmalarının yapılması gerektiğini göstermektedir. Çünkü çevre koruma söz konusu olduğunda sadece yeryüzündeki yaşam etki altında kalmamaktadır, yeryüzünün altında da bir canlı yaşam ortamı devam etmekte ve değerli kaynaklar (su, maden, eser gibi tarihi, ekonomik, vb. kaynaklar) bulunmakta olup, sismik aktivite, volkanizma, karstik yapı gelişimleri gibi doğa olayları da bulunmaktadır. Bu nedenle yer bilimleri araştırmalarının da

yapılacak çevre koruma ve yer seçimi araştırmalarında önemli bir yeri vardır.

Dünyada birinci derece sorun olarak görülen çevresel kirlilik (hava/su/toprak kirliliği) ve atık sorunu, kentleşme ve nüfus artışının olduğu ülkeler, bölgeler ve kentler incelendiğinde, sonuçlarda her zaman paralellik bulunmamaktadır. Bunun nedeni, ülkelerin ya da yerel yönetimlerin, çevreci kurum ve kuruluşların kendi olanakları içerisinde yaptıkları başarılı çevre koruma çabalarıdır. Ancak, çeşitli yasa ve yönetmeliklerle alıcı ortam konumundaki hava, su ve toprak büyük ölçüde korunmaya alınmış olmasına rağmen, birincil sorunlar olarak (deponi alanı yer seçimi ve izleme çalışmalarının yeterli olmaması nedeniyle) hala deponi alanı kaynaklı çevresel sorunlar devam etmektedir. Bu nedenle yasalarla belirlenmiş gerekli her çalışmanın bilimsel çerçevede eksiksiz yapılması önemlidir. Dolayısıyla atıklarla ilgili tüm yönetmelikler incelenirse, bilindiği gibi ilk olarak deponi yerinin

seçiminde en temel bazı koşullara uyulması gerekir. Örneğin bir deponi alanı,

- Yeraltı/Yerüstü içme suyu temin edilecek koruma alanları/su havzaları üzerine kurulamaz.
- Tabanı, doğal yeraltı suyunun maksimum seviyesine çok yakın olamaz.
- Sel, heyelan, çığ ve deprem bölgelerinde olamaz.
- En yakın yerleşim alanlarına ve özel koruma gerektiren alanlara (tarihsel, turistik, su havzası, barajlar, yüzey suları, deniz kıyıları, biyoçeşitlilik, yaban hayat yaşam alanı ve bunların göç yolları gibi alanları) yakın bir uzaklıkta olamaz.

Ancak bunlar yapılırken yer seçimi aşamasında, çevresel etkiler, halk tepkisi ve ekonomik olanakların yanı sıra yönetmeliğe uygunluğu belirlenen deponi yerinde, hidrolojik, hidrojeolojik, jeolojik, jeofizik, çevre, meteorolojik vd. araştırmalar da ayrıntılı olarak yapılmalıdır (Yılmaz, 2009a; Özel, 2010). Çünkü sızıntı sularıyla yeraltı ve yüzey sularının, toprak ve besin maddelerinin kirlenmesini önlemek için ortamların geçirimsizliği sağlanmalıdır (Yılmaz, 2008a; Yılmaz, 2008b; Özel, 2010). Bu, toprak altı-üstü canlı yaşamının sağlığı ve doğanın korunması için gereklidir. Diğer yandan düzenli depolama alanları, ekonomik gelir sağladığı gibi çevreyi korumak için de düşünülmüş alanlardır. Ancak bazen bu alanlar, çevresel tehditlerin ortaya çıktığı alanlara da dönüşebilirler. Bu nedenle yer seçiminde gereken yerbilim çalışmalarının ve işletme sürecinde ise izleme çalışmalarının, bu alanların kontrolünün sağlanması için eksiksiz yapılması gerekir (Özel, 2010; Özel ve ark., 2017). Bu kapsamda hazırlanan bölgesel Çevre Durum Raporları (ÇDR) incelenirse, öncelikli çevre sorunlarının başında hava kirliliği hariç, su kirliliği ve atık sorunlarının olduğu görülür (Tablo 2). Bu çevresel etkiler, aynı zamanda yer seçimine bağlı olarak birbirleriyle etkileşim halindedirler. Bu nedenle deponi alanı kaynaklı çevresel sorunlar ve yer seçimi kriterleri çerçevesindeki konuların ayrı ayrı incelenmesi doğru ve gerekli olacaktır. Bu konular üç grupta incelenebilir.

Birinci grup: Çevresel etkiler ve Çevresel izleme amaçlı konulardır.

1. Görüntü kirliliği

2. Gürültü kirliliği
3. Hava kirliliği
4. Toprak kirliliği
5. Su kirliliği

başlıkları ile incelenirken, deponi alanı kaynaklı diğer sorunlar da göz ardı edilmemelidir (Özel, 2010). Örneğin, 2014 yılı bölgesel ÇDR'ları incelendiğinde, su kirliliği çoğunlukla İç Anadolu'nun orta kesiminde, doğu Karadeniz, Trakya ve kuzey Ege bölgelerinde 1. derece sorundur (Çizelge 2). Çizelge 2'de özetlendiği gibi hava kirliliği tüm Türkiye genelinde 1.derece sorundur. Atıklar ise çoğunlukla Karadeniz ve Doğu Anadolu bölgelerinde, İç Anadolu'da Ankara/Kayseri/Karaman, Güneydoğu Anadolu'da Mardin/Siirt, Marmara'da Sakarya/Bilecik Akdeniz'de Burdur illerinde 1. derece sorun olarak görülmektedir (ÇDR, 2014; ÇSDR, 2016) (Çizelge 2). Ancak bu durumlar, 1.derece çevre sorunu olan yerler dışındaki yerlerde, bu çevre sorunlarının zararlı etkilerinin az olduğu anlamına gelmemektedir. Ayrıca ülkemizde Bakanlığın uzaktan denetim ve müdahale imkanını artıran sürekli izleme sistemleri ile oluşturulan atıksu izleme ağı (online izleme merkezinde) ile tüm veriler kayıt altına alınmaktadır (ÇED, 2018; ÇY, 2018). Böylece bu veriler, ihtiyaç halinde hemen değerlendirilerek, gerekirse önlemler almak için kolaylıkla kullanılabilirler. Dolayısıyla Çizelge 2'ye ve ÇDR'larına göre, ülkemizde hava kirliliği yıl boyunca çoğunlukla sanayinin geliştiği alanlarda ve bölgelerde görülürken, diğer bölgelerde ise mevsimsel koşullara bağlı olarak kışın hala yakıt olarak daha çok kömür ve kısmen odun kullanılmasından dolayı, özellikle bu mevsimde hava kirliliği çok daha riskli seviyelerde olmaktadır. Su kirliliği ise çoğunlukla evsel ve sanayi atıklarının yönetiminin doğru yapılmamasından, kaçak kuyulardan, tarım alanlarında kimyasal gübre kullanımından kaynaklı olarak ve yeraltı/yerüstü su havza sınırlarının korunmasına gerektiği düzeyde uyulmadığından ülkenin genelinde önemli bir sorundur. Atıklarla ilgili sorunlar ise illere göre tamamen veya kısmen çözülmüştür. Ancak ülke genelinde yeterli düzeyde tesis olmadığından deponi alanı eksikliği ve deponi alanı kaynaklı sorunların çevresel etkileri devam etmektedir.

Çizelge 2. 2014 yılı bölgesel ÇDR'ndaki öncelikli çevre sorunları (ÇDR, 2014, ÇSDR, 2016)

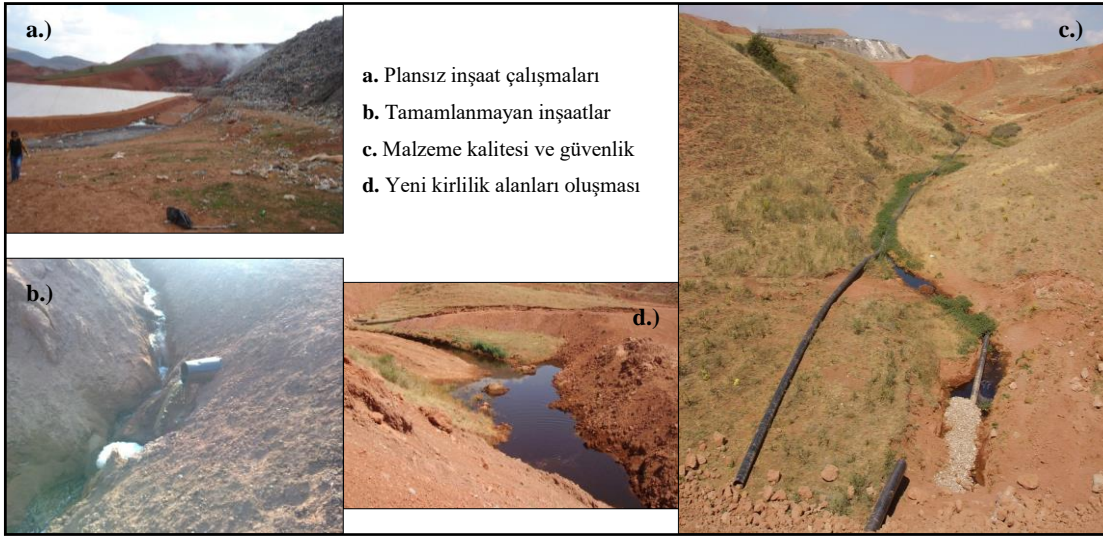
| Bölge Adı | Bölge özelliği | 1. derece öncelikli çevre sorunu | Kirlilik derecesi |
|---------------------------------------|---|---|-------------------|
| İç Anadolu B. Güneydoğu Anadolu B. | 1. Kurak iklim koşullarının ve nüfus yoğunluğunun ülkemizin batısındaki illerine göre az veya daha az olduğu bölgeler | *Hava ve su kirliliği, *Atık sorunu (Ankara, Kayseri, Karaman, Mardin, Siirt) | Yüksek |
| Karadeniz B. Doğu Anadolu B. | 2. Yoğun yağış koşullarının ve ortalama ya da daha az nüfus yoğunluğunun olduğu bölgeler | *Hava ve su kirliliği *Atık sorunu (Bolu, Düzce, Sinop, Ordu, Tokat, Giresun, Gümüşhane, Erzurum, Elazığ, Muş, Ağrı) | Yüksek |
| Marmara B. Ege B. Akdeniz B. | 3. İyi yağışın/Yer yer iyi yağışlı iklim koşullarının ve yüksek nüfus yoğunluğunun olduğu bölgeler | *Hava ve su kirliliği *Atık sorunu (Sakarya, Bilecik, İzmir, Uşak, Afyon, Burdur, Hatay, Osmaniye) | Yüksek |

İkinci grup: Kötü planlama ve diğer yanlışlardan kaynaklanan konular

1. Plansız/Plan dışı inşaat çalışmaları
2. Zamanında tamamlanmayan inşaatlar
3. Malzeme kalitesi ve güvenlik
4. Yeni kirlilik alanlarının oluşması

olarak sıralanabilir (Özel, 2010). Bu durumlar, sorun olarak ortaya çıkmadan deponi alanı tesislerinin tamamlanması önemlidir (Şekil 1). Bunun yanı sıra yer seçimi yapılırken imarlı veya yeni imara açılacak bir alan varsa, yapılacak çalışmalarda planlamamalar buna göre farklı olacaktır.

Ülkemizde düzenli deponi alanına geçiş başlamıştır ve birçok modern tesis (arıtma ve uzaklaştırma tesisleri) yapılmıştır. Ancak Şekil 1'de de görüldüğü üzere modern tesislere geçiş bazı illerde düzenli deponi alanına geçiş için girişim yapılmış olmasına rağmen, planlamalardaki hatalar ve diğer eksiklikler nedeniyle tamamlanamamıştır. Bu nedenle ülke genelinde atık depolama, hala ve çoğunlukla vahşi depolama olarak devam etmektedir. Dolayısıyla düzenli deponi alanları gelişmiş illerle sınırlı kaldığından, atık sorunu ülke genelinde devam etmekte olan birincil çevre sorunlarından biridir.



Şekil 1. a.,b.,c. ve d. resimlerinde bir deponi alanı inşaatı süresince ortaya çıkan sorunların görünümü (Özel, 2010)

Üçüncü grup: Yer seçimi ile ilgili konulardır.

Yer seçiminde çok geniş ölçekli olaylar incelenerek, maliyetin düşürülmesi ve yatırımların doğru yönlendirilmesi mümkündür. Bunların yanı sıra diğer önemli konu ise bilimsel çalışmaların yürütülmesi ile ilgilidir. Çünkü deponi alanının türüne, jeolojik özelliklerine ve parsel boyutuna göre yer seçiminde farklı çalışmalar yapılacaktır. Öncelikle yapının yerleşeceği alanın büyüklüğü farklı olacağından ya da yapılacak yapıların büyüklüğüne/kat sayısına göre zemine bindirecek yük de farklı olacağından, çalışmalar ve yöntemler buna göre seçilir ve inceleme çalışmalarına başlanılır. Bu nedenle yer seçimi çalışmaları,

1. İmarlı alanlarda yer seçimi

2. Yeni imara açılacak alanlarda yer seçimi

durumlarına göre ayrı hazırlıklarla yapılmalıdır. Yer seçimi söz konusu olduğunda doğru planlama ile bu çalışmalar tamamlanırsa, getirdiği kazanımlar çok fazla olacaktır. Diğer yandan günümüzde, ülkemizdeki yer seçim çalışmalarının, artık bilim ve yasalar çerçevesinde yapılan araştırma ve çalışmalarla yürütülmekte olması dikkate değerdir (Şimşek ve ark., 2014; Özel ve ark., 2017). Bu durum ülkenin tamamına yayılarak ve aynı özen ve dikkatle uygulanırsa, sonuçta kazanan ülkemiz ve çevre olacaktır. Çünkü yukarıda grup olarak sınıflandırılan bu konular, çevrenin korunmasını ve çalışmaların doğru ve zamanında yapılmasını sağlayacaktır. Böylece sorunlar karşısında çözümler olacak ve hedeflenen sürdürülebilirlik sağlanacaktır.

2. Atık, Atık Yönetimi ve Atık Sorunu

Atıklar, kaynağı ya da sahibi kim olursa olsun, bir gerecin amacı için kullanıldıktan sonra geriye kalan kısmının gerçek veya tüzel kişiler tarafından çevreye atıldığı veya bırakıldığı ya da atılması zorunlu olan maddelerdir. Bu maddeler, bilindiği gibi katı, sıvı, gaz atıklar olarak üç gruba ayrılırlar. Katı atıklar, evsel, endüstriyel, tarımsal, tıbbi, ve maden ocakları gibi faaliyetlerin üretim ve kullanım sonrası açığa çıkan, uzaklaştırılması, dönüştürülmesi veya yakılarak yok edilmesi işlemlerini gerektiren katı maddelerdir. Sıvı atıklar, evsel, endüstriyel, tarımsal, nükleer/kömür santralleri, jeotermal/termal turizm tesisleri, maden ocakları ve cevher hazırlama tesisleri vb.

gibi kullanımlar sonucunda kirlenmiş olan ya da özellikleri tamamen veya kısmen değişmiş arıtılması gereken ve arıtıldıktan sonra alıcı ortamlara verilmesi gereken sulardır. Gaz atıklar ise havanın doğal bileşimini değiştiren; sis, toz (partikül/askıda katı maddeler), buhar ve gaz formundaki kimyasal bileşenlerin oluşturduğu atıklar olup, her türlü canlı yaşam kalitesini olumsuz etkileyen veya canlı yaşamını ölümcül boyutta tehdit eden atıklardır. Bu nedenle atık yönetiminde ve deponi alanlarının (katı, sıvı ve gaz atıkları için) yer seçimi ve yönetiminde yaşanan sorunlar ve çözüm önerileri için günümüzde ciddi çalışmalar yapılması zorunlu olmuştur. Dünya genelinde bu konuda, pek çok uzman ve bilim insanı, kurum veya kuruluşlar, çevreci örgütler çeşitli çalışmalar, araştırmalar, bilinçlendirme kampanyaları veya eğitimleri yapmaktadırlar. Buna göre atık yönetimi, atıkların oluşumlarından uzaklaştırılmalarına kadar çevreye ve insan sağlığına zarar vermeden yönetilmesindeki sürece denir. 2008/98/AT sayılı Atık Çerçeve Direktifi'nde verilen Atık Yönetim Piramidi' incelenirse, düzenli depolama sahalarında atıkların en güvenli şekilde uzaklaştırılması için atıkları en üst basamaktan alt basamaklara doğru değerlendirirken, ilk aşamada atık oluşumunun önlenmesinin, bu sağlanamıyorsa atığın en aza indirilmesinin amaçlandığı görülür (EC, 2018). Daha sonra ise bilindiği üzere atığın yeniden kullanımı, geri dönüşümü ya da enerji ve hammadde kaynağı olarak geri kazanımı amaçlanır. Bu uygulama yöntemlerinden sonra kalan atıklara ya da bu yöntemlerin uygulanmadığı atıklara ise son işlem olarak (düzenli depolama, yakma ile) bertaraf işlemi yapılmaktadır (ÇJÇSR, 2017).

Artan nüfus, enerji tasarrufu, ekonomik gerekçeler ve arazi bulma sorunu gibi nedenlerden dolayı birçok ülke, büyük oranda geri kazanıma yönelmenin ve çeşitli önlemler alınmasının gerekli olduğunu ortaya çıkınca, atıkların depolanması/uzaklaştırılması/değerlendirilmesi/yakılması konularında, birçok ülkeyi geleceğe yönelik kurtarma hedefli planlamalar yapmaya zorlamıştır. Bu sorunların çözüm yöntemlerindeki artış, atıkların uzaklaştırılmasında yeni atık yönetim planlarının gelişmesi ile sonuçlanmış ve günümüzde bu durum Bütünsel Atık Yönetimi (BAY) kavramı ile ifade edilmiştir (Yılmaz, 2008a). Buna entegre katı atık yönetim sistemi de denilmektedir. Bu sistem, atıkların tanımlanması, toplanması, sınıflandırılması, taşınması, yer seçimi ve düzenli depolama başta olmak üzere, atıkların kaynağında azaltma,

yeniden dönüşüm ve kazanım, kompostlaştırma ve yakma gibi yöntemleri de içeren birbiri ile entegre bir dizi süreci tanımlamaktadır. Buna göre doğada gelişen temel döngüler izlenerek, hiçbir atığın ortaya çıkmadığı döngüsel bir BAY modeli geliştirilebilir (Yılmaz, 2008a). Günümüz teknikleri ile BAY tüm atıklar için geçerli olup, çeşitli yöntemleri kullanarak bir deponi alanına gidecek atıkların hacminin azaltılmasını sağlayabilir (Yılmaz, 2008a). Diğer yandan, deponi alanına uygun yerler sınırlı olduğu için bir alanın deponi amacıyla tasarlanıp düzenlenmesinin bazen ekonomik olmaması ya da atığın nitelikleri ve kapasitesine göre kullanılacak yöntemin seçimi sorunlar çıkmasında etkili olabilir. Bilindiği gibi kaynağında azaltma, geri kazanım, geri dönüşüm ve kompostlaştırma, atıkların hacmini azaltma yönünde önemli yöntemlerdir. Ancak yine de kaynağında azaltmada, geri dönüşümde ve kompostlaştırmada kentsel atık akışının önemli bir bölümü, bunların deponi alanlarına yönlendirilmesi ile sonuçlanabilir ve yakma tesislerinin ekonomik olarak uygulanabilirliği atıkların yakılması yoluyla üretilen enerjinin satışından elde edilen gelire bağlı olabilir (Yılmaz, 2008a). Dolayısıyla atık sorunu çözüldüğü takdirde, atıklar uzaklaştırılmış, azaltılmış, yeniden hammadde kaynağına dönüştürülmüş ve bu işlemlerin yapıldığı tesisler ise gelir getiren önemli işletme türlerinden biri olmuş olacaktır. Aynı zamanda bu işletmeler, yeni bir alanda yeni iş fırsatları yarattığı ve işletmeye ekonomik katkı sağladığı gibi ülke ekonomisine ve çevrenin korunmasına da katkılar sağlayacağı için önemli işletme türlerinden biri olmaya devam edeceklerdir.

3. Deponi Alanı ve Türleri

Deponi alanları her türlü atığa göre rastgele (vahşi) ya da planlı (düzenli) tasarlanmış olan özel atık uzaklaştırma veya değerlendirme yerleridir veya tesisleridir. Gelişmiş ülkelerde (Norveç, Danimarka, Finlandiya, ..., vb.) bu alanlar planlı olup, düzenli depolama tesisleri şeklinde gelir getirebilen ve dışarıya enerji satışı da yapılabilen işletmelerdir. Ancak gelişmekte olan ülkelerde ise bu uzaklaştırma alanları, düzenli ya da düzensiz tesislerin her ikisini de içermektedir. Çünkü yeterli tesis yapılmadığından, deponi alanı kaynaklı sorunlar kısmen çözülmüştür veya tamamen devam etmektedir. Özellikle fakir ülkelerde (düşük oranda nüfusu, kentleşmesi ve sanayisi olmasına rağmen, orta ve güney Afrika ülkelerinde) durum yer yer daha da kötüdür. Fakir ülkelerde atıkların uzaklaştırılması vahşi depolama alanlarına veya yerleşim alanları ile iç içe bir durum olarak devam eden büyük bir sorundur. Bu nedenle insan ve canlı yaşamını ciddi şekilde tehdit eden önemli çevre ve sağlık sorunları ortaya çıkarmaktadır. Örneğin çöpler, evlerin veya işyerlerinin çok yakınına, her türlü su kıyılarına veya sulara, verimli toprak alanlarına, meralara vb. riskli alanlara atılmaktadır. Bu atıkların tamamı katı atık olmadığı gibi sıvı ve gaz atıkları (örneğin plastikler, kanalizasyon suları, madencilik, sanayi atıkları vb.) da kapsamaktadır. Bu durum, doğal ve yapay çevrede görüntü, su, toprak ve hava kirliliği gibi çevresel sorunlar oluşturmakta ve canlı yaşamını tehdit etmektedir (Şekil 2).



Şekil 2. Bir deponi alanında çevresel kirlilik türleri (görüntü, gürültü, su, toprak, hava kirliliği) (Özel, 2010)

Dünya üzerinde kimi yerde su ve toprak kirliliği, kimi yerde görüntü kirliliği ya da hava kirliliği en yüksek seviyelerde olabilmektedir. Ancak gelişmekte olan ülkelerde de bu kirlilik türlerinin miktarı değişken olmakla birlikte yüksek oranlardadır. Özellikle sanayileşmenin ve kentleşmenin yoğun olduğu Çin gibi ülkelerde ilk sırada hava, gürültü, görüntü ve su kirliliği en yüksek seviyelerdedir. Diğer ülkelerde ise ağırlıklı olarak ilk sırada su ve toprak kirliliği söylenebilir. Ancak bu kirlilik türleri, atık sorununun dünyanın genelinde birincil çevre sorunlarının kaynaklarından biri olması gerçeğini değiştirmemektedir. Aslında hava kirliliği olan ülkelerde su ve toprak, her zaman kirlilik tehdidi altındadır. Özellikle yağışlı havalarda, havada

askıda bulunan katı maddeler yağışla birlikte yüzey sularına ve toprağa hatta tüm canlı yaşama etki etmektedir. Dolayısıyla kirliliğin ve sorunun sebebi ne olursa olsun bir katı atık yönetimi stratejisi, atık oluşumunu engellemek, atığın geri dönüştürülmesi ve tekrar kullanılmasını sağlamak ve atığın güvenli bertarafı ile çevreye olan olumsuz etkilerini yok etmek üzere gerekli önlemleri alarak, düzenli depolamaya öncelik vermesi ile hedefe ulaşabilecektir. Çünkü günümüzde atık içeriğindeki çeşitlilik, atıkların uzaklaştırılmasında da çeşitliliğin artmasına neden olmuştur. Örneğin atık türüne ve miktarına göre, atık toplama, depolama ve uzaklaştırma yöntemleri, teknikleri, araçları ve ekipmanları gelişmiştir. Dolayısıyla gelişen sanayi, teknoloji,

yapılaşma ve nüfusa paralel olarak atık içeriğindeki artan çeşitlilik nedeniyle, atıkların uzaklaştırılması için atık yönetiminin zorunlu olduğu anlaşılmıştır. Örneğin evsel atıklar, nükleer atıklar vb. gibi birçok atıklar, kendi sınıfına uygun olarak hazırlanmış araç ve ekipman ile taşınarak ve depolanarak, kendi atık sınıfına uygun tesislerde uzaklaştırılmaktadırlar. Ayrıca katı, sıvı ve gaz atıkların hepsi kendi içinde de türlerine göre ayrıştırılıp, farklı yöntem ve tekniklerle uygun işleme tesislerinde uzaklaştırılmaktadır. Tüm bu uygulamaların, doğru atık yönetim politikaları geliştirilerek yapılması gerekmektedir. Bu nedenle günümüzde atıklarla ilgili her türlü konu, özel bir uzmanlık ve iş alanı olarak geliştirilmesi devam etmektedir.

3.1. Vahşi Depolama Alanları ve Çevresel Etkileri

Ülkemizde katı atık yönetimi konusu uluslararası yasal düzenlemelere karşın, evrensel düzeyin gerisindedir (Yılmaz, 2008a). Çünkü dünyanın pek çok yerinde atıkların büyük bölümü hala ayrıştırılmaksızın ve çevreye olumsuz etkilerine karşı hiçbir önlem alınmaksızın gözden irak yerlere vahşi bir şekilde dökülmektedir. Gözden irak bu yerler, bir akarsu, göl ve deniz kıyısı gibi su kaynaklarını tehdit eden alıcı ortamlar, bir dağın/tepenin arkası veya ormanlık alan, bir vadi, terk edilmiş bir ocak veya bir maden çukuru ya da bir karstik boşluk olabilmektedir (ÇJÇSR, 2017). Bu tür yerler gözden irak yerler olduğu için yakın çevresinde yaşayan halkların tepkisini önemli ölçüde çekmediğinden atık alanları olarak kullanılabilirler. Ancak bu yerlerin, doğru yer seçimli alanlar olmadıkları bilinen bir gerçektir. Bu yerlerin tercih edilmesindeki en önemli etkenlerden biri ise özellikle ekonomik gücü yetersiz ya da kısmen yeterli ülkelerde, deponi alanından yerleşim alanına koku gelmeyecek uzaklıkta olmasının yeterli kabul edilmesi gerçeğidir. Bu doğru olmayan yer seçimlerinden dolayı düzensiz deponi alanı kaynaklı ve genel olarak aşağıda sıralanan çevresel salınımlardan dolayı, çevresel etkileri olan sorunlar ortaya çıkmaktadır (ÇJÇSR, 2017). Bunlar,

Sızıntı suları: Atık deponi alanlarında yağış suları ve organik atıkların bozunması sebebiyle biriken sızıntı suları kanalizasyon sularından çok daha zararlı olup, özellikle yüzey ve yeraltı su kaynakları açısından büyük tehdit oluşturmaktadır. Bu durum toprak verimliliğini ve canlı yaşamını da ciddi bir ölçüde tehdit etmektedir.

Gaz çıkışı: Atık deponi alanlarındaki atık yığınlarında gerçekleşen biyokimyasal reaksiyonlarla, metan, karbondioksit, azot ve hidrojen sülfür gazları oluşmaktadır. Bu gazlar hava kirliliğinin yanı sıra, geçirimsiz örtü tabakası altında bulunan gözenekli ve çatlaklı kaya ortamlarında yüzlerce metre uzaklara hareket edebilmekte, boru hatları ve binaların bodrum katlarında birikmekte, zehirlenme ve patlamalara neden olmaktadır.

Yangınlar ve patlamalar: Ayrıştırılmamış katı atıklar içerisinde bulunan yanıcı maddeler, organik maddelerin bozunmasıyla açığa çıkan ısının etkisiyle yanmakta ve patlamalara da neden olmaktadır.

Koku, görüntü ve gürültü kirliliği sorunları: Yüksek miktardaki koku yakın çevredeki canlı yaşamı olumsuz etkilemektedir. Bu kokular, organik çürümeler, yangınlar, patlamalar, kimyasal reaksiyonlar oluşmasıyla ortaya çıkan yeni gazlardan yayılmaktadır. Düzensiz ve kötü depolama ile doğal görünümü olmayan atık yığınlarının ve bunlar içindeki yangınlarla dumanların insan yaşam ortamlarının görüş alanı içinde olması görüntü kirliliği oluşturmaktadır. Bu manzara insanların görmeyi istemediği bir durumdur. Gürültü ise daha çok atıkları uzaklaştırmanın plansız yapılmasından ya da yığın

indeki patlamalardan kaynaklanmaktadır. Örneğin, atık taşıma araçları, yol güzergahları, atık toplama saatleri, bozuk yollar ve atık depolama alanında kontrolsüz patlamalar olması gürültü kirliliği kaynakları olabilir. Yani yanlış araç seçimi ile araçların yüksek motor sesi, bozuk yollar, geç saatlerde çöp toplama, atıklar içindeki kimyasal reaksiyonlarla gelişen patlama sesleri, özellikle yerleşim alanlarına yakınsa gürültü kirliliği sebebi olarak görülmektedir.

Heyelanlar ve oturma/çökme: Mühendislik hizmeti alınmadan oluşturulmuş katı atık depolama alanlarında oturma/çökme ve heyelanlara (örneğin; İstanbul-Halkalı çöplüğü heyelanı) sıklıkla rastlanır (Kayabalı vd., 1998). Depolanan atıkların türüne, serim kalınlıklarına, sıkıştırma oranlarına, çürüme derecesine, su ve gaz drenajına bağlı olarak atık yığınlarında oturmalar meydana gelmektedir. Temel zeminde de atık yükleri ve sızıntı suyunun etkisiyle oturma ve heyelan gelişmektedir.

Canlıların beden ve yaşam ortamı sağlığı: Katı atıklar, bileşimlerinde bulunan hastalık yapıcı ajan ve organizmaların kuş, sinek, böcek vb. canlılarla taşınarak yayılmasına/bulaşmasına ve solunum yoluyla salgın hastalıklara neden olurlar. Ayrıca, koku, toz, kağıt vb. malzemelerin uçuşması sonucu çevresel etkiler oluşturur. Bunun yanı sıra besin zincirindeki hayvan ve bitkiler arasında, birbirlerine zararlı madde aktarma da olmaktadır. Bu durumda taşımadan dolayı ve diğer nedenlerle canlıların sağlığı ve yaşam ortamları bozulmaktadır.

Toplumsal çatışma-kargaşa dönemindeki sorunlar: İç savaşlar, terör, ekonomik kriz dönemlerinde yaşanan kaos ortamında atık uzaklaştırma ile ilgili yerel yönetimlerde, sanayilerde ve ülke genelinde yasaların uygulanamaması veya yetersiz uygulanması ile kentlerde atık uzaklaştırma düzeninin bozulması, engellenmesi, geçici olarak yapılamaması, ortaya çeşitli çevresel sorunlar çıkarmaktadır.

Yukarıda anlatılan çevresel sorunlar düşünüldüğünde, önlemsiz bir çöp döküm alanının çevrede yarattığı tehlikenin analizinde ve alınacak teknik önlemlerin projelendirilmesinde, ortamın jeolojik, mühendislik ve hidrojeolojik modelinin ortaya konulması zorunludur (Yılmaz, 2008a; Yılmaz, 2009a). Bu amaçla, konu ile ilgili uzman ve bilim insanları tarafından, depolama alanını her yönüyle tanımlayan farklı konularda ve ölçeklerde çeşitli haritalar (1/25000-1/1000 ölçekli) ve çeşitli boyutlarda jeolojik/jeofizik kesitler hazırlanmaktadır. Böylece jeolojik olarak litolojik birimlerin mineralojik-petrografik ve yapısal özellikleri, ayrışma dereceleri, jeofiziksel, hidrolojik, fiziko-mekanik özellikleri, meteorolojik durumu ve diğer yüzey ve yeraltı araştırma yöntemlerinden yararlanılarak deponi alanı ortamı ve çevresi ayrıntılı tanımlayacak yer modelleri oluşturulur. Böylece ortamın ayrıntılı özelliklerine bakılarak, deponi alanı kaynaklı çevresel etkilerin boyutları tartışılmaktadır. Bu konuda özellikle hidrojeolojik-hidrojeofizik araştırmalarda aşağıdaki konulara açıklık getirilmesi önemlidir.

1. Litolojik birimlerin jeolojik ve hidrojeolojik özellikleri
2. Akiferlerin tanımlanması ve akifer hidrolik parametreleri
3. Doygun olmayan zonun kalınlığı
4. Yeraltısuyu beslenme ve boşalım bölgeleri (YAS akım yönü)
5. Yeraltısuyu seviyesi ve mevsimlik değişim miktarları
6. Yeraltısuyu ve sızıntı sularının hidrojeokimyasal özellikleri
7. Su-kaya etkileşimi
8. Jeolojik tabakalanma durumu (kalınlık, derinlik, eğim, tabaka sınırlarının topoğrafik değişimi, jeofiziksel özellikleri)

9. Karstik alanlarda, yüzeylenmiş karst birimlerin morfolojik, yeraltı jeolojik ve jeofizik özellikleri
10. Bölgenin sismik aktivite durumu ve sismik aktivite geçmişine ait özellikleri
11. ÇED/ŞÇED içeriği

Bu çalışmalarla vahşi depolama alanlarında da yer seçiminin yanı sıra, deponi alanı kaynaklı çevresel etkilerle ilgili alıcı ortamın jeolojik-hidrojeolojik-hidrojeofizik özellikleri belirlendikten sonra, zararlı ve tehlikeli maddeleri yatay ya da düşey yayılım (kütle transferi) sınırları belirlenebilir. Bundan dolayı çevresel etki analizi ve alınacak önlemler açısından jeolojik ortamların iyi tanımlanması ve doğru hesap yönteminin seçilmesi önem taşımaktadır. Bunların yanı sıra çevresel etki değerlendirme sonucunda, deponi alanında tehlike belirlenirse “İyileştirme” ve “Koruma” çalışmaları yapılması gerekebilir. İyileştirme yöntemlerinde tehlikeli atıklar güvenli bir yere taşınmakta, koruma önlemlerinde ise çevreyi olumsuz yönde tehdit eden atıklardan çevreye zararlı ve tehlikeli madde yayılımı olması, geçirimsiz düşey perdelerle veya düşey sızdırmazlık sistemleri ile engellenmektedir. Diğer önlemler ise akifere olası sızıntı suyu girişiminin olup olmadığının denetlenmesi, deponi alanı kaynaklı sızıntı sularının artıldıktan sonra alıcı ortama deşarj standartlarında alıcı ortama verilmesi ve tesis içerisine yağış sularının girmesini engellemek ve sızıntı suyu miktarını azaltmak için drenaj sistemi yapılmasıdır. Özellikle düşey geçirimsizlik sistemlerinin tasarımında ve uygulanmasında, ayrıntılı mühendislik jeolojisi/jeofiziği ve çevre jeotekniği girdilerine göre alınan önlemlerin başarısı ve çevresel etkisi, sahanın mühendislik özelliklerine göre tasarlanan izleme ağı ve örneklem yöntemleriyle periyodik olarak izlenebilir (Yılmaz, 2008a; Özel, 2010; Özel ve ark., 2017). Bu kapsamda vahşi depolama alanlarının, jeolojik, jeofizik, topoğrafik, morfolojik, meteorolojik, hidrolojik, hidrojeolojik, hidrojeofizik ve sismik karakterizasyonu, doğal kaynaklı olaylardan (rüzgar, sel, çığ, heyelan, yağış vb.) etkilenme derecesi ve kirlenme taşınımının ortaya konulduktan sonra alınacak önlemlerin boyutlandırılması ve bir denetleme mekanizması ile çalışmaların tamamlanması sağlanır. Böylece iyileştirme çalışması tamamlandıktan sonra bu alanın farklı amaçlar için kullanımı da belirlenebilir. Bu alanların iyileştirilmesi bilimsel çerçevede yapılarak, çevreye duyarlı bir alan ortaya çıkarılabilir ve riskler ortadan kaldırılmış olur.

3.2. Düzenli Depolama Alanları ve Yer Seçiminde

Yaşanan Zorluklar

Düzenli depolama alanı ve tesisleri, yasalarda belirtildiği şekilde atık türü ve miktarına bağlı olarak, kaynağından kontrollü bir şekilde toplanan atıkların, burada depolama yapıldıktan sonra atıkta meydana gelen reaksiyonlarla oluşan yeni ürünlerin de kontrol edildiği ve işlendiği, aynı zamanda ekonomik ve ikincil hammadde (humus, kağıt, plastik, cam, demir, enerji vb.) kaynağı kazanımları sağlayan alanlar olarak tanımlanabilir. Düzenli depolama ile uzaklaştırma, her ülkedeki her kentin kendine özgü atık içeriğine ve miktarına göre planlanan bilimsel ve çevreci uygulamalarından biridir. Ancak hangi uzaklaştırma yöntemi uygulanırsa uygulansın, son ürün olarak oluşan atıkların düzenli depolanarak uzaklaştırılması gerekir. Uzaklaştırma için düzenli depolamanın tercih edilmesi halinde uygun yer seçimindeki kriter, depolama alanının yerinin belirlenmesi ve inşasından işletilmesine kadar her süreci kapsar. Dolayısıyla bu süreçte yer seçimi, izinler, inşaat ve işletme

sürecinin yeterli ve gerekli ölçüde tamamlanmasını sağlamak en önemli konudur.

Hızlı kentleşme ve artan nüfusa paralel bir düzenli atık depolama alanı seçimi yapılmaması ve atıkların miktarlarının azaltılmasına yönelik çalışmaların yapılmaması veya yetersizliği sonucunda, gerekli olduğu kadar deponi alanı kapasitesi hazırlanmamaktadır. Bu nedenle özellikle kentlerde ortaya çıkan büyük orandaki atık miktarı, hazırlanan depolama alanlarını kısa sürede doldurmaktadır. Bunun diğer bir etkisi ise yer seçiminde yaşanan zorluklardan kaynaklanır ve bu zorlukların çoğunlukla bilinen nedenlerdir. Örneğin, yer seçim ön çalışmalarının ulusal ve uluslararası ölçütlere uygun hazırlanmaması, bölge halkının karşı çıkacağı düzeyde olması ve ÇED raporunda sadece tek bir saha üzerinden gidilerek, kullanılabilir daha uygun başka sahaların aranmamış olması ilk karşılaşılan zorluklardır. ÇED raporları eksik bir çerçevede hazırlanınca, belirlenen alanların büyük bölümü ya da tamamı faaliyete geçirilememektedir. Bunun yanı sıra uygun jeolojik, hidrojeolojik ve çevresel niteliklerde sahaların bulunmaması, bulunması halinde ise farklı arazi kullanımı nedeniyle deponi alanı olarak seçilmesinin kısıtlanması, kamulaştırma sorunu nedeniyle yerel yönetimlerin kamu arazilerini tercih etme yoluna gidilmesi de yer seçimi konusunda zorluklara neden olmaktadır. Yasal çerçevede ise yer seçiminde, ilgili Bakanlığın yayınladığı Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik'e uyulmaması yer seçim sürecinde yerel halkın katılımının sağlanmaması veya halkın bilgilendirilmesinin sürdürülebilir ve doğru bir planlamayla yapılmamasındandır. Düzenli depolama tesislerinin kurulmasını geciktiren bu sebepler, aynı zamanda vahşi depolama yönteminin hala sürdürülmesini de zorunlu yapmaktadır. Bu sorunlarla baş edebilmek için ilgili uzmanlar devamlı çözüm önerileri geliştirmektedir. Ancak bu çözüm önerilerinin başarılı olabilmesi, her zaman her aşamada, halkla uyum içinde sürdürülebilir bir iletişim sağlanarak olabilir. Böylece yer seçimi yapıldıktan sonra bazı jeolojik problemler, mühendislik çalışmaları ile uygun hale getirilip, tesis tamamlanarak kullanımına başlanabilir (Yılmaz, 2008b). Bunların yanı sıra atık yönetimi ve düzenli depolama tesislerinin yer seçiminde öncelikle atık envanterinin çıkartılması, atık minimize karakterizasyonu ve miktarının belirlenerek atığın minimize edilmesi (geri dönüşüm, kompost gibi alternatif bertaraf yöntemlerinin dikkate alınması) ve uygun atık bertaraf yöntemlerinin seçilmesi gerekmektedir. Bu araştırmadan sonra, kent atıklarının depolanacağı depolama tesisinin en zor ve en önemli aşaması olan yer seçim süreci başlayabilir. Dolayısıyla bu süreçlerle ilgili Türkiye'deki uygulamalar incelendiğinde genel olarak yaşanan sorunların, çoğunlukla ÇED raporlarındaki mühendislik çalışmalarının yetersizliğinden, projeyi yönlendirici ve çevresel etkiyi azaltıcı düzeyde olmamasından, yasal süreçlerdeki zorluklardan ve iptallerden, uygun yer bulamama sorunundan ve halkın yeterince bilgilendirilmemesinden kaynaklandığı görülmüştür. Ayrıca, atık suların deşarj edildiği hidrojeolojik sistemlerin, jeolojik, hidrojeolojik, hidrojeofizik ve çevre jeofiziği araştırmalarının yapılması, yetkin kurum ve kuruluşlarca denetlenmesi ve atık su deşarj noktalarının çevresel etkilerinin izlenmesi gerekmektedir. Bu nedenle uluslararası geçerliliği olan yöntem ve yaklaşımlar ile birlikte CBS, hidrolojik ve hidrojeolojik model çalışmaları ve senaryo analizleri de yapılmalıdır (Yılmaz, 2008b; Yılmaz, 2009a). Ayrıca basında ve eğitim kurumlarında sosyal tanıtım projeleri ile atık yönetimi ve bertarafı konusunda bilgilendirme yapılarak, sosyal çerçevede destekler toplanması da etkili bir çalışma olacaktır.

4. Sonuçlar ve Öneri

Atık türü (katı, sıvı, gaz) ne olursa olsun, günümüz dünyasında nüfus artışı, ekonomik ve teknolojik ilerlemelere paralel olarak her geçen gün miktarı, içeriğindeki çeşitliliği ve önemi artmakla birlikte, atıklar özelliklerine göre tasarlanmış özel işletmelerde veya ortamlarda (alıcı ortamlar) uzaklaştırılması gereken atıl maddelerdir ve yeniden değerlendirilmesi gereken ikincil hammadde kaynaklarıdır. Aynı zamanda atıkların yeniden değerlendirilmesine olanak verdiğinden ekonomik gelir de sağlayan yapılar ve ortamlardır. Bu nedenle modern dünyanın ürünü olan bu atıklar, artık günümüzde özel yöntem ve tekniklerle işlenen, bilimsel araştırma ve çalışmalara da ihtiyaç duyulan ve konu olan bir alan yaratmıştır. Ancak tüm bunların asıl sebebi, çevrenin sürdürülebilir bir şekilde korunmasına olanak vermemektir. Böylece tüm çabaların aslında, insan ve canlı yaşamına sürdürülebilir bir yaşam ortamı sağlamak olduğu, artık günümüzün kabul görmüş bir gerçeği olduğu ve bu nedenle de çevre korumanın önemli olduğu anlaşılmıştır. Ayrıca yer seçimi, atık yönetimi, çevresel etkiler ve bunların izlenmesi çalışmaları, ilgili mühendislikler ve diğer disiplinlerle ortak araştırmaları sürdürmenin gerektiğini ve çevre koruma yasalarının artmasının/gelişmesinin önemli olduğu göstermiştir. Yapılan çalışmaların sadece yüzeyüstü ve yüzeyaltı çalışmalarla kısıtlandırılmaması, sığ ve derin araştırmalara da gereken özenin gösterilmesinin önemli ve faydalı olacağı anlaşılmıştır. Diğer yandan çevre koruma çalışmalarından elde edilen sonuçlara göre çabaların başarılı olduğu ve çevrenin bozulmadan ya da daha az etkilendiği yaşam ortamları yaratılmasının da olası olduğu yapılan çalışmalarla kanıtlanmış ve anlaşılmıştır. Bu yüzden çevre korumanın sadece yeryüzünde görünen sorunlardan ibaret olmadığı, yeraltında da mutlaka devam eden sorunlar olduğu/olabileceği dikkate alınmalıdır.

Kaynaklar

- Atmaca, E. 2004. Sivas İl Merkezinin Katı Atık Yönetiminin İrdelenmesi ve Yeniden Planlanması. Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Sivas.
- Ayolabi, E.A., Folorunso, A.F., Kayode, O.T. 2013. Integrated Geophysical and Geochemical Methods for Environmental Assessment of Municipal Dumpsite System. International Journal of Geosciences 4, 850-862.
- Botkin, D.B., Keller, E.A., 1995. Environmental Science, Earth As a Living Planet: Chapter 27. Waste Management, John Willey and Sons Inc., Newyork, 550-571.
- ÇED, 2018. Çevresel Etki Değerlendirme. <http://ced.csb.gov.tr/>.
- ÇY, 2018. Çevre Yönetimi. <http://cygm.csb.gov.tr/>.
- ÇJÇSR, 2017. 1. Çevre Jeolojisi Çalıştay Sonuç Raporu (ÇJÇSR), Katı atık yönetiminde ve deponi alanlarının yer seçiminde ve yönetiminde yaşanan sorunlar ve çözüm önerileri. 1. Çevre Jeolojisi Çalıştay, 3-4 Kasım 2017, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayın No: 133, s102, Ankara, 219s.
- ÇDR, 2014. Bölgesel Çevresel Durum Raporu (ÇDR). Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara.
- ÇSDR, 2016. Türkiye Çevre Sorunları ve Öncelikleri Değerlendirme Raporu (2014 yılı verileriyle). T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Yayın No: 32, Ankara.
- EC, 2018. European Commission, http://ec.europa.eu/environment/waste/landfill_index.htm.

- EPA, 2017. United States Environmental Protection Agency, www.epa.gov.
- Frohlich, R.K., Barosh, P.J., Boving, T. 2008. Investigating changes of electrical characteristics of the saturated zone affected by hazardous organic waste. Journal of Applied Geophysics 64, 25-36.
- LD, 2018. Council Directive on the Landfill of Waste. Date: 26.04.1999, No: 1999/31/EC.
- Kaya, M.A., Özürlan, G., Şengül, E. 2007. Delineation of soil and groundwater contamination using geophysical methods at a waste disposal site in Çanakkale, Turkey. Environmental Monitoring and Assessment, DOI 10.1007/s10661-007-9662-x, Springer Netherlands.
- Kayabalı, K., Yüksel, F.A., Yeken, T. 1998. Integrated use of hydrochemistry and resistivity methods in groundwater contamination caused by a recently closed solid waste site. Environmental Geology 36(3-4), 228-234.
- Karlık, G., Kaya, M.A. 2001. Investigation of groundwater contamination using electric and electromagnetic methods at an open waste-disposal site: a case study from Isparta, Turkey. Environmental Geology 40(6), 725- 731.
- Özel, S. 2010. Sivas İli Katı Atık Depolama Alanında Sızıntı Suyunun Yeraltındaki Yayılımının Jeofizik Yöntemlerle İncelenmesi. Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora tezi, Sivas, 148s
- Özel, S., Yılmaz, A., Candansayar, M.E. 2017. The Examination of the Spread of the Leachates Coming Out of a Solid Waste Disposal Area on the Ground with Geophysical and Geochemical Methods (Sivas, Turkey). Journal of Applied Geophysics 138, 40-49.
- Özel, S. 2017. Çevre Jeofiziği Ders Notları, Sivas (Yayınlanmamış).
- Rucker, D.F., Sweeney, M.D. 2004. Plume Delineation in the BC Crips and Trenches Area. hydroGEOPHYSICS, Inc. and Pacific Northwest National Laboratory, United States Department of Energy, PNNL-14948, 84pp.
- SAİS, 2015. 22/03/2015 tarihli ve 29303 sayılı "Sürekli Atıksız İzleme Sistemleri Tebliği", Resmi Gazete. Çevre Şehircilik Bakanlığı, Ankara.
- Şimşek, C., Kınca, C., Gündüz, O. 2006. A solid waste disposal site selection procedure based on groundwater vulnerability mapping. Environmental Geology 49, 620-633.
- Şimşek, C., Elçi, A., Gündüz, O., Taşkın, N. 2014. An improved landfill site screening procedure under NIMBY syndrome constraints. Landscape and Urban Planning 132.
- Tchobanoglous, G., Kreith, F. 2002. Handbook of Solid Waste Management. McGraw-Hill, Singapore.
- Tchobanoglous, G., Theisen, H., Vigil, S.A. 1993. Integrated Solid Waste Management Engineering Principles and Management Issues. McGraw-Hill, Singapore.
- Yaramancı, U. 2000. Improved field techniques and integrated case histories: Geoelectric exploration and monitoring in rock salt for the safety assessment of underground waste disposal sites. Journal of Applied Geophysics 44, 181-196.
- Vereecken, H., Hubbard, S., Binley, A., Fere, T., 2004. Hydrogeophysics: An introduction from the guest editors. Vadose Zone Journal 3(4), 1060-1062.
- Vereecken, H., Binley, A., Cassiani, G., Revil, A., Titov, K., 2006. Applied Hydrogeophysics. Springer Series IV: Earth and Environmental Sciences 71, 383.
- Yılmaz, A., Atmaca, E. 2004. Sivas kenti katı atık deponi alanının çevre jeolojisi. Cumhuriyet Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Çevre 2004, 1. Ulusal Çevre Kongresi Bildirileri, Sivas, 83-99.
- Yılmaz, A. 2008a. Çevre Jeolojisi. Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayın No: 107, Sivas, 379s.
- Yılmaz, A. 2008b. Çevresel Etki Değerlendirme. Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayın No: 110, Sivas, 275s.
- Yılmaz, A. 2009a. Çevre Jeotekniği. Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayın No: 116, Sivas, 276s.



A Fuzzy Logic Based Green Performance Evaluation Model for Automotive Industry

Murat Çolak¹, Ali İhsan Boyacı^{1*}

¹Kocaeli University, Faculty of Engineering, Department of Industrial Engineering, 41380, Kocaeli, Turkey, colak.murat@kocaeli.edu.tr

^{1*}Corresponding Author; Kocaeli University, Faculty of Engineering, Department of Industrial Engineering, 41380, Kocaeli, Turkey, ali.ihsan@kocaeli.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 8 Şubat 2018 ve Kabul Tarihi 15 Ağustos 2018)

(DOI: 10.31590/ejosat.391828)

Abstract

Nowadays, increasing manufacturing activities cause to critical environmental problems such as global warming and air pollution. These environmental problems have provided increase of environmental awareness in the production process and therefore the green manufacturing (GM) concept has emerged. In general, this concept refers to a production process, which has high efficiency and minimum environmental damage in terms of resources and products. GM has recently become important in almost every sector. Automotive industry has significant importance in terms of economy and employment when considered its sub-industry and other related sectors. Therefore, it is important to evaluate the adoption level of green manufacturing concept in this sector. Fuzzy multi criteria decision making (FMCDM) methods which handle uncertainty in decision making problems can be effectively used for green performance evaluation of companies. In this study, it is aimed to assess green performance of manufacturers which operate in automotive sector by using a MCDM model based on fuzzy analytic hierarchy process (FAHP) method. This model consists of 5 main criteria which are green design, green energy, green material, green logistics and green management, and 19 sub criteria located under these main criteria. As a result of the study, green energy and low waste criteria were determined as the most important main and sub criteria with weights of 0.268 and 0.1026 respectively. The proposed model can be used as an effective tool for companies operating in the automotive industry to measure and to follow their green performance and to select their suppliers.

Keywords: Fuzzy MCDM, Green manufacturing, Fuzzy AHP, Automotive industry.

1. Introduction

Increasing production activities in order to meet high demands generating from rapid population growth, lead to many environmental problems such as global warming and ozone layer depletion. These environmental problems that arise as a result of air, water and soil pollutions jeopardize environmental sustainability and threaten the future of our world (Anderson et al., 2016). In addition, it is necessary to use natural resources more efficiently due to rapid decrease of them with increasing population.

Nowadays, environmental concerns affect almost all organizations at the administrative and operational level (Govindan et al., 2015). National and international legal regulations, governmental and non-governmental organizations and increasing awareness of environmental protection among people force companies to act with an environmental approach while conducting their activities (Buyukozkan and Cifci, 2012). As a result of these increasing pressures about the environment, greening have become one of the major trends in production in recent years. At this point, green manufacturing can be defined as having an environmental point of view at every stage of production process.

One of the purposes of GM practices is to reduce the carbon footprint of companies. Developing policies for reducing carbon

footprint which is related to CO₂ equivalent (CO₂e) gases emitted during all stages of production is quite important in terms of an environment oriented production. CO₂e gases cause global warming which is one of the most crucial problems facing our world (Bhattacharya et al., 2015; Hussain et al., 2017). Environmental pollution, on the other hand, is an important problem which threatens human life (Kamacı and Uysal, 2017). In this context, GM studies aim to decrease environmental pollution.

Automotive industry is a big customer of different sectors such as iron and steel, light metals and chemical industries. It provides a large business volume with many suppliers and creates employment opportunities for many people (Dweiri et al., 2016). In addition, automotive sector is one of the largest sectors in the world and has a considerable impact on the environment. Therefore, assessment of green manufacturing adoption levels of manufacturers in this sector is important for the environment.

In this study, we aimed to create a green performance evaluation model based on fuzzy AHP method for manufacturers in the automotive sector. Fuzzy set theory (FST) is used with AHP method so as to handle the qualitative and imprecise data concurrently. The proposed model which has the flexibility to be applied for different manufacturers, presents an important tool for companies to measure their own green performance and enables to select their suppliers.

The rest of this paper is organized as follows. A literature review related to green manufacturing has been given in Section 2. Fuzzy AHP method which used as a MCDM method has been explained in Section 3. The proposed green performance evaluation model has been presented in Section 4. Conclusions and future suggestions are in Section 5.

2. Literature Review

There are many MCDM studies with respect to green manufacturing applications in the literature. Some of these studies are briefly summarized as follows. Çiğçi and Büyüközkan (2011), suggested a group MCDM framework utilizing fuzzy AHP method for green supplier selection (GSS) problem. Tseng (2011), aimed to determine the most suitable alternative through linguistic preferences under incomplete information by using green supply chain management (GSCM) criteria. The weights of criteria and alternatives are determined via fuzzy set theory. Büyüközkan (2012), proposed an integrated fuzzy MCDM methodology including fuzzy AHP and fuzzy Axiomatic Design (AD) methods in order to evaluate green performance of suppliers. Tseng and Chiu (2013), studied on supplier selection problem as an indicator of environmentally sensitive manufacturing. They ranked alternative suppliers by means of grey relational analysis (GRA) method. Mittal and Sangwan (2014), applied fuzzy TOPSIS method so as to prioritize green manufacturing (GM) drivers by evaluating in terms of social, environmental and economic aspects. Banaeian et al. (2015), aimed to determine criteria for GSS problem in food industry. AHP and Delphi methods are used for weighting criteria and collecting of sub-criteria by an expert team. They applied fuzzy GRA method in order to rank green suppliers. Bhattacharya et al. (2015), provided an overview related to GM supply chain design and decision support to help researchers studied in this field. Govindan et al. (2015), proposed a MCDM methodology integrating DEMATEL based ANP (DANP) and PROMETHEE methods for selecting the best green manufacturing practices. Govindan et al. (2015), aimed to prioritize the drivers of green manufacturing using fuzzy AHP method. They performed a sensitivity analysis by using different defuzzification methods. Ilgin et al. (2015), presented a literature review study including 190 MCDM papers related to environmentally sensitive manufacturing. They divided into them three major categories in order to inform researchers about this field. Ghorabae et al. (2016), applied interval type-2 fuzzy Weighted Aggregated Sum Product Assessment (WASPAS) method for green supplier evaluation problem. They performed a sensitivity analysis by using different criteria weights and different parameters in order to reveal stability of the proposed method. Kumar et al. (2016), suggested a novel methodology named as Genetic/Immune Strategy for Data Envelopment Analysis (GIS/DEA) so as to solve GSS problem. Liao et al. (2016), applied a MCDM methodology combining fuzzy AHP, fuzzy additive ratio assessment (ARAS-F) and multi-segment goal programming (MSGP) for evaluating GSS problem. Yazdani et al. (2016), utilized a combined model including SWARA, QFD and WASPAS methods for GSS problem. They used SWARA method so as to give more weight to customer requirements and QFD for transforming customer requirements into supplier evaluation index. At the end of the study, they ranked alternative suppliers by using WASPAS method. Salem and Deif (2017), suggested Greenometer which is a toolbox in order to evaluate greenness level of manufacturing companies. They used data envelopment analysis as a decision making method in this study.

3. Fuzzy AHP Method

Analytic hierarchy process (AHP) and analytic network process (ANP) methods have been developed by Saaty as hierarchical and pairwise comparison based decision making methods (Saaty, 1977; Saaty, 2001; Saaty, 2008).

AHP which presents a useful methodology for MCDM deals with problem in a hierarchical structure (Wang and Chin, 2011). Generally, 1-9 scale proposed by Saaty for establish pairwise comparison matrices are used in AHP method (Ugur and Baykan, 2017). However, crisp values are insufficient to express human thinking and judgment which constitute input for problem. Thus, fuzzy AHP methodology has been developed with use of fuzzy numbers instead of crisp numbers (Kusumawardani and Agintiara, 2015).

AHP and its extension fuzzy AHP methods are commonly utilized for different decision making problems such as manufacturing plant sustainability evaluation (Jayawickrama et al., 2017), mineral prospectivity mapping (Zhang et al., 2017), organ transplantation (Yuen, 2014), evaluation of in-flight service quality (Li et al., 2017) and shipping technology selection (Sahin and Yip, 2017). On the other hand, AHP and fuzzy AHP methods are applied with together another MCDM methods as shown in (Karatas, 2017; Otay et al., 2017; Karatas et al., 2018).

One of the most popular fuzzy AHP methods is Chang's approach named as extent analysis method (Heo et al., 2012). The triangular fuzzy conversion scale utilized in this method for pairwise comparison is given in Table 1.

Table 1. Linguistic expressions and corresponding triangular fuzzy numbers (TFNs) (Esen et al.,2016; Erdem, 2016; Toklu, 2017)

| Linguistic Expressions | Fuzzy Scale | Fuzzy Reciprocal Scale |
|---------------------------|-------------|------------------------|
| Equally Important (EI) | (1,1,1) | (1,1,1) |
| Weakly Important (WI) | (1,3,5) | (1/5,1/3,1) |
| Strongly Important (SI) | (3,5,7) | (1/7,1/5,1/3) |
| Very Important (VI) | (5,7,9) | (1/9,1/7,1/5) |
| Absolutely Important (AI) | (7,9,9) | (1/9,1/9,1/7) |

The extent analysis method is explained as follows (Esen et al.,2016; Erdem, 2016).

$C = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$ is a criteria set and $A = \{A_1, A_2, \dots, A_m\}$ is an alternative set, where n and m are the number of criteria and alternatives respectively. Extent analysis for each criteria C_i is performed, respectively. Thus, m extent analysis values for each alternative can be calculated as follows:

$$M_{C_i}^1, M_{C_i}^2, \dots, M_{C_i}^m, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

where all of $M_{C_i}^j$ ($j = 1, 2, \dots, m$) values are obtained as TFNs.

Step 1: Fuzzy synthetic extent value for ith object is calculated as follows:

$$S_i = \sum_{j=1}^m M_{C_i}^j \otimes \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{C_i}^j \right]^{-1} \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^m M_{C_i}^j = \left(\sum_{j=1}^m l_j, \sum_{j=1}^m m_j, \sum_{j=1}^m u_j \right) \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{C_i}^j = \left(\sum_{i=1}^n l_i, \sum_{i=1}^n m_i, \sum_{i=1}^n u_i \right) \quad (4)$$

$$\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{C_i}^j \right]^{-1} = \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^n u_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n m_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n l_i} \right) \quad (5)$$

where, \otimes indicates fuzzy multiplication operator.

Step 2: The degree of possibility of $M_2 = (l_2, m_2, u_2) \geq M_1 = (l_1, m_1, u_1)$ is defined as;

$$V(M_2 \geq M_1) = \sup_{s \geq t} [\min \mu_{M_1}(s), \mu_{M_2}(t)] \quad (6)$$

and can be equivalently expressed as follows:

$$V(M_2 \geq M_1) = \text{hgt}(M_1 \cap M_2) = \begin{cases} 1, & \text{if } m_2 \geq m_1 \\ 0, & \text{if } l_1 \geq u_2 \\ \frac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)}, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (7)$$

where d is the ordinate of the highest intersection point D between μ_{M_1} and μ_{M_2} as seen in Figure 1. To compare M_1 and M_2 , we need both the values of $V(M_2 \geq M_1)$ and $V(M_1 \geq M_2)$.

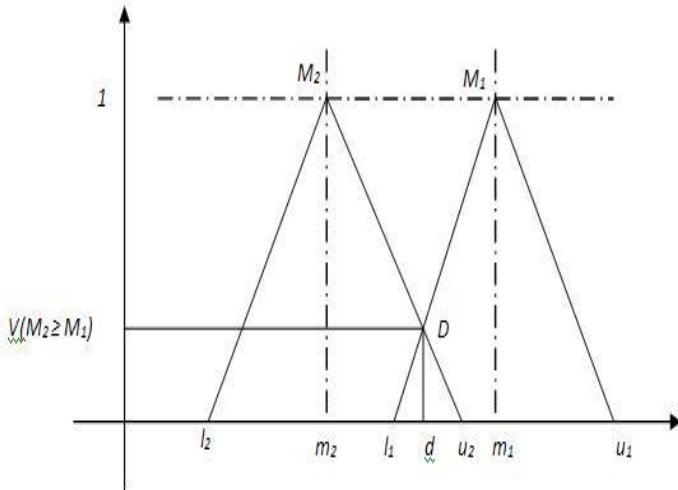


Figure 1. The intersection between M_1 and M_2 (Esen et al., 2016).

Step 3: The degree possibility for a convex fuzzy number to be greater than k convex fuzzy numbers M_i ($i = 1, 2, \dots, k$) can be defined as follows:

$$V(M \geq M_1, M_2, \dots, M_k) = V[(M \geq M_1) \text{ and } (M \geq M_2) \text{ and } \dots \text{ and } (M \geq M_k)] \\ = \min V(M \geq M_i), \quad i = 1, 2, \dots, k \quad (8)$$

Assume that

$$d'(A_i) = \min V(S_i \geq S_k) \quad (9)$$

then the weight vector for $k = 1, 2, \dots, n$; $k \neq i$ is given by following equation;

$$W' = (d'(A_1), d'(A_2), \dots, d'(A_n))^T \quad (10)$$

Step 4: The normalized weight vectors are obtained as crisp number through normalization.

$$W = (d(A_1), d(A_2), \dots, d(A_n))^T \quad (11)$$

4. The Proposed Evaluation Model

In this section, a green performance evaluation model based on fuzzy AHP method is suggested in order to evaluate companies operating in automotive industry. It is aimed to provide an effective tool for these companies to evaluate green performance of them and their suppliers. In this context, the green performance evaluation criteria are determined by means of literature review and expert opinions (Chithambarathan et al., 2015; Rostamzadeh et al., 2015; Govindan et al., 2015; Uygun and Dede, 2016; Salem and Deif, 2017; Luthra et al., 2017). These criteria are presented as a two stage hierarchical structure in Figure 2.

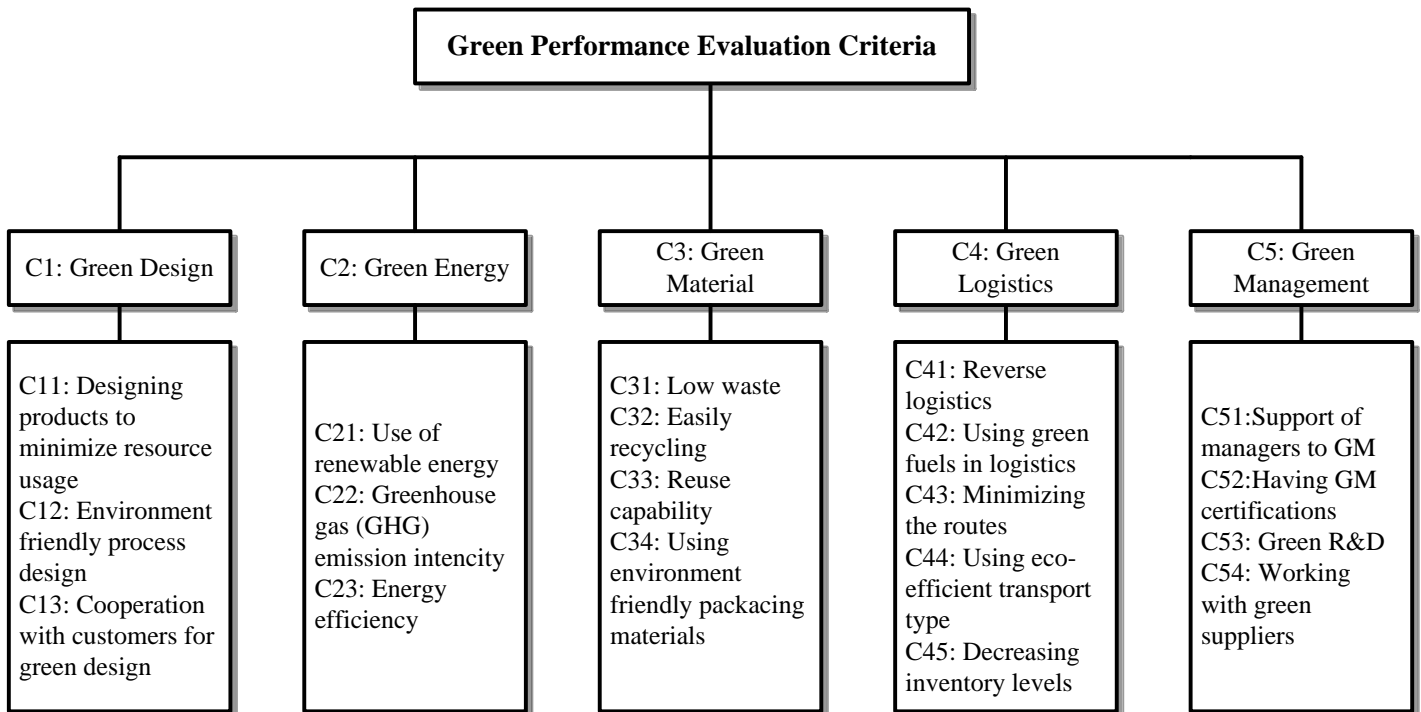


Figure 2. The hierarchical structure for green performance evaluation model

In the scope of this study, 5 main criteria and 19 sub-criteria are determined in order to use in green performance evaluation model. Green design, green energy, green material, green logistics and green management are handled as main criteria. Green design includes three sub-criteria as designing products to minimize

resource usage, environment friendly process design and cooperation with customers for green design. It is aimed to evaluate production process of companies in terms of environment friendly design by using these criteria. Green energy also includes three sub-criteria as usage of renewable energy,

GHG emission intensity and energy efficiency. These criteria emphasize the importance of using renewable energy in production process and assess alternatives according to their clean energy usage. Green material is a main criterion which includes four sub-criteria as low waste, easily recycling, reuse capability and using environment friendly packaging materials. These criteria aim to evaluate manufacturers in terms of using green materials in the production process. Besides, green logistics is an important main criterion for green performance evaluation. It includes five sub-criteria as reverse logistics, using green fuels in logistics, minimizing the routes, using eco-efficient transportation type and decrease inventory levels. These criteria aim to assess logistics activities of companies according to environmental awareness. Finally, green management criterion includes support

of managers to GM, having GM certifications, Green R&D and working with green suppliers criteria. It is aimed to assess companies at managerial level by using these criteria.

Firstly, pairwise comparison matrices (PCMs) are formed for main and sub criteria in order to determine weights of evaluation criteria by using expert opinions. The matrices are filled by three experts who are from academia. These experts have studies related to fuzzy logic and they have information about automotive industry. The expert evaluations for main criteria are presented in Table 2. Expert evaluations are aggregated via geometric mean. The aggregated fuzzy decision matrix for main criteria is given in Table 3.

Table 2. The expert evaluations for main criteria.

| | C1 | | | C2 | | | C3 | | | C4 | | | C5 | | |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | Exp 1 | Exp 2 | Exp 3 | Exp 1 | Exp 2 | Exp 3 | Exp 1 | Exp 2 | Exp 3 | Exp 1 | Exp 2 | Exp 3 | Exp 1 | Exp 2 | Exp 3 |
| C1 | EI | EI | EI | WI | 1/VI | 1/SI | EI | 1/SI | 1/WI | SI | 1/SI | 1/WI | EI | 1/AI | WI |
| C2 | 1/WI | VI | SI | EI | EI | EI | 1/WI | WI | EI | WI | WI | WI | EI | 1/WI | SI |
| C3 | EI | SI | WI | WI | 1/WI | EI | EI | EI | EI | WI | EI | WI | EI | 1/SI | VI |
| C4 | 1/SI | SI | WI | 1/WI | 1/WI | 1/WI | 1/WI | EI | 1/WI | EI | EI | EI | 1/SI | 1/SI | WI |
| C5 | EI | AI | 1/WI | EI | WI | 1/SI | EI | SI | 1/VI | SI | SI | 1/WI | EI | EI | EI |

Table 3. The aggregated fuzzy decision matrix for main criteria.

| | C1 | | | C2 | | | C3 | | | C4 | | | C5 | | |
|----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| C1 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 0.25 | 0.44 | 0.69 | 0.31 | 0.41 | 0.69 | 0.44 | 0.69 | 1.33 | 0.48 | 0.69 | 0.89 |
| C2 | 1.44 | 2.27 | 3.98 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 0.58 | 1.00 | 1.71 | 1.00 | 3.00 | 5.00 | 0.84 | 1.19 | 1.91 |
| C3 | 1.44 | 2.47 | 3.27 | 0.58 | 1.00 | 1.71 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 2.08 | 2.92 | 0.89 | 1.12 | 1.44 |
| C4 | 0.75 | 1.44 | 2.27 | 0.20 | 0.33 | 1.00 | 0.34 | 0.48 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 0.27 | 0.49 | 0.82 |
| C5 | 1.12 | 1.44 | 2.08 | 0.52 | 0.84 | 1.19 | 0.69 | 0.89 | 1.12 | 1.22 | 2.03 | 3.66 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |

Similarly, the aggregated fuzzy decision matrices are obtained for all of sub-criteria. Afterwards, the criteria weights for main and sub criteria are calculated by using these aggregated fuzzy decision matrices. The criteria weights obtained as a result of fuzzy AHP calculations are given as crisp numbers in Table 4. Besides, the graphical demonstration of main criteria weights is presented in Figure 3.

Table 4. The weights of Evaluation Criteria

| Main Criteria | Weights | Sub-Criteria | Local Weights | Global Weights |
|---------------|---------|--------------|---------------|----------------|
| C1 | 0.111 | C11 | 0.517 | 0.0574 |
| | | C12 | 0.455 | 0.0505 |
| | | C13 | 0.028 | 0.0031 |
| C2 | 0.268 | C21 | 0.370 | 0.0992 |
| | | C22 | 0.370 | 0.0992 |
| | | C23 | 0.260 | 0.0697 |
| C3 | 0.252 | C31 | 0.407 | 0.1026 |
| | | C32 | 0.302 | 0.0761 |

| | | | | |
|----|-------|-----|-------|--------|
| C4 | 0.149 | C33 | 0.168 | 0.0423 |
| | | C34 | 0.123 | 0.0310 |
| | | C41 | 0.223 | 0.0332 |
| | | C42 | 0.149 | 0.0222 |
| | | C43 | 0.219 | 0.0326 |
| | | C44 | 0.222 | 0.0331 |
| C5 | 0.220 | C45 | 0.187 | 0.0279 |
| | | C51 | 0.289 | 0.0636 |
| | | C52 | 0.128 | 0.0282 |
| | | C53 | 0.341 | 0.0750 |
| | | C54 | 0.242 | 0.0532 |

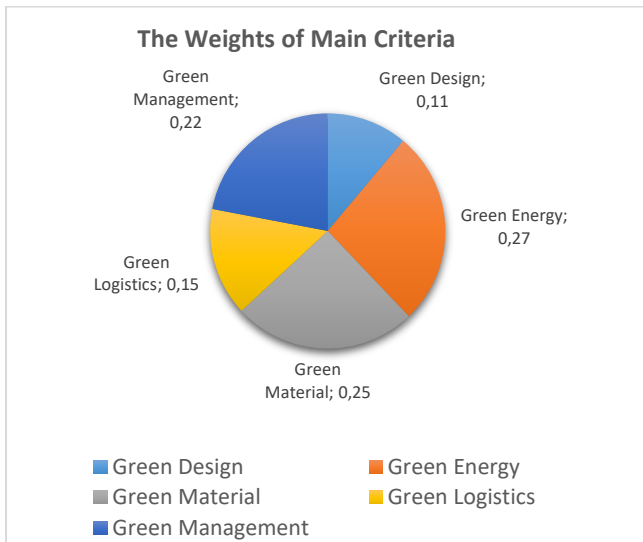


Figure 3. The graphical demonstration of main criteria weights

According to results, the main criteria are ranked as green energy, green material, green management, green logistics and green design respectively. As it is seen in this rank, green energy criterion was selected as the most significant one among main criteria with the weight of 0.268. Use of renewable energy and greenhouse gas emission criteria were selected as the most important sub-criteria related to this criterion. Besides, green design criterion was selected as the least important one with the weight of 0.111. On the other hand, low waste criterion was selected as the most important sub-criterion with the weight of 0.1026.

5. Conclusions and Suggestions

In parallel with the population growth, the increase in production activities leads to environmental pollution in every respect and therefore to irreversible environmental degradation. This degradation is accompanied by environmental disasters such as ozone depletion and global warming that threaten living things in dangerous extent. Increasing environmental awareness, especially with the emerging environmental problems in the last decade, forces every large-scale company to include environmental thinking at every stage of production process, and therefore to minimize the harm it gives the environment while performing its production activities.

In this study, a green performance assessment model has been presented for companies operating in the automotive industry which is one of the leading sectors of many countries with its suppliers and high business volume. The model, which is constructed using the AHP method integrated with the fuzzy approach, consists of 5 main criteria including green design, green energy, green material, green logistics and green management and 19 sub criteria. Green energy is the main criterion with the highest weight of 0.268 according to the model which is constructed by taking the evaluations of different experts. The proposed model provides an important tool for companies in the automotive industry to measure and follow their own green performance and to select their suppliers. It is possible to obtain a green performance score for companies and their suppliers by using this model. In the future studies, the scope of the model can be expanded by increasing the main and sub criteria. In addition to this, similar models can be created for green performance assessment for different sectors.

References

- Anderson, T.R., Hawkins, E., Jones, P.D. 2016. CO₂, the greenhouse effect and global warming: from the pioneering work of Arrhenius and Callendar to today's Earth System Models. *Endeavour* 40(3), 178-187.
- Banaeian, N., Mobli, H., Nielsen, I.E., Omid, M. 2015. Criteria definition and approaches in green supplier selection – a case study for raw material and packaging of food industry. *Production & Manufacturing Research* 3(1), 149-168.
- Bhattacharya, A., Dey, P.K., Ho, W. 2015. Green manufacturing supply chain design and operations decision support. *International Journal of Production Research* 53(21), 6339-6343.
- Buyukozkan, G. 2012. An integrated fuzzy multi-criteria group decision-making approach for green supplier evaluation. *International Journal of Production Research* 50(11), 2892-2909.
- Buyukozkan, G., Cifci, G. 2012. A novel hybrid MCDM approach based on fuzzy DEMATEL, fuzzy ANP and fuzzy TOPSIS to evaluate green suppliers. *Expert Systems with Applications* 39(3), 3000-3011.
- Chithambaranathan, P., Subramanian, N., Gunasekaran, A., Palaniappan, P.L.K. 2015. Service supply chain environmental performance evaluation using grey based hybrid MCDM approach. *Int. J. Production Economics* 166(1), 163-176.
- Çifçi, G., Büyüközkan, G. 2011. A Fuzzy MCDM Approach to Evaluate Green Suppliers. *International Journal of Computational Intelligence Systems* 4(5), 894-909.
- Dweiri, F., Kumar, S., Khan, S.A., Jain, V. 2016. Designing an integrated AHP based decision support system for supplier selection in automotive industry. *Expert Systems with Applications* 62(1), 273-283.
- Erdem, M.B. 2016. A Fuzzy Analytical Hierarchy Process Application in Personnel Selection in IT Companies: A Case Study in a Spin-off Company. *Acta Physica Polonica A* 130(1), 331-334.
- Esen, H., Hatipoğlu, T., Boyacı, A.İ., 2016. A Fuzzy Approach for Performance Appraisal: The Evaluation of a Purchasing Specialist. *Computational Intelligence, Studies in Computational Intelligence* 620, Springer International Publishing, 237s, Switzerland.
- Ghorabae, M.K., Zavadskas, E.K., Amiri, M., Esmaili, A. 2016. Multi-criteria evaluation of green suppliers using an extended WASPAS method with interval type-2 fuzzy sets. *Journal of Cleaner Production* 137(1), 213-229.
- Govindan, K., Diabat, A., Shankar, K.M. 2015. Analyzing the drivers of green manufacturing with fuzzy approach. *Journal of Cleaner Production* 96(1), 182-193.
- Govindan, K., Kannan, D., Shankar, M. 2015. Evaluation of green manufacturing practices using a hybrid MCDM model combining DANP with PROMETHEE. *International Journal of Production Research* 53(21), 6344-6371.
- Govindan, K., Khodaverdi, R., Vafadarnikjoo, A. 2015. Intuitionistic fuzzy based DEMATEL method for developing green practices and performances in a green supply chain. *Expert Systems with Applications* 42(20), 7207-7220.
- Heo, E., Kim, J., Cho, S. 2012. Selecting hydrogen production methods using fuzzy analytic hierarchy process with opportunities, costs, and risks. *International Journal of Hydrogen Energy* 37(23), 17655-17662.
- Hussain, M., Malik, R.N., Taylor, A. 2017. Carbon footprint as an environmental sustainability indicator for the particleboard

- produced in Pakistan. *Environmental Research* 155(1), 385–393.
- Ilgin, M.A., Gupta, S.M., Battaia, O. 2015. Use of MCDM techniques in environmentally conscious manufacturing and product recovery: State of the art. *Journal of Manufacturing Systems* 37(3), 746-758.
- Jayawickrama, H.M.M.M., Kulatunga, A.K., Mathavan, S. 2017. Fuzzy AHP based Plant Sustainability Evaluation Method. *Procedia Manufacturing* 8, 571-578.
- Kamacı, Z., Uysal, G. 2017. Pollution Determined by Using Magnetic Susceptibility Measurements: A Case Study from İzmir-İzmir-İzmir. *Acta Physica Polonica A* 132(3), 487-489.
- Karatas, M. 2017. Multiattribute Decision Making Using Multiperiod Probabilistic Weighted Fuzzy Axiomatic Design. *Systems Engineering* 20(4), 318-334.
- Karatas, M., Sulukan, E., Karacan, I. 2018. Assessment of Turkey's energy management performance via a hybrid multi-criteria decision-making methodology. *Energy* 153, 890-912.
- Kumar, A., Jain, V., Kumar, S., Chandra, C. 2016. Green supplier selection: a new genetic/immune strategy with industrial application. *Enterprise Information Systems* 10(8), 911-943.
- Kusumawardani, R.P., Agintiara, M. 2015. Application of Fuzzy AHP-TOPSIS Method for Decision Making in Human Resource Manager Selection Process. *Procedia Computer Science* 72(1), 638–646.
- Li, W., Yu, S., Pei, H., Zhao, C., Tian, B. 2017. A hybrid approach based on fuzzy AHP and 2-tuple fuzzy linguistic method for evaluation in-flight service quality. *Journal of Air Transport Management* 60, 49-64.
- Liao, C.N., Fu, Y.K., Wu, L.C. 2016. Integrated FAHP, ARAS-F and MSGP Methods for Green Supplier Evaluation and Selection. *Technological and Economic Development of Economy* 22(5), 651-669.
- Luthra, S., Govindan, K., Kannan, D., Mangla, S.K., Garg, C.P. 2017. An integrated framework for sustainable supplier selection and evaluation in supply chains. *Journal of Cleaner Production* 140(3), 1686-1698.
- Mittal, V.K., Sangwan, K.S. 2014. Prioritizing Drivers for Green Manufacturing: Environmental, Social and Economic Perspectives. *Procedia CIRP* 15(1), 135-140.
- Otay, I., Oztaysi, B., Cevik Onar, S., Kahraman, C. 2017. Multi-expert performance evaluation of healthcare institutions using an integrated intuitionistic fuzzy AHP&DEA methodology. *Knowledge-Based Systems* 133, 90-106.
- Rostemzadeh, R., Govindan, K. 2015. A. Esmaili, M. Sabaghi, Application of fuzzy VIKOR for evaluation of green supply chain management practices. *Ecological Indicators* 49(1), 188-203.
- Saaty, T.L. 1977. A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of Mathematical Psychology* 15(3), 234-281.
- Saaty, T.L. 2001. *Decision Making with Dependence and Feedback: The Analytic Network Process: The Organization and Prioritization of Complexity*. Rws Publications, 370 pages.
- Saaty, T.L. 2008. Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences* 1(1), 83-98.
- Sahin, B., Yip, T.L. 2017. Shipping technology selection for dynamic capability based on improved Gaussian fuzzy AHP model. *Ocean Engineering* 136, 233-242.
- Salem, A.H., Deif, A.M. 2017. Developing a Greenometer for green manufacturing assessment. *Journal of Cleaner Production* 154(1), 413-423.
- Toklu, M.C. 2017. Determination of Customer Loyalty Levels by Using Fuzzy MCDM Approaches. *Acta Physica Polonica A* 132(3), 650-654.
- Tseng, M.L. 2011. Green supply chain management with linguistic preferences and incomplete information. *Applied Soft Computing* 11(8), 4894-4903.
- Tseng, M.L., Chiu, A.S.F. 2013. Evaluating firm's green supply chain management in linguistic preferences. *Journal of Cleaner Production* 40(1), 22-31.
- Ugur, L.O., Baykan, U. 2017. A Model Proposal for Wall Material Selection Decisions by Using Analytic Hierarchy Process (AHP). *Acta Physica Polonica A* 132(3), 577-579.
- Uygun, O., Dede, A. 2016. Performance evaluation of green supply chain management using integrated fuzzy multi-criteria decision-making techniques. *Computers & Industrial Engineering* 102(1), 502-511.
- Wang, Y.M., Chin, K.S. 2011. Fuzzy analytic hierarchy process: A logarithmic fuzzy preference programming methodology. *International Journal of Approximate Reasoning* 52(4), 541–553.
- Yazdani, M., Zolfani, S.H., Zavadskas, E.K. 2016., E.K. New Integration of MCDM methods and QFD in the selection of green suppliers. *Journal of Business Economics and Management* 17(6), 1097-1113.
- Yuen, KKF. 2014. The Least Penalty Optimization Prioritization Operators for the Analytic Hierarchy Process: A Revised Case of Medical Decision Problem of Organ Transplantation. *Systems Engineering* 17, 442-461.
- Zhang, N., Zhou, K., Du, X. 2017. Application of fuzzy logic and fuzzy AHP to mineral prospectivity mapping of porphyry and hydrothermal vein copper deposits in the Dananhu-Tousuquan island arc, Xinjiang, NW China. *Journal of African Earth Sciences* 128, 84-96.



Fermente Süt Ürünlerinin İnsan Sağlığına Etkisi

Furkan DEMİRGÜL^{1*}, Osman SAĞDIÇ²

¹İzmir Kavram Meslek Yüksekokulu, Otel Lokanta ve İkram Hizmetleri Bölümü, furkandemirgul@gmail.com

²Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya Metalurji Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, osagdic@yildiz.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 12 Ocak 2018 ve Kabul Tarihi 5 Ağustos 2018)

(DOI: 10.31590/ejosat.377798)

Öz

Süt ve süt ürünlerinin insan sağlığının iyileştirilmesi için yüksek bir potansiyele sahip olduğu uzun zamandır bilinmektedir. Fermente süt ürünleri insan beslenmesinin önemli bir parçasını oluşturmaktadır. Son yıllarda önleyici sağlık uygulamalarının önemini anlaşılmasıyla birlikte gıda ve sağlık ilişkisi üzerindeki ilgi artmıştır. Bu çalışmanın amacı, fermente süt ürünlerinin insan sağlığı üzerindeki etkilerinin araştırıldığı çalışmaları inceleyerek, fermente süt ürünlerinin önleyici sağlık uygulamaları kapsamında kullanılabilme potansiyelini ortaya koymaktır. Çalışmanın sonucunda, çeşitli fermente süt ürünlerinin antimikrobiyal, antimutajenik, antikarsinojenik, antihipertansiyon özelliklerinin olduğu ve mineral metabolizması üzerine faydalarının bulunduğu belirlenmiştir. Ayrıca sütün probiyotik mikroorganizmalarla fermente edilmesi ile elde edilen probiyotik süt ürünlerinin, tüketicilerin bağışıklık fonksiyonlarını arttırarak, hastalanma riskini azaltma potansiyelinin bulunduğu tespit edilmiştir. Literatürde çeşitli fermente süt ürünlerinin insan sağlığı üzerine olumlu etkilerinin gösterildiği çalışmalar olmasına rağmen, konunun daha iyi anlaşılabilmesi için konuyla ilgili daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir.

Anahtar Kelimeler: Süt, Fermente Süt Ürünleri, Probiyotik, Beslenme, İnsan Sağlığı

The Effect of Fermented Milk Products on Human Health

Abstract

It has long been known that milk and dairy products have a high potential for improving human health. Fermented dairy products are an important part of human nutrition. In recent years, interest between health and food relationship has increased with the understanding of the importance of preventive health practices. The aim of this study is to explore the potential for use of fermented dairy products in the context of preventive health practices by examining studies investigating the effects of fermented dairy products on human health. As a result of the study, it has been determined that various fermented dairy products have antimicrobial, antimutagenic, anticarcinogenic, antihypertensive properties and benefits on mineral metabolism. It has also been found that probiotic dairy products obtained by fermenting milk with probiotic microorganisms have the potential to reduce the risk of illness by increasing the immune functions of consumers. Although studies in the literature have shown that various fermented dairy products have positive effects on human health, more research on the subject is needed to better understand the subject.

Keywords: Milk, Fermented Dairy Products, Probiotic, Nutrition, Human Health

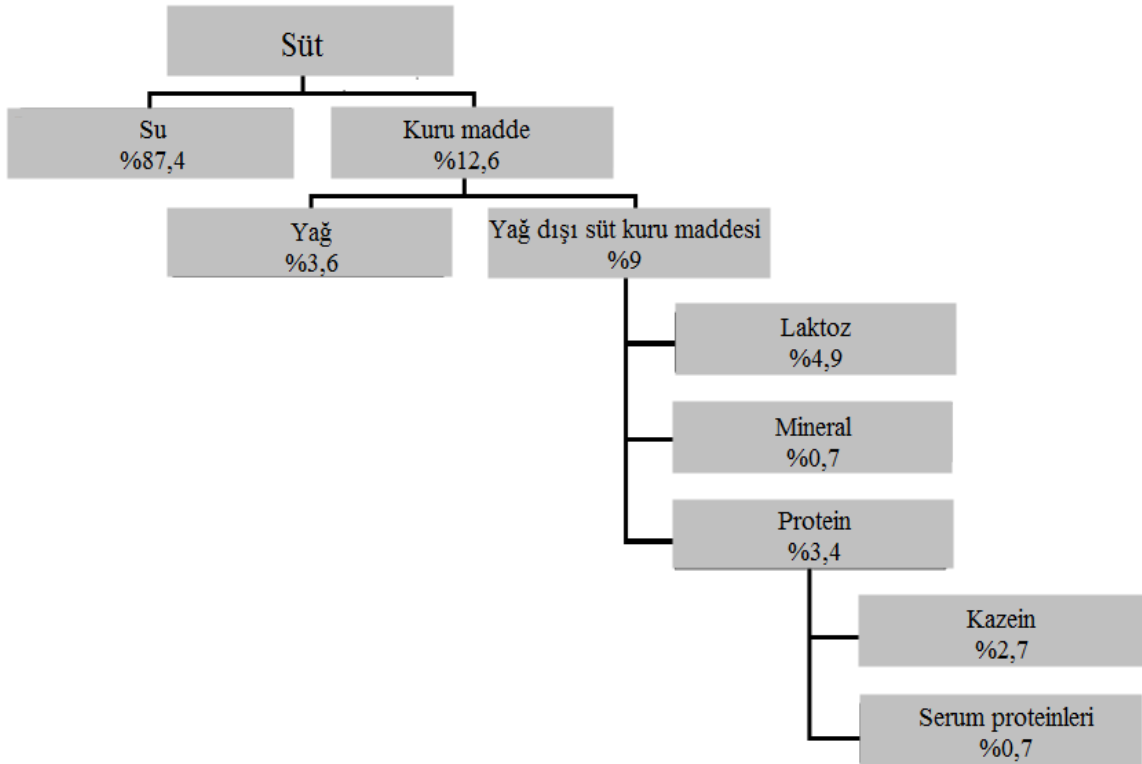
1. Giriş

Sağlık, gelişmiş ülkelerde gıda seçiminde dikkat edilen en önemli kriterlerden biridir. Diyet, bireyin obezite, kardiyovasküler hastalıklar, kanser ve diğer yaşam tarzı ile ilgili hastalıklara yakalanma riskini önemli ölçüde etkilemektedir (Lappalainen vd., 1998; Shiby ve Mishra, 2013). Fermente süt ürünleri uzun zamandır insan diyetinin önemli bir parçasıdır ve fermente süt ürünlerinin çeşitli terapötik özelliklere sahip olduğu bilinmektedir (Panesar, 2011).

Süt; protein, yağ, laktoz, vitamin, mineral, enzim, hormon ve immünooglobülin gibi hayati besin öğeleri açısından oldukça zengin bir kaynaktır. Süt ürünleri sadece tüketicilerin beslenme gereksinimlerini karşılamak için değil, aynı zamanda obezite, kemik erimesi, diş çürüğü, zayıf gastrointestinal sağlık, kardiyovasküler hastalıklar, hipertansiyon ve kolorektal kanser gibi çeşitli rahatsızlıkların önlenmesindeki rolleri için de tüketilebilmektedir. Önde gelen beslenme uzmanları, süt ve süt ürünlerini dengeli bir diyetin önemli bir parçası olarak kabul etmektedirler (Uenishi, 2006; Chandan ve Shah, 2006; Jauhainen ve Korpela, 2007; Jaffiol, 2008; Shimazaki vd., 2008; Weaver, 2009; Nagpal vd., 2012). Bu çalışmada; süt ve fermente süt ürünlerinin insan sağlığına etkileri üzerinde durulmuştur.

2. Süt ve Sağlık

Sağlığa katkıda bulunan en önemli 3 parametre diyet, egzersiz ve genetik faktörlerdir. İnsanlar tarafından tüketilen ve kompleks bir organizmanın bütün besin ihtiyaçlarını karşılamak için uygun olan yalnızca 2 gıda vardır: Süt ve yumurta. Süt yalnızca doğanın bebeklere sunduğu bir armağan değil, aynı zamanda yetişkinlerin tükettiği süt ürünleri için de temel hammaddedir. Sütün yaklaşık %87'si sudur. Sütün yağ kısmı yağda çözünen vitaminleri içerir. Sütün yağ dışındaki katı kısmını proteinler, karbonhidratlar, suda çözünen vitaminler ve mineraller oluşturur. Süt ürünleri yüksek kaliteli proteinler içerir. Peyniraltı suyu proteinleri (serum proteinleri) sütteki protein içeriğinin yaklaşık %20'sini oluşturur. Kazein sadece sütte bulunan bir protein olup tüm esansiyel aminoasitleri içerir ve toplam süt proteinlerinin yaklaşık %80'ini oluşturur (Şekil 1). Süt aynı zamanda, kalsiyum, fosfor, magnezyum ve potasyum gibi mineralleri de içerir. Sütte bulunan kalsiyum vücut tarafından kolayca absorbe edilir; D vitamini, kalsiyumun emilimini ve kullanılmasını kolaylaştırır. Ayrıca peyniraltı suyu proteini olan α -laktoalbuminin kalsiyum bağlama özelliği vardır ve bu da kalsiyum emilimini artıran diğer bir faktördür. Süt ayrıca önemli bir riboflavin (B₂ vitamini) kaynağıdır. Riboflavin cilt ve göz sağlığının iyileştirilmesine yardımcı olur (Chandan ve Shah, 2006; Nagpal vd., 2012; Prentice, 2014).



Şekil 1. Sütün besin bileşenleri (Chandan ve Shah, 2006)

Sütün insan fizyolojisine etkisi olduğu tahmin edilen pek çok bileşeni vardır (Tablo 1). Sütte bulunan önemli esansiyel aminoasitlerden biri olan triptofan iştahı, uykuyu ve ağrı algısını düzenlemektedir. Sütün immünooglobülinleri ise konakçının bağışıklık savunması için önemli rol oynamaktadır. IgG1, immünooglobülinlerin temel bileşenidir ve sütün litresinde 0,6 gram IgG1 bulunmakta iken,

kolostrumda litrede 48 gram IgG1 bulunmaktadır. İmmünooglobülinlerin diğer fraksiyonları olan IgG2, IgA ve IgM ise pasif bağışıklık sağlarlar. Sütte bulunan antikorlar rotavirüs, *Escherichia coli*, *Candida albicans*, *Streptococcus mutans*, *Clostridium difficile*, *Cryptosporium parvum* ve *Helicobacter pylori* enfeksiyonlarına karşı antimikrobiyal etki gösterir. Laktoferrin patojenlere karşı konakçıyı spesifik

olmayan şekilde korur, bazı Gram pozitif ve Gram negatif bakteriler ile küf ve rotavirüslere karşı koymada etkilidir. Ayrıca demir bağlama yeteneği olduğu için demir emilimini artırır. Laktoperoksidaz ise oksitleyici tiyosiyanat ve H₂O₂

varlığında antimikrobiyal etkili bileşikler oluşmasını sağlayan bir enzim sistemidir (Chandan ve Shah, 2006).

Tablo 1. Süt bileşenleri ve fizyolojik etkileri (Chandan, 1999; Hoolihan, 2004; Chandan ve Shah, 2006).

| Bileşen | Sağlığa etkisi |
|-----------------------------|---|
| Bütirik asit | Kolon kanseri riskini azaltabilir. |
| Konjuge linoleik asit | Bağışıklık sistemini modüle eder. |
| Sfingolipidler | Kolon kanseri riskini azaltabilir. |
| Stearik asit | Kan lipidlerini modüle ederek kalp rahatsızlıkları riskini azaltabilir. |
| Trigliseridler | Kalsiyum emilimini artırabilir. |
| Peyniraltı suyu proteinleri | Bağışıklık sistemini modüle ederek kalp rahatsızlıkları ve kanser riskini azaltabilir. |
| Glikomakropeptid | Diş çürüğü ve diş eti iltihaplanmalarını önleyebilir, antiviral ve antibakteriyel etki gösterir. |
| İmmünoglobülinler | Diyare ve gastrointestinal sistemdeki bozukluklara karşı etkilidir. |
| Laktoferrin | Bağışıklık sistemini modüle eder, toksin bağlayıcı, antikanserojen, antibakteriyel, antioksidan ve demir absorbe etme yeteneğindedir. |
| Laktoperoksidaz | Antimikrobiyal etkisi vardır. |
| Lizozim | Antimikrobiyaldir. Laktoferrin ve immünoglobülinlerle sinerjist etkisi vardır. |
| Laktoz | Kalsiyumu absorbe eder. |
| Kalsiyum | Kemik erimesini önler, hipertansiyonun kontrolünü sağlar. |

3. Süt Fermantasyonu

Fermente süt ürünleri, binlerce yıldır insan diyetinin önemli bir parçasını oluşturmaktadır. M.Ö. yaklaşık 100-150 yıllarında sütlerin, çiğ sütte doğal olarak bulunan mikroorganizma kültürleriyle fermente edilerek tüketildiğini gösteren bulgular bulunmaktadır. Fermente süt ürünlerinde yaşayan mikroorganizmaların rolü son yıllarda hem tüketici hem de üretici açısından önemli ölçüde ilgi kazanmıştır. Laktik asit bakterileri (LAB) süt fermantasyonundaki temel mikroorganizmalardır. LAB, süt şekeri olan laktozu laktik aside dönüştürerek ortamın asitliğini artırmakta ve böylece LAB dışındaki mikroorganizmaların gelişmesine imkan vermeyen koşulları oluşturmaktadır. LAB ayrıca bakteriyosin, reuterin ve diasetil gibi bazı antimikrobiyal bileşikler de sentezleyebilmektedir. LAB gıda ve tarımsal fermantasyonlarda yaygın şekilde kullanılmaktadır. Süt ürünlerinde bulunan en yaygın LAB cinsleri *Lactobacillus*, *Streptococcus*, *Leuconostoc*, *Enterococcus* ve *Lactococcus*'tur. LAB'ın koruyucu, besleyici ve iyileştirici özelliğinin bulunduğu birçok araştırmacı tarafından bildirilmiştir (Ram ve Bhavadasan, 2002; Shiby ve Mishra, 2013; Fernández vd., 2015).

4. Fermente Süt Ürünleri ve Sağlık

Fermente süt ürünleri tüketimiyle ilişkilendirilen sağlığa yararlı pek çok durum bulunmaktadır (Tablo 2). Bazı fermente süt ürünlerinin antimikrobiyal, antimutajenik, antikarsinojenik, antihipertansiyon özelliklerinin olduğu ve mineral metabolizması üzerine faydalarının bulunduğu, gıda alerjisi semptomlarını ve LDL kolesterol seviyesini düşürdüğü pek çok çalışma ile gösterilmiştir. Süt ürünlerinin probiyotik mikroorganizmaların ana taşıyıcısı olduğu bilinmektedir ve probiyotik suşların sağlık üzerindeki etkilerini gösteren birçok klinik çalışma bulunmaktadır. Bu bulgulara dayanarak, probiyotik süt ürünlerinin insanlar üzerinde olumlu fizyolojik etkiler gösterebildiği söylenebilmekte, ancak bu tür ürünler üzerinde daha fazla araştırma yapılmasına ihtiyaç bulunmaktadır (Granato vd., 2010).

Laktoz intolerans, diyare, kolon kanseri, inflamatuvar bağırsak hastalığı ve diğer bakteriyel enfeksiyonlar gibi gastrointestinal sistemle ilgili bazı hastalıkların fazla yoğurt tüketimiyle önlenilebileceği klinik olarak gösterilmiştir (Mazahreh ve Ershidat, 2009; Shah, 2013).

Tablo 2. Fermente gıdalar ve terapötik etkileri (Shiby ve Mishra, 2013)

| Klinik durum/semptomlar | Fermente gıdaların sağlığa etkileri | Referans |
|----------------------------------|---|---|
| Laktoz intolerans | <ul style="list-style-type: none"> Yoğurt, laktoz intoleransı olan kişilerce tolere edilebilir, <i>Lactobacillus acidophilus</i> laktoz sindirimini kolaylaştırır. | (Morley, 1979; Kim ve Gilliland, 1983; Gilliland, 1989). |
| Hepatik ensefalopati | <ul style="list-style-type: none"> Bağırsak mikroflorası değiştirilebilir. Tek başına <i>L. GG</i>, <i>L. acidophilus</i> ve <i>E. faecium SF68</i> ile tedavi edildiğinde fekal üreazda azalma, kan amonyağında düşüş olduğu gözlenmiştir. | (Macbeth vd., 1965; Kavasnikov ve Sodenko, 1967; Read vd., 1968; Loguerolo vd., 1987). |
| Radyoterapinin yan etkileri | <ul style="list-style-type: none"> <i>L. acidophilus</i> NCFB 1748 içeren fermente süt ile yapılan denemelerde, pelvik radyoterapiyle ilişkili diyarenin önemli ölçüde azaldığı görülmüştür. Laktobasiller ve metabolik ürünleri bağırsaklık sistemini stimüle ederek antitümör aktiviteyi artırır. Laktobasiller makrofaj fonksiyonlarını aktive ederek, doğal öldürücü hücrelerin ve T hücrelerinin aktivitesini artırır ve böylece normal bağırsak florasının korunmasını sağlar. | (Salminen vd., 1998a; Kansal, 2001). (Kansal, 2001). |
| Yüksek serum kolesterol seviyesi | <ul style="list-style-type: none"> <i>L. acidophilus</i> suşları ve bazı bifidobakteri türleri kolesterol seviyesini düşürür. Fermente süt ürünleri karaciğerdeki kolesterolü metabolize eden enzimler üzerine etkilidir. Dışkılama yoluyla kolesterol atılımı teşvik edilir. Kolesterolün LAB hücrelerine bağlanmasıyla kolestrol adsorpsiyonunun inhibisyonu gerçekleşir. | (Anand vd., 1985; Varnam ve Sutherland, 1994). (Mann ve Spoerry, 1974; Kawamura vd., 1981; Gilliland vd., 1985; Gilliland, 1989; Walker ve Gilliland, 1993; Hosona ve Tono-oka, 1995; Gopal vd., 1996; Marshall, 1996; Usman ve Hosono, 2000; Gupta ve Prabhu, 2004; Shiby ve Mishra, 2013). |
| Böbrek yetmezliği | <ul style="list-style-type: none"> Safra tuzlarının LAB hücrelerine bağlanmasıyla atılımı teşvik edilir. <i>Bifidobacterium</i> spp. ve <i>L. acidophilus</i>, toksik amin seviyesini azaltır. | (Shiby ve Mishra, 2013). |

5. Probiyotikler

Son yıllarda tüm dünyada hastalık iyileştirici yaklaşımlara kıyasla, önleyici sağlık hizmetlerine karşı artan bir ilgi bulunmaktadır. Özellikle probiyotik mikroorganizmalarla üretilmiş gıda tüketmek gittikçe yaygınlaşmaktadır (Nagpal vd., 2012). Probiyotikler, bağırsağın mikrobiyal dengesini geliştirerek konakçıya fayda sağlayan canlı mikrobik gıda takviyeleri olarak tanımlanabilir. Canlı mikroorganizmaların spesifik sağlık yararları için gerekli olup olmadığı hala belirsizliğini

korumaktadır (Shiby ve Mishra, 2013). Ancak probiyotiklerin en umut verici sağlık etkileri arasında çocuklarda akut ishalin iyileştirilmesi, solunum yolu enfeksiyonları riskinin azaltılması, çocuk süt alerjisinin hafifletilmesi ve irritabl bağırsak sendromunun hafifletilmesi gelmektedir. Probiyotikler sağlığa faydalı etkilerini, konakçının mikrobiyotasını normalleştirerek, patojenleri inhibe ederek, konakçının bağırsaklık sistemiyle etkileşime girerek ve kendi metabolik aktivitelerini sürdürerek ortaya çıkartmaktadır (Fernández vd., 2015). Probiyotik gıdaların tüketilmesi ile ilişkilendirilen muhtemel sağlık yararları pek çok çalışma ile gösterilmiştir (Şekil 2) (Granato vd., 2010).



Şekil 2. Probiyotik gıdaların insanlar üzerindeki muhtemel bazı fizyolojik yararları (Granato vd., 2010)

Probiyotik bakteriler doğrudan patojene bağlanabilir veya konakçı hücre reseptörüne patojen eklenmesini engelleyebilir. Örneğin, *in vitro* olarak belirli laktobasil ve bifidobakteri suşlarının rotavirüs ve vesicular stomatitis virüsünü inaktive edebildiğine dair kanıtlar bulunmaktadır. Klinik çalışmalar ve hayvan denemeleri, spesifik probiyotiklerin enfeksiyonların hafifletilmesinde etkili olduğunu, ancak etki mekanizmalarının tam olarak anlaşamadığını göstermektedir (Fernández vd., 2015).

Probiyotik mikroorganizmaların iddia edilen sağlık faydalarını gösterebilmeleri için fermente gıdalardaki hücre canlılıkları önemlidir (Galdeano ve Perdigon, 2004; Santiago-López vd., 2015). Probiyotik özellikteki bakterilerin gastrointestinal sisteme canlı olarak ulaşabilmeleri için gıdalarda en az 10^6 - 10^7 kob (koloni oluşturan birim) / ml veya g seviyesinde bulunması gerekmektedir (Talwaker ve Kailasapathy, 2004; Santiago-López vd., 2015). Fermente süt ürünleri, probiyotiklerin gastrointestinal sisteme kadar canlılıklarını koruyabilmeleri için elverişli gıdalardır (Hosono vd., 2002; Boza-Mendez vd., 2012; Santiago-López vd., 2015). Probiyotik mikroorganizmaların fermente edilmiş sütler ile beraber alınması, bağırsak mikrobiyotasının olumlu yönde değiştirilmesi ve bu değişikliğin korunması için önemlidir (Lourens-Hattingh ve Viljoen, 2001; Santiago-López vd., 2015).

6. Süt ve Süt Ürünlerindeki Bazı Terapötik Özellikler

6.1. Laktoz İntolerans

Yetişkinlerin laktozu sindirememesi problemi dünya çapında yaygın rastlanan bir durumdur. Laktaz enzimi bağırsak villusunun ucunda bulunur. İnce bağırsağında yeterli miktarda laktaz enzimi bulunmayan bireylerde laktozun sindirilememesi durumu diyare, şişkinlik, karın ağrısı ve gaz sancısı gibi rahatsızlıklarla sonuçlanabilmektedir (Panesar

vd., 2006; Panesar, 2011; Prentice, 2014). Çeşitli çalışmalardan elde edilen bulgular, probiyotik süt ürünleri tüketimi ile laktoz intolerans semptomlarının azaldığına dair kanıtlar sunmaktadır. *L. acidophilus* içeren süt ürünleri laktozu sindirme problemi yaşayan kişilere sindirimde yardımcı olmaktadır. Laktoz intoleransı olan pek çok kişinin fermente olmayan süte nazaran yoğurt gibi fermente süt ürünleri tüketmeleri durumunda daha az hastalık semptomlarıyla karşılaştıkları belirtilmektedir. Yoğurt üretiminde rol alan laktik asit bakterileri laktozu parçaladıkları için, yoğurt laktoz intoleransı olan kişilerce güvenilir bir şekilde tüketilebilmektedir (Gilliland, 1985; Panesar, 2011).

6.2. Hipertansiyon

L. helveticus CP790'dan bir ekstraselüler proteinaz aracılığıyla üretilen kazein hidrolizatın sıçanlar üzerinde antihipertansif etki gösterdiği bildirilmiştir. Buna ek olarak *L. helveticus* ve *Saccharomyces cerevisiae* ile fermente edilen ekşi süttten antihipertansif özelliği olan iki peptid saflaştırılmıştır. Bu iki peptid, anjiyotensinojen I'i, güçlü bir vazokonstriktör olan anjiyotensinojen II'ye dönüştüren anjiyotensin dönüştürücü enzimi inhibe ederek antihipertansif etki göstermektedir (Maeno vd., 1996; Panesar, 2011). Bazı laktobasillerin ya da bunlardan yapılan ürünlerin tüketilmesinin hafif hipertansif insanlarda kan basıncını düşürebileceği bildirilmiştir (Panesar, 2011).

6.3. Kalp Rahatsızlıkları

Süt ve süt ürünleri, kalsiyum, konjuge linoleik asit, antioksidanlar ve probiyotik bakteriler gibi koruyucu özelliği bulunan bileşenleri içermektedir. Linoleik asit, insanlardaki koroner kalp hastalığı risklerini azaltmada etkilidir. Bazı fermente süt ürünlerinde bulunan probiyotikler, insanlarda kolesterol düşürücü özelliklere sahiptir. Bazı bakterilerin kolesterolü kullanabilen enzimleri bulunmaktadır (Gilliland

vd., 1984; James vd., 1999; Xiao vd., 2003; Nagpal vd., 2012).

6.4. Hastalıklara Direnç

Bazı probiyotik süt ürünlerinin bağışıklık fonksiyonlarını arttırdığı ve dolayısıyla tüketicilerin enfeksiyon riskini azalttığı gösterilmiştir. Süt ve kolostrumlar, konağın içindeki enfeksiyon riskini azaltan bazı doğal immünoglobülinleri içermektedir (Haque ve Chand, 2006; Nagpal vd., 2012). Fareler ile yapılan çalışmalarda, peyniraltı suyu proteinlerinin humoral bağışıklık sisteminin tepkisini arttırdığı gösterilmiştir. Sülfidril içeren sistein ve glutasyon aminoasitlerinin, bağışıklık sisteminin verdiği bu tepkiden sorumlu olduğu düşünülmektedir. Peyniraltı suyu proteinleri sistein bakımından zengindir. β -laktoglobülin, 1 gram protein başına 33 mg sistein içermekte iken, sırasıyla, α -laktalbümin ve sığır serum albümini, 1 gram protein başına 68 ve 69 mg sistein içermektedir (Chandan ve Shah, 2006).

6.5. Kanser

Fermente süt ürünlerinin çeşitli kanser tiplerine karşı etkili olduğu pek çok epidemiyolojik araştırma sonucu gösterilmiştir. Yoğurt, Gouda peyniri ve tereyağı tüketiminin meme kanserine karşı iyi geldiği bildirilmiştir. Hayvan çalışmaları, LAB'ın, kanser hücrelerinin oluşmasını önleyerek veya oluşmuş kanser hücrelerini bastırarak antikarsinojenik etki sergilediğini göstermiştir. *L. acidophilus* içeren yoğurt ve fermente süt ürünlerinin antikarsinojenik özellikte olduğu fareler üzerinde gösterilmiştir (Panesar, 2011).

Epidemiyolojik araştırmalar süt tüketen insanlarda kolon ve rektum kanseri gelişme ihtimalinin, tüketmeyenlere oranla daha düşük olduğunu göstermektedir. Konjuge linoleik asit süt yağında doğal olarak bulunan bir bileşen olup meme kanseri gibi bazı hastalıkların oluşma riskini azaltabilmektedir. Yoğurt tüketimi bazı popülasyon gruplarında kolon kanseri insidansının azalması ile ilişkilendirilmiştir (Ganjam vd., 1997; Nagpal vd., 2012).

Kolon kanserine karşı koruyucu etkisi bulunan süt ürünleri bileşenleri, kalsiyum, D vitamini, probiyotik laktik asit bakterileri, linoleik asidin konjuge türevleri ve süt proteinlerinden türetilen biyoaktif peptidlerdir (Marshall, 2004; Rehmeyer, 2006; Nagpal vd., 2012).

Dünya Kanser Araştırma Fonu ve Amerikan Kanser Araştırma Enstitüsü uzmanları tarafından 2007'de yayımlanan ortak raporla sütün muhtemelen kolorektal kansere karşı koruduğu, mesane kanserine karşı koruduğuna dair ise sınırlı sayıda kanıt bulunduğu açıklanmıştır. Ayrıca peynirin kolorektal kanserin bir nedeni olduğuna dair sınırlı sayıda kanıt olduğu ve süt ve süt ürünlerini prostat kanserinin sebebi olarak gösteren yine sınırlı sayıda kanıt bulunduğu raporlanmıştır. 2007'den 2014'e kadar prostat, kolorektal ve meme kanseri üzerine yayımlanan 3 rapor süt ürünleriyle ilgili önemli bir yorum yapmamakta ve veriler genel olarak nötr gibi görünmektedir (Prentice, 2014).

6.6. Kemik Sağlığı

Kalsiyum, kemiğin önemli bir bileşenidir ve vücuttaki kalsiyumun büyük bir kısmı kemikte bulunduğu

için, kemik sağlığının kalsiyum alımıyla yakından ilişkili olduğunu varsaymak mantıklıdır (Prentice, 2014). Süt ve süt ürünleri, kemik sağlığı üzerinde önemli etkileri olan potasyum ve magnezyumun yanında iyi bir kalsiyum kaynağıdır. Günlük vücuda alınan kalsiyum ve protein miktarının süt ürünleriyle artırılması, kemik sağlığını geliştirip sürdürme ve çocuklukta, ergenlikte ve sonrasında kırıklara karşı korumada oldukça etkilidir (Rizzoli, 2014).

6.7. Diş Sağlığı

Kemikler ve dişler çok benzerdir. Dolayısıyla kemiklerde olduğu gibi diş sağlığı için de süt ve süt ürünlerinde doğal olarak bulunan kalsiyum, fosfor ve protein gibi bileşikler önemlidir. Süt ve süt ürünlerindeki bileşikler, şekerli gıdaları yedikten sonra ortaya çıkan asit artışı azaltabilmektedir. Peynirde bulunan kazein, fosfor ve kalsiyum kombinasyonu dişlerin mineralce tekrar zenginleşmesine ve diş çürüğü riskinin azalmasına yardımcı olabilmektedir (Nagpal vd., 2012).

6.8. Uyku Hastalığı

Melatonin, hayvanlarda ve algler de dahil olmak üzere pek çok canlı organizmada bulunan bir hormondur. Melatonin vücudun gece ve gündüz ritmini kontrol eder. Bu hormon özellikle uykusuzluğun üstesinden gelmek için etkilidir. İnek sütündeki melatonin seviyesini sütün sağım zamanı, ineklerin yaşı ve stresi etkilemektedir. Melatonin hormonu insanlarda ve büyükbaş hayvanlarda gece salgılanır. Gece sağılan inek sütünün melatonin konsantrasyonunun, gün boyunca sağılan sütten yaklaşık 4 kat daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle, yüksek melatonin içeriğine sahip süt ürünü elde edilmek isteniyorsa sütün gece sağılması gerekmektedir (Saxelin vd., 2003; Özer ve Kırmacı, 2009).

6.9. Diyare

Diyare, antibiyotik tüketen hastaların yaklaşık %20'sinde gözlenmektedir. Antibiyotikle ilişkili ishal (Aİİ), mikrobiyal bir dengesizlik sonucu kolondaki fermantasyon kapasitesinde azalmaya neden olur. Aİİ'nin başlıca nedenleri *Cl. difficile*, *Klebsiella oxytoca* ve *Cl. septicum* invazyonlarıdır (Salminen vd., 1998b; Ziemer ve Gibson, 1998; Kim ve Oh, 2013). Yapılan çalışmalar, *S. boulardii*'nin oral yolla alınmasının Aİİ riskini azaltabileceğini göstermiştir (Surawics vd., 1989; Kim ve Oh, 2013). Diğer çalışmalar *S. boulardii*, *E. faecium SF68* ve *L. rhamnosus GG*'nin Aİİ süresini kısaltabileceğini göstermiştir (Adams vd., 1977; Marteau vd., 2001; Kim ve Oh, 2013). Buna ek olarak, *B. bifidum* ve *St. thermophilus*'un bebeklere verilmesinin diyare riskini önemli ölçüde azalttığı gösterilmiştir (Kim ve Oh, 2013).

6.10. Diyabet

Diyet ve yaşam tarzı değişiklikleri tip-2 diyabet riskini önemli ölçüde azaltabilmektedir. Az yağlı süt tüketen insanlarda tip-2 diyabet riski düşüktür. Süt ve süt ürünleri tüketimi ile genç obez yetişkinler arasındaki insülin direnci arasında güçlü bir ters ilişki bildirilse de, süt alımıyla tip-2 diyabet arasındaki ilişki henüz tam olarak anlaşılammıştır. Dahı gibi süt ürünleri anoreksik veya insülinotropik etki

gösterebilmekte ve dolayısıyla diyabet riskini azaltabilmektedir (Hyon vd., 2005; Yadav vd., 2006; Nagpal vd., 2012).

7. Sonuç

Sağlığa katkıda bulunan en önemli 3 unsur diyet, egzersiz ve genetik faktörlerdir. Son yıllarda, süt ve süt ürünleri ile sağlık arasındaki ilişkiye olan ilgi bir hayli artmıştır. Günümüzde, bu tür ürünler fonksiyonel, yani sağlık üzerinde beslenme değerlerinin ötesinde bir etkiye sahip gıdalar olarak adlandırılmaktadır (Nagpal vd., 2012).

Süt, tüketicilere en iyi faydayı sağlamak için zenginleştirilebilen ve/veya modifiye edilebilen zengin besleyici bileşikler kaynağıdır. Sütün LAB ile fermente edilmesi sonucu üretilen ürünlerin, sütün korunmasının yanında sağlık için de pek çok faydasının olduğu birçok araştırma ile gösterilmiştir. Günümüzde önleyici sağlık uygulamalarına olan ilgi artmıştır. Bu açıdan, özellikle probiyotik mikroorganizmalar tarafından fermente edilen süt ürünlerinin insan mikrobiyotasını geliştirerek bağışıklık sistemini stimüle ettiği düşünülmektedir.

Bugün tüm bilimsel araştırmalara rağmen fermente süt ürünlerinin ve beraberindeki mikroorganizmaların insan sağlığı üzerindeki etkileri hala tam olarak anlaşılabilmiş değildir (Fernández vd., 2015). Fermente süt ürünlerinin insan sağlığına etkilerinin daha net anlaşılmasıyla birlikte önleyici sağlık uygulamalarına önemli bir katkı sağlanacağı düşünülmektedir.

Kaynaklar

Adams, J., Barret, C., Barret-Bellet, A., Benedetti, E., Calendini, A. ve Daschen, P., 1977. Essais cliniques contrôlés en double in su de l'ultra-levure lyophilisée. Etude multicentrique par 25 medecins de 388 cas. Gazette Medicine France, 84: 2072–2078.

Anand, S.K., Srinivasan, R.A. ve Rao, L.K., 1985. Antibacterial activity with *Bifidobacterium bifidum*. Cult. Dairy. Prod. J., 20: 21–23.

Boza-Mendez, E., Lopez-Calvo, R. ve Cortes-Muñoz, M., 2012. Innovative dairy products development using probiotics: challenges and limitations. In Probiotics, 213–226. Rigobelo E, ed. Everlon Rigobelo: InTech.

Chandan, R.C. ve Shah, N.P., 2006. Functional Foods and Disease Prevention. Manufacturing Yogurt and Fermented Milks Edited by Ramesh C. Chandan, Blackwell Publishing, 311–325.

Childs, N.M. ve Poryzees, G.H., 1998. Foods that help prevent disease: consumer attitudes and public policy implications. Brit. Food J., 9: 419–426.

Fernández, M., Hudson, J.A., Korpela, R. ve Reyes-Gavilán, C.G., 2015. Impact on Human Health of Microorganisms Present in Fermented Dairy Products: An Overview. Hindawi Publishing Corporation BioMed Research International, Article ID: 412714, 13 pages.

Galdeano, C.M. ve Perdigon, G., 2004. Role of viability of probiotic strains in their persistence in the gut and in mucosal immune stimulation. Journal of Applied Microbiology, 97: 673–681.

Ganjam, L.S., Thornton, W.H., Marshall, R.T. ve MacDonald, R.S., 1997. Antiproliferative effects of yogurt fractions

obtained by membrane dialysis on cultured mammalian intestinal cells. J Dairy Sci., 80: 2325–2329.

Gilliland, S. E., Staley, T. E, ve Bush, L. J., 1984. Importance of bile tolerance of *Lactobacillus acidophilus* used as dietary adjunct. J Dairy Sci., 67: 3045–3051.

Gilliland, S.E., Nelson, C.R. ve Maxwell, C., 1985. Assimilation of cholesterol by *Lactobacillus acidophilus*. Appl. Environ. Microbiol., 49: 377–385.

Gilliland, S.E., 1989. Acidophilus milk products are view of potential benefits to consumers. J. Dairy. Sci., 72: 2483–2494.

Gopal, A., Shah, N.D. ve Roginski, H., 1996. Bile tolerance, taurocholate deconjugation and cholesterol removal by *L. acidophilus* and bifidobacterium spp. Milchwissenschaft, 51: 619–623.

Granato, D., Branco, G.F., Cruz, A.G., Faria, J.A.F. ve Shah, N.P., 2010. Probiotic Dairy Products as Functional Foods. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 9: 455–470.

Gupta, P.K. ve Prabhu, T.R., 2004. Hypocholosterolaemic activity of *Lactobacillus acidophilus*. J. Food Sci. Tech. Mys., 41: 695–603.

Haque, E. ve Chand, R., 2006. Milk protein derived bioactive peptides. (Online) UK: Available: <http://www.dairyscience.info/bio-peptides.htm>

Hosono, A. ve Tono-oka, T., 1995. Binding of cholesterol with lactic acid bacterial cells. Milchwissenschaft, 51: 619–623.

Hosono, A., Otani, H., Yasui, H. ve Watanuki, M., 2002. Impact of fermented milk on human health: cholesterol-lowering and immunomodulatory properties of fermented milk. Animal Science Journal, 71: 241–256.

Hyon, K.C., Walter, C.W., Meir, J.S., Eric, R. ve Frank, B.H., 2005. Dairy Consumption and risk of type 2 diabetes mellitus in men. Arch Intern Med., 165: 997–1003.

Jaffiol, C., 2008. Milk and dairy products in the prevention and therapy of obesity, type 2 diabetes and metabolic syndrome. Bull Acad Natl Med., 192: 749–758.

James, W., Anderson, M.D. ve Gilliland, S.E., 1999. Effect of fermented milk (yogurt) containing *Lactobacillus acidophilus* 11 on serum cholesterol in hypercholesterolemic humans. J Am College Nutr., 18: 43–50.

Jauhiainen, T., ve Korpela, R., 2007. Milk peptides and blood pressure. J Nutr., 137: 825–829.

Kansal, V.K., 2001. Probiotic application of culture and culture containing milk products. Indian Dairy Man., 53: 49–55.

Kavashnikov, E.I. ve Sodenko, V.I., 1967. Antibiotic properties of *Lactobacillus brevis*. Dairy Sci. Abstr., 29: 3972.

Kawamura, T., Ohnuki, K. ve Ichida, H., 1981. A clinical study on a *Lactobacillus casei* preparation (LBG-01) in patients with chronic irregular bowel movement and abdominal discomfort. Jpn. Pharmacol. Ther., 9: 4361–4370.

Kim S.H. ve Oh S., 2013. Fermente Milk and Yogurt. Milk and Dairy Products in Human Nutrition: Production, Composition and Health, First Edition. Edited by Young W. Park and George F.W. Haenlein.

Kim, H.S. ve Gilliland, S., 1983. *Lactobacillus acidophilus* as a dietary adjunct for milk to aid lactose digestion in humans. J. Dairy Sci., 66: 956–966.

Lappalainen, R., Kearney, J., ve Gibney, M., 1998. A pan European survey of consumer attitudes to food, nutrition and health: An overview. Food Qual. Prefer., 9: 467–478.

Loguerolo, C., Vechhio, B. ve Collorti, M., 1987. Enterococcus lactic acid bacteria strain SF68 and lactulose in hepatic

- encephalopathy: a controlled study. *J. Intern. Med. Res.*, 15: 335–343.
- Lourens-Hattingh, A., ve Viljoen, B., 2001. Yogurt as probiotic carrier food. *International Dairy Journal*, 11: 1–17.
- Maeno, M., Yamamoto, N., ve Takano, T., 1996. "Identification of an Antihypertensive Peptide from Casein Hydrolysate Produced by a Proteinase from *L. helveticus* CP790," *Journal of Dairy Science*, Vol. 79, No. 8, 1316-1321. doi:10.3168/jds.S0022-0302(96)76487-1.
- Macbeth, W.A., Kass, E.H. ve McDermott, W.V., 1965. Treatment of hepatic encephalopathy by alteration of intestinal flora with *Lactobacillus acidophilus*. *Lancet*. 1: 399–403.
- Mann, S.V. ve Spoerry, Y., 1974. Studies of a surfactant and cholesterolemia in the massai. *Am. J. Clin. Nr.*, 27: 464–470.
- María Fernández, M., Hudson, J.A., Korpela, R. ve Reyes-Gavilán, C.G., 2015. Hindawi Publishing Corporation, BioMed Research International Volume 2015, Article ID 412714, 13 pages. <http://dx.doi.org/10.1155/2015/412714>
- Marshall, K., 2004. Therapeutic Applications of whey protein. *Alt Med Rev.*, 9: 136–156.
- Marshall, V. M., 1996. Bioyoghurt. How healthy? *Dairy Ind. Int.*, 61: 28–29.
- Marteau, P.R., Vrese, M. ve Cellier, C.J., 2001. Protection from gastrointestinal diseases with the use of probiotics. *American Journal of Clinical Nutrition*, 73: 430–436.
- Mazahreh, A.S. ve Ershidat, O.T.M., 2009. The benefits of lactic acid bacteria in yogurt on the gastrointestinal function and health. *Pakistan Journal of Nutrition*, 8: 1404–1410.
- Morley, R.G., 1979. Potential of liquid yoghurt. *Cult. Dairy Product. J.*, 14: 30–33.
- Nagpal, R., Behare, P.V., Kumar, M., Mohania, D., Yadav, M., Jain, S., Menon, S., Parkash, O., Marotta, F., Minelli, E., Henry, C.J.K. ve Yadav, H., 2012. Milk, Milk Products, and Disease Free Health: An Updated Overview, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 52:4, 321-333, doi: 10.1080/10408398.2010.500231
- Özer, B.H. ve Kırmacı, H.A., 2009. Functional milks and dairy beverages. *International Journal of Dairy Technology*, 63:1.
- Panesar, P.S., Panesar, R., Singh, R.S., Kennedy, J.F. ve Kumar, H., 2006. Microbial Production, Immobilization and Applications of β -D-Galactosidase. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, Vol. 81, No. 4, 530-543. doi:10.1002/jctb.1453.
- Panesar, P.S., 2011. Fermented Dairy Products: Starter Cultures and Potential Nutritional Benefits. *Food and Nutrition Sciences*, 2: 47-51, doi:10.4236/fns.2011.21006.
- Prentice, A.M., 2014. Dairy products in global public health. *The American Journal Clinical Nutrition*, 99(suppl): 1212– 1216. doi: <https://doi.org/10.3945/ajcn.113.073437>
- Ram, C. ve Bhavadasan, M. K., 2002. Probiotic dairy foods-present status and future perspectives. *Indian Dairy Man.*, 54: 53–57.
- Read, A.E., McCarthy, C.F. ve Heaton, K.W., 1968. *Lactobacillus acidophilus* (ENPAC) in treatment of hepatic encephalopathy. *Br. Med. J.*, 1: 1267–1269.
- Rehmeyer, J.J., 2006. Milk therapy: Breast-milk compounds could be a tonic for adult ill. *Sci News (Univ. of Phoenix, Online)*, 170: 376.
- Rizzoli, R., 2014. Dairy products, yogurts, and bone health. *Am J Clin Nutr.*, 99(suppl): 1256–1262.
- Gilliland, S.E., 1985. Influence of Bacterial Starter Cultures on Nutritional Value of Foods: Improvement of Lactose Digestion by Consuming Foods Containing Lactobacilli. *Cultured Dairy Products Journal*, Vol. 20, No. 2, 28-33.
- Salminen, S., Deighton, M., Benno, Y. ve Gorbach, S.L., 1998a. Lactic acid bacteria in health and disease. In: *Lactic Acid Bacteria: Microbiology and Functional Effect*, 211–253. Salminen, S. ve Vonwright, A., Eds., Marcel Dekker Inc., New York.
- Salminen, S., Bouley, C., Boutron, M.C., Cummings, J.H., Franck, A., Gibson, G.R., Isolauri, E., Moreau, M.C., Roberfroid M. ve Rowland, I., 1998b. Functional food science and gastrointestinal physiology and function. *British Journal of Nutrition*, 80, 147–171.
- Sanders, M.E., 2000. Symposium: Probiotic bacteria: Implications for human health: Considerations for the use of probiotic bacteria to modulate human health. *J. Nutr.*, 130: 384–390.
- Santiago-López, Hernandez-Mendoza, A., Garcia, S.A., Mata-Haro, V. ve Gonzalez-Cordova, A.F., 2015. The effects of consuming probiotic-fermented milk on the immune system: A review of scientific evidence.
- Saxelin, M., Corpela, R. ve Marya-Makinen, A., 2003. Functional dairy product. In *Dairy Processing*, 229–260. Smith G, ed. Cambridge: Woodhead Publishing.
- Shah, N.P., 2013. Health benefits of yogurt and fermented milks. *Manufacturing Yogurt and Fermented Milks*, Second Edition. Edited by Ramesh C. Chandan ve Arun Kilara, 433-450.
- Shiby, V.K. ve Mishra, H.N., 2013. Fermented Milks and Milk Products as Functional Foods—A Review, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 53:5, 482-496.
- Shimazaki, Y., Shiota, T., Uchida, K., Yonemoto, K., Kiyohara, Y., Iida, M., Saito, T., ve Yamashita, Y., 2008. Intake of dairy products and periodontal disease: The Hisayama Study. *Periodontol.*, 79: 131–137.
- Surawics, C.M., Mcfarland, G.W. ve Elmer, J., 1989. Treatment of recurrent *Clostridium difficile* colitis with vancomycin and *Saccharomyces boulardii*. *American Journal of Gastroenterology* 84, 1285–1287.
- Talwaker A. ve Kailasapathy K., 2004. A review of oxygen toxicity in probiotic yogurts: influence on the survival of probiotic bacteria and protective techniques. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 3:117–123.
- Uenishi, K., 2006. Prevention of osteoporosis by foods and dietary supplements. Prevention of osteoporosis by milk and dairy products. *Clin Calcium.*, 16: 1606–1614.
- Usman ve Hosono, A., 2000. Effect of administration of *L. gasseri* on serum lipids and fecal steroids in hypercholesterolaemic rats. *J. Dairy Sci.*, 83: 1705–1711.
- Varnam, A. ve Sutherland, J., 1994. *Milk and Milk Products Technology, Chemistry ve Microbiology*. Chapman ve Hall, London.
- Walker, D.R. ve Gilliland, S.E., 1993. Relationship among bile tolerance, bile salts deconjugation and assimilation of cholesterol by *L. acidophilus*. *J. Dairy Sci.*, 76: 956–961.
- Weaver, C.M., 2009. Should dairy be recommended as part of a healthy vegetarian diet? *Point. Am J Clin Nutr.*, 89: 1634–1637.
- Xiao, J.Z., Kondo, S., Takahashi, N., Miyaji, K., Oshida, K., Hiramatsu, A., Iwatsuki, K., Kokubo, S. ve Hosono, A., 2003. Effects of milk products fermented by *Bifidobacterium longum* on blood lipids in rats and healthy adult male volunteers. *J Dairy Sci.*, 86: 2452–2461.
- Yadav, H., Jain, S., ve Sinha, P. R., 2006. Effect of Dahi containing *Lactococcus lactis* on the progression of diabetes

induced by a high-fructose diet in rats. *Biosci Biotechnol Biochem.*, 70: 1255–1258.

Ziener, C.J. ve Gibson, G.R., 1998. An overview of probiotics, prebiotics and synbiotics in the functional food concept: perspectives and future strategies. *International Dairy Journal*, 8: 473–479.



Blok Zinciri Teknolojisi: Kullanım Alanları, Açık Noktaları ve Gelecek Beklentileri

Ersin ÜNSAL^{1*}, Ömer KOCAOĞLU²

¹Fibabanka Ar-Ge Merkezi, Şişli, İstanbul, ersin.unsal@fibabanka.com.tr

²Fibabanka Ar-Ge Merkezi, Şişli, İstanbul

(İlk Geliş Tarihi 15 Mayıs 2018 ve Kabul Tarihi 1 Ağustos 2018)

(DOI: 10.31590/ejosat.423676)

Öz

Bitcoin, merkezi otoriteye ihtiyaç duymayan, dağıtık ve dijital bir para birimi olarak, son yıllarda finans dünyasındaki popüler konuların başında gelmektedir. İlk dönemde Bitcoin'in finansal özelliklerine duyulan ilgi, zaman içerisinde Bitcoin'e hayat veren blok zinciri teknolojisine doğru kaymaya başlamıştır. Hemen her gün yeni bir uygulama alanını duymaya başladığımız blok zinciri teknolojisi alanındaki akademik araştırmalar sınırlı sayıdadır. Ülkemizde de gerek uygulama gerekse akademik anlamda yeterli sayıda çalışma olmadığını söyleyebiliriz. Bu inceleme, blok zinciri teknolojisini sistematik olarak gözden geçirerek, kullanım alanlarını, açık noktalarını ve gelecek beklentilerini tartışmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Bitcoin, blok zinciri, dağıtık uzlaş, kripto para, dijital para

Blockchain Technology: Use Cases, Open Issues and Future Expectations

Abstract

In recent years, as being a distributed and digital currency, and not being in need of a centralized authority, Bitcoin has become the foremost among the most popular subjects of the financial world. The initial interest in Bitcoin's financial features change course into blockchain technology, which essentially vitalizes the Bitcoin. While we have started to hear about the new implementations of blockchain technology almost every day, worldwide academic research is still limited. Unfortunately, implementation efforts and academic studies on blockchain in our country is also scarce. This paper systematically investigates the blockchain technology to discuss its usage areas, open issues, and future expectations.

Keywords: Bitcoin, blockchain, distributed consensus, cyrptocurrency, digital money

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Önümüzdeki dönemde başta finans dünyası olmak üzere birçok alanda büyük yenilikler ve dönüşümler yaratması beklenen blok zinciri kavramı, 31 Ekim 2008 yılında yayınlanan Bitcoin makalesiyle ortaya çıkmıştır (Nakamoto, 2008). Makalenin yazarı olarak görünen Satoshi Nakamoto, 2009 yılında ilk Bitcoin yazılımını geliştirerek Bitcoin sisteminin kurulmasını sağlamıştır. Nakamoto, 2010 yılı ortalarına kadar Bitcoin ekosisteminin gelişmesini desteklemiş ve ardından projeden desteğini çekerek ortadan kaybolmuştur (Wikipedia, 2018a). Kaybolmuştur çünkü Satoshi Nakamoto gerçek bir isim

değildi ve 2018 yılı itibariyle 150 milyar dolar boyutunda bir değer yaratan bu fikrin arkasında kim ve kimlerin olduğu uzun süre merak konusu olmuştur ve olmaya da devam etmektedir (Wikipedia, 2018a)(Blockchain Luxembourg S.A., 2018). New York Times, The Economist ve Wired gibi birçok ünlü haber dergisinde Bitcoin'in bu gizemli öyküsü çeşitli defalar yayınlanmış ve Bitcoin'in arkasındaki kişi veya kişilerin kimler olduğuna dair çeşitli tahminler yapılmıştır. Bu makalenin yazıldığı tarihte bu konuda en önemli iddia, Satoshi Nakamoto'nun gerçekte Craig Steven Right isimli bilişim alanında lisans ve doktora derecelerine sahip eski bir akademisyen olduğu yönündedir (Wikipedia, 2018b).

Gizemli ve efsanevi bir hikâyeyle ortaya çıkan Bitcoin, öncelikle finansal özellikleri ve oluşturduğu ekonomik değer ile ilgi çekmiş ve gerçekten de günümüz itibariye 150 milyar dolar boyutunda bir değer oluşturarak önemli bir başarı sağlamıştır. Bu gelişmelere paralel olarak, Bitcoin'in temel yapıtaşı olan blok zinciri teknolojisi de ilgi çekmeye başlamış ve başta finans sektörü olmak üzere birçok farklı alanda yeni ürün ve hizmetler oluşturmak için kullanılabilmesi gözlemlenmiştir. Günümüzde, öncelikle merkez bankaları olmak üzere çeşitli devlet kurumları, birçok büyük banka ve teknoloji şirketi blok zinciri teknolojisine yatırım yapmakta ve bu amaçla çeşitli işbirlikleri oluşturmaktadır. Bu gelişmeler ve blok zinciri teknolojisinin kullanım alanları makalenin ilerleyen bölümlerinde detaylı şekilde tartışılacaktır.

Bitcoin ve blok zinciri konusu akademik olarak değerlendirildiğinde ise bu alandaki akademik yayınların oldukça sınırlı olduğu gözlemlenmektedir. Sınırlı sayıda akademik yayınların büyük kısmının ise blok zinciri teknolojisinden ziyade, Bitcoin ve benzeri kripto paraların ekonomik olarak incelendiği finans ve ekonomi odaklı yayınlar olduğu gözlemlenmektedir. Farklı uluslararası akademik veri tabanlarında "Bitcoin" ve "blockchain" anahtar kelimeleriyle yapılan taramalar, yayınların büyük kısmının "Bitcoin" anahtar kelimesini içerdiğini, "blockchain" anahtar kelimesini içeren yayınların azınlıkta olduğunu göstermektedir (Tablo 1).

Tablo 1. Bitcoin ve Blok Zinciri Alanındaki Akademik Çalışmalar
(Academic Research on Bitcoin and Blockchain)

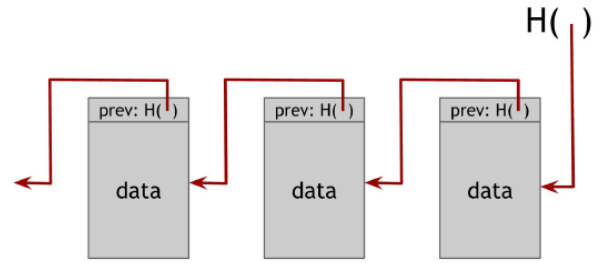
| Veritabanı | Anahtar Kelimeye Göre Toplam Yayın/Sonuç Sayısı | |
|----------------|---|------------|
| | Bitcoin | Blockchain |
| Google Scholar | 31.700 | 23.000 |
| ScienceDirect | 691 | 339 |
| JStor | 180 | 52 |
| SpringerLink | 1.386 | 991 |

Ülkemizdeki yayınlar incelendiğindeyse bu alanda yapılan akademik çalışmaların oldukça az olduğu gözlemlenmektedir. Mart 2018 itibariyle Türkiye kaynaklarını incelemek amacıyla, YÖK Tez Veritabanı ve Tübitak Ulakbim Veritabanı üzerinde "Bitcoin", "blockchain" ve "blok zinciri" anahtar kelimeleriyle yapılan taramalarda yedi adet yüksek lisans tezi (Kılınç, 2014) (Çay, 2016) (Tüfek, 2017) (Yakupoğlu, 2016) (Göksaran, 2017) (Balçısoy, 2017) (Karaköse, 2017) ile bir adet doktora tezi (Bayram, 2017) ve toplam 9 adet makale olduğu gözlemlenmiştir (Sönmez, 2014) (Ateş, 2014) (Bozdoğanoglu, 2014) (Yüksel ve Armağan, 2015) (Koçoğlu ve ark. 2016) (Taşdöken, 2016) (Önal, 2016) (Kızıltepe ve Öz, 2016), (Plassaras, 2017). Bu çalışmaların önemli bir kısmı da, dünya yazınındaki yayınlarla paralel bir şekilde, ağırlıklı olarak Bitcoin'in hukuki ve ekonomik durumuna odaklanmaktadır. Her yeni teknolojide olduğu gibi, blok zinciri teknolojisinin sağlıklı şekilde gelişebilmesi ve yaygınlaşabilmesi de ancak akademik alanda yapılacak çalışmalarla desteklenmesiyle mümkündür. Bu nedenle, blok zinciri teknolojisini sistematik olarak inceleyen, araştırma alanlarını, açık konuları ve kullanım alanlarını tartışan akademik çalışmalara ihtiyaç duyulduğu gözlemlenmektedir.

2. BLOK ZİNCİRİ TEKNOLOJİSİ ve KRİPTO PARA KAVRAMI (BLOCKCHAIN TECHNOLOGY AND CRYPTOCURRENCY)

2.1. Blok Zinciri Veri Yapısı (Blockchain Data Structure)

Blok zinciri, en basit tanımıyla, bir bağlı liste (linked list) yapısının özelleşmiş halidir. Standart tek bağlı liste yapısında, listenin her elemanı, kendinden sonra gelen elemanı bir işaretçi yordamıyla işaret eder. Bu şekilde listenin başlangıç elemanından kuyruk elemanına kadar bütün elemanlar birbirlerine bağlanmış şekildedirler (Cormen ve ark. 2009). Blok zinciri yapısında ise her eleman (blok), sadece sonraki bloğu işaret etmez, aynı zamanda o bloğun özet (hash) değerini de saklar. Diğer bir ifadeyle blok zinciri, özet-işaretçilerle oluşturulmuş özel bir bağlı liste yapısıdır (Şekil 1) (Narayanan ve ark., 2016).



Şekil 1. Blok Zinciri Veri Yapısı
(Blockchain Data Structure)

Blok zincirinin, klasik bağlı listeye göre özet-işaretçi yapısıyla elde ettiği en önemli farklılığı, listedeki herhangi bir bloğun değiştirilmek istenmesi durumunda ortaya çıkar. Özet-işaretçi yapısı, bu tür bir değişikliğe izin vermez, daha doğrusu bu tür bir değişiklik yapıldığı kolaylıkla anlaşılır. Çünkü yeni eklenen bloğun özet değeri, bu yeni bloğu işaret eden özet-işaretçisinin işaret ettiği değerden farklı olacaktır. Bu özellik blok zincirinin güvenli bir yapı olmasını sağlayan önemli etmenlerin başında gelmektedir. Bitcoin ile yapılan finansal işlemler, açık muhasebe defteri ismi verilen ve blok zinciri mantığıyla inşa edilen bir yapıda saklanmaktadır.

2.2. Dağıtık Uzlaş ve Teşvik Sistemi (Distributed Consensus and Incentive Scheme)

Merkezi olmayan, eşten eşe çalışan (peer to peer) ve Bitcoin'de olduğu gibi finansal hareketleri yöneten bir sistemin güvenliğini sağlamak ve kötü amaçlı eşlerden koruyabilmek oldukça önemlidir. Bitcoin'de eşler arasında yapılan finansal işlemler, yine eşler tarafından tüm sisteme yayımlanır. Bu bilgiler daha sonra açık muhasebe defterine kaydedilir. Bu şekilde, tüm finansal hareketler açık muhasebe defterine kaydedilmiş ve merkezi bir otorite olmaksızın finansal bir işleyiş kurulmuş olur. Burada en önemli nokta, açık muhasebe defterine kaydedilen işlemlerin doğru işlemler olması, kötü niyetli eşler tarafından üretilen sahte veya hatalı işlemler olmamasıdır. Aksi halde, sistem finansal hırsızlık olaylarına açık hale gelir. Blok zinciri dünyasında bu güvenlik mekanizmasının adı dağıtık uzlaş sistemidir. Dağıtık uzlaş sisteminde, her seferinde rasgele

bir eş, kendisinde bulunan güncel işlemleri tüm eşlere yayımlar. Diğer tüm eşler, kendilerine gelen işlemleri değerlendirir ve doğru ise kabul ederek kendilerinin üreteceği yeni işlem bloklarına eklerler.

Bitcoin, blok zincirine doğru işlemleri yayan eşleri blok ödülü ve işlem ücretleri ile ödüllendirir. Bu finansal teşvik yardımıyla dağıtık uzlaşma sisteminin, doğru işlemleri paylaşan güvenilir eşleri destekleyerek daha güvenli hale gelmesi hedeflenmiştir. İşlem ücretleri opsiyoneldir ancak blok ödülleri belli periyotlarla yarılanarak devam etmektedir. Şubat 2018 itibarıyla blok ödülü 12.5 Bitcoin'dir. Blok ödülü belirli periyotlarla (her 210.000 blokta bir – yaklaşık 4 yıllık süre) yarılanarak ve azalarak devam etmektedir. 2016 başında 25 Bitcoin olan blok ödülü, Ağustos 2016 itibarıyla 12.5 Bitcoin'e düşmüştür. Diğer bir taraftan da teşvik mekanizması, sisteme yeni bir Bitcoin eklemenin tek yoludur. Teşvik mekanizması algoritmasına göre, sistemde toplam 21 Milyon Bitcoin olabilecektir. Belirli bir süre sonra blok ödülü teşviki geçersiz hale gelecektir. Böyle bir durumda, şu an opsiyonel olan ve genelde sıfır olarak belirlenen işlem ücretleri teşvikinin, blok ücretleri teşvikini ikame edecek şekilde kullanılacağı değerlendirilmektedir (Şekil 2) (Narayanan ve ark., 2016).

dijital imzalarla doğrulanmasıyla mümkün olmaktadır. Yani A kişisi B kişisine para transferi yaparken, işlemi kendi dijital imzasıyla imzalayarak güvenli hale getirir.

Dijital imzalama işlemi, yapılan işlemlerin güvenliğini sağlarken; ayrıca işlem sahiplerinin de gizliliğini sağlamaktadır. Çünkü Bitcoin dünyasında, gerçek kişiler sadece kendilerinin bildiği ve doğrulayabildiği dijital imzalarla işlem yapabilirler. Ayrıca her gerçek kişi birden fazla dijital imza yaratabilir ve bu dijital imzaları kullanarak kendisine ait finansal işlemlerini istediği şekilde yönetebilir. Bitcoin ile yapılan tüm işlemler açık muhasebe defterine kaydedilir ve adından da anlaşılacağı üzere bu deftere isteyen herkes erişebilir. Ancak işlemlerde gerçek kişi bilgileri veya bundan türetilen bir bilgi yerine, dijital imzalar yer aldığı için finansal hareketlerin gerçekte kimler tarafından yapıldığı bilinmez.

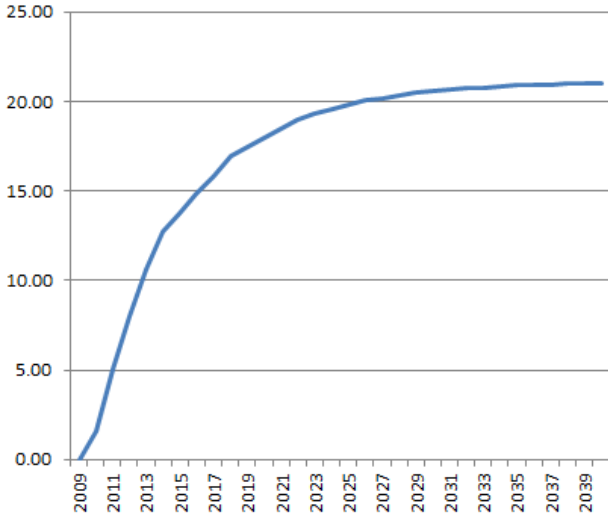
2.4. Bitcoin Madenciliği (Bitcoin Mining)

Dağıtık uzlaşma sisteminde teşvik mekanizması, blok zincirine yeni bir blok ekleyebilen bir eşin ödüllendirilmesi şeklindedir. Teşviki hangi eşin alabileceği konusu ise oldukça önemli bir problemdir. Bitcoin dünyasında, yeni Bitcoin'ler sadece teşvik sistemiyle üretilerek sisteme dâhil edilebilmektedir. Dolayısıyla teşvik edilecek eşlerin seçimi, rastlantısal şekilde olabilmeli ve sistemde hiçbir eş ya da eş grubu tekel olarak davranmamalıdır. Bitcoin, bu problemin çözümünü emek ispatı (proof of work - PoW) adı verdiğimiz bir mekanizmayla sağlamaktadır. Eşlerin, sisteme yeni blok ekleyebilmeleri, çözümü için yüksek işlemci gücüne ihtiyaç duyacak karmaşık bir özet-bulmacanın çözülmesiyle mümkün olmaktadır.

Yüksek işlemci gücüne dayalı bir problemin çözümü, teşvik kazanmak isteyen kimselerin güçlü özelliklerdeki çok sayıda bilgisayarı Bitcoin sistemine dâhil etmelerini sağlamıştır. Ancak sürekli yeni eşlerin katılarak, sistemi büyüttüğü bir dağıtık sistemde, belirli eş veya eşlerin tekel olabilmeleri çok kolay olmamaktadır. Diğer taraftan donanım ve elektrik giderleri, teşvik sistemi tarafından sunulan teşvik getirilerinden az olduğu için Bitcoin madenciliği adını verdiğimiz bir yöntem oluşmuştur. Kimi zaman fabrika büyüklüğündeki binaların içine kurdukları bilgisayar ağlarıyla Bitcoin sistemine dâhil olan kişi ya da kişiler, teşvik sisteminden faydalanarak önemli kazançlar sağlamaktadırlar. Sisteme katılan eşlerin sayısının artması da Bitcoin sisteminin güvenilirliğini artıran önemli bir faktör olmaktadır (Price, 2015).

Emek ispatı hali hazırda en popüler blok zinciri platformlarında kullanılan blok üretim ve doğrulama mekanizması olmakla birlikte, yüksek enerji tüketimine neden olmakta ve özel donanım gereksinimleri ortaya çıkarabilmektedir. Bu durum ise çeşitli eleştirilere neden olmakta ve alternatif çözümler önerilmektedir. Alternatif bir yöntem olarak öne çıkan hisse ispatı (proof of stake - PoS), bloğu üreten eşin ilgili blok zinciri ağı üzerinde sahip olduğu pay ile orantılı olarak geçerlilik onay yetkisi vermektedir. Bu yöntemde, yüksek pay sahibi eşlere sürekli bir avantaj sağlanmasının önüne geçmek için akış içerisindeki hesaplamalarda kullanılmak üzere yaş (age) kavramı da geliştirilmiştir. Bu sayede, herhangi bir blok üretimi için kullanılan pay kapsamındaki kripto paraların yaş değerleri sıfırlanır ve ancak belirli bir süre sonra tekrar yaş değeri kazanmaya başlarlar. Diğer bir popüler blok zinciri platformu olan Ethereum, emek ispatı yerine hisse ispatı yöntemine geçmeyi planlamaktadır. Bu sayede blok üretimi ve doğrulanma

Toplam Bitcoin Sayısı (Milyon)



Şekil 2. Dolaşımdaki Toplam Bitcoin Sayısı
(Total Bitcoins in Circulation)

2.3. Dijital İmzalar, Güvenlik ve Gizlilik (Digital Signatures, Security and Privacy)

Dijital imza, gerçek hayattaki imzalarla sağlanan güvenliğin dijital ortamda da sağlanabilmesi için yapılandırılmış bir güvenlik aracıdır. Gerçek imzada olduğu gibi, bir kişiye ait olan dijital imza sadece o kişi tarafından kullanılabilir, başka birisi tarafından kullanılamaz. Yine gerçek hayatta olduğu gibi, bir dijital dokümana iliştilmiş dijital imza, o dijital dokümanın imza sahibi tarafından onaylandığının göstergesidir.

Bitcoin dünyasında yapılan en temel finansal işlem, bir kişinin diğeriyle para değiş tokuşu yapmasıdır. Gerçek dünyada yapılan işlemde güvenlik önlemleri, fiziksel paranın güvenli şekilde imal edilmesine ve kolay şekilde taklit edilememesine odaklanmıştır. Dijital para dünyasında ise güvenlik, işlemlerin

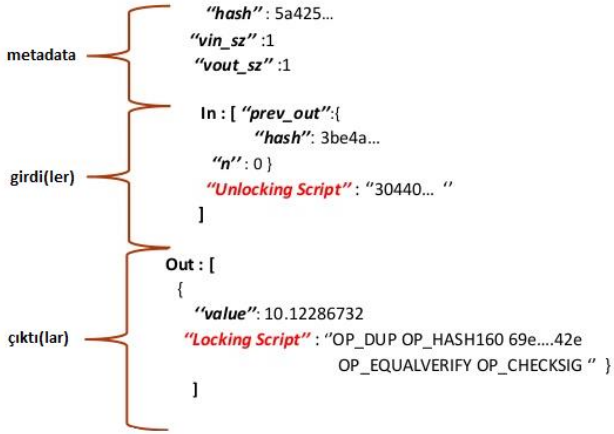
süreçlerinin hızlanması ve enerji ihtiyacının azalması hedeflenmektedir (Usta ve Doğantekin, 2017).

2.5. Bitcoin İşlemleri (Bitcoin Transactions)

Bitcoin’de yapılan finansal işlemlerde, temel olarak girdiler ve çıktılar vardır. Bu durum alışık olduğumuz hesap yönetiminden biraz daha farklıdır. Örneğin banka hesabınızda bir bakiyeniz vardır; hesabınıza gelen paralar bakiyenizi arttırırken, hesaptan çıkan paralar da bakiyenizi azaltır. Bir para harcaması yapacağınız zaman, eğer harcamak istediğiniz tutar bakiyenizden büyükse işlemi yapamazsınız. Diğer bir ifadeyle sürekli olarak bakiyenin kontrol edilmesi ve doğruluğunun sağlanması ihtiyacı vardır.

Bitcoin işlemleri ise bir bakiye yönetimi gibi çalışmaz, her işlem kendi içinde girdi ve çıktılarını belirtir. Örneğin A kişisi, B kişisine 5 Bitcoin transfer etmek istediğinde, transfer etmek istediği 5 Bitcoin’in kendisine hangi finansal işlemler sonucu transfer edildiğini yeni işleme girdi olarak sunar.

Şekil 3.’de görülebileceği gibi, Bitcoin işlemlerinde metadata, girdi ve çıktı olarak isimlendirilen 3 bölüm vardır. Metadata bölümünde, işlemin tekil numarası, girdi sayısı ve çıktı sayısı gibi işleme ait temel veriler yer almaktadır. Girdi bölümünde, güncel işlemde kullanılmak istenen ve önceki işlemlerle elde edilen Bitcoin’leri işaret eden işaretçi ve indeksler yer almaktadır. Çıktı bölümünde ise, girdide işaret edilen Bitcoin’lerin işlem sonunda hangi dijital adreslere transfer edileceği belirtilmektedir. İşlem yapısında yer alan betik (script) alanları ise, Bitcoin Betik diliyle yazılmış betikleri ifade eder. Bitcoin betikleri, başta akıllı kontratlar olmak üzere farklı uygulamaların geliştirilmesine de imkân sağlamaktadır (Narayanan ve ark., 2016).



Şekil 3. Bitcoin İşlem Yapısı
(Bitcoin Transaction Structure)

2.6. Bitcoin Cüzdanları (Bitcoin Wallets)

Blok zinciri üzerinde Bitcoin’leri transfer edebilmek, kişilerin kendilerine ait dijital imzaları yardımıyla mümkün olmaktadır. Dolayısıyla Bitcoin’lere erişebilmek ve kullanabilmek için, Bitcoin sahiplerinin dijital imzaları oluştururken kullandıkları anahtarları yönetmesi gerekmektedir. Anahtar yönetimi ise bilişim güvenliği alanında başlı başına

önemli bir konudur. Zira anahtarların başkaları tarafından ele geçirilmesi önemli riskler içerir. Bitcoin dünyasında, anahtarlarının başkaları tarafından ele geçirilmesi finansal kayıplarla sonuçlanabilecek bir durumdur. Bitcoin özelinde, anahtar yönetimiyle ilgili diğer bir konu da bir kişinin istediği kadar farklı anahtarlar yaratarak, istediği kadar fazla dijital kimlik ile Bitcoin alışverişi yapabmesidir. Birden fazla dijital kimliğin, diğer bir ifadeyle anahtarların, yönetiminin de etkin şekilde yapılabilmesi Bitcoin cüzdanları adı verilen yazılımlarla mümkün olabilmektedir.

Bitcoin cüzdanları, basit arayüzler sunarak, dijital anahtarlarınızı ve bu sayede Bitcoin’lerinizi yönetmenizi sağlayan yazılımlardır. İnternette ücretsiz olarak birçok Bitcoin cüzdanı yazılımına erişilebilir. Bu alanda yenilikçi bir çözüm de sadece Bitcoin’leri değil, paralelinde birçok farklı kripto parayı yönetmeyi sağlayan özelliği ile öne çıkan Exodus (<http://www.exodus.io>) isimli cüzdandır. Bunun yanı sıra Electrum (<https://electrum.org>), Jaxx (<https://jaxx.io/>) ve Mycelium (<https://wallet.mycelium.com/>) gibi cüzdanlar da popüler cüzdan yazılımlarıdır.

Bitcoin cüzdanları, her ne kadar Bitcoin’leri yönetebilmek için kolay bir arayüz sunsalar da, cüzdanların üzerinde koştuğu mobil cihazlar veya bilgisayarlardaki herhangi bir güvenlik açığı veya sürekli çevrimiçi erişilebilir olan Bitcoin cüzdanı yazılımının kendisinden kaynaklı bir güvenlik zafiyeti, özellikle büyük meblağlarda Bitcoin içeren dijital kimliklerin çaldırılmasına neden olabilir. Bu nedenle sıcak ve soğuk cüzdan kavramları geliştirilmiştir. Sıcak cüzdanlar günlük hayatta ihtiyaç duyulabilecek miktarda Bitcoin’i üzerinde taşımaya hedefleyen ve sürekli çevrimiçi olarak mobil cihazlar ve bilgisayarlar üzerinde çalışan cüzdanları ifade eder. Soğuk cüzdanlar ise daha güvenli olması amacıyla, sürekli çevrimiçi olmayan ve sadece gerektiğinde sıcak cüzdanlarla para transferi yapmak için çevrimiçi olan cüzdanları tarif eder. Trezor (<https://trezor.io/>) ve Ledger (<https://www.ledgerwallet.com/>) günümüzde yaygın olarak donanım tabanlı soğuk cüzdanlardır. Soğuk ve sıcak cüzdanlar arasındaki para transferinin yönetimini kolaylaştırmak amacıyla ayrıca hiyerarşik cüzdan yapıları geliştirilmiştir (Narayanan ve ark., 2016).

2.7. Açık, Özel ve Hibrid Blok Zincirleri (Public, Private and Hybrid Blockchain)

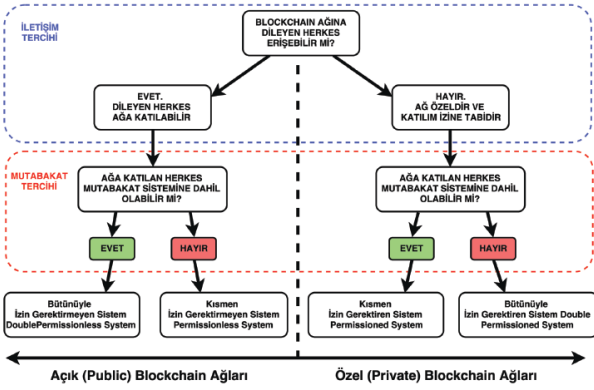
Blok zinciri teknolojisi, herkesin erişebileceği açık yapısı ve dağıtık uzlaşma özelliği ile öne çıkmış olsa da ilerleyen zamanda farklı ihtiyaçları karşılayabilmek amacıyla kısmi-merkezi (partially-decentralized) ve özel (private) blok zinciri yapıları geliştirilmiştir.

Kısmi-merkezi blok zinciri yapılarında, diğer bir adıyla konsorsiyum blok zincirleri, dağıtık uzlaşma yöntemi yerine sadece önceden belirlenmiş sınırlı sayıda eşin, uzlaşma sistemini yönettiği yapılarıdır. Bu tür yapılarda blok zinciri verisi herkese açık olabileceği gibi verilerin erişilebilirliğinin de çeşitli şekillerde kısıtlandığı karma blok zinciri yapıları oluşturulabilir.

Özel blok zincirlerinde ise, blok zincirine yazma (yeni bir işlem ekleme) yetkisi sadece özel bir gruba/organizasyona aittir. Verileri okuma hakkı ise herkese açık olabileceği gibi çeşitli şekillerde kısıtlanabilir.

Blok zinciri yapılarını sınıflandırmak amacıyla kullanılan yöntemlerden birisi de iletişim tercihinin ve mutabakat tercihinin

göre sınıflandırma yapmaktadır. Açık blok zincirlerinde dileyen herkes ağa katılabileceği gibi aynı zamanda mutabakat sistemine de dâhil olabilmektedir (Şekil 4) (Usta ve Doğantekin, 2017).



Şekil 4. Açık ve Özel Blok Zinciri Yapıları (Public and Private Blockchains)

2.9 Blok Zinciri Platformları (Blockchain Platforms)

Blok zinciri, Bitcoin ile popüler olmuş ve yaygınlaşmış bir teknoloji olmakla birlikte, günümüzdeki blok zinciri projeleri geliştirmek için kullanılacak farklı blok zinciri platformları ortaya çıkmıştır. Bu platformlar, açık kaynaklı olup olmamaları, fiyatlandırma yapısı, destekledikleri programları dilleri ve destekleri blok zinciri yapılarına (açık, hibrid, özel) göre farklılaşmaktadır. Ethereum ve Hyperledger, bu alanda en yaygın kullanılan, en bilindik alternatiflerdir. Bunların yanısıra Ripple, Tendermint ve Corda gibi farklı blockchain platformları da vardır (Usta ve Doğantekin, 2017). Ayrıca yakın zamanda Microsoft Azure üzerinde blok zinciri platformunu bir servis olarak (Blockchain as a service) sunmaya başlamıştır. Öncelikli olarak IBM ve ardından da Microsoft, blok zinciri teknolojisine önemli oranda yatırım yapan teknoloji devleridir.

Blok zinciri teknolojisinin farklılaşabildiği ilginç noktalardan birisi de değiştirilemez özelliğiyle ilgilidir. Blok zinciri teknolojisinin özet-işaretçi yapılarıyla elde ettiği değiştirilemez özelliği, pratik hayatta çeşitli nedenlerle hatalı olarak eklenen blok zinciri verilerinin silinmesine izin vermemektedir. Danışmanlık firması Accenture, blok zincirinin değiştirilebilir olmasının gerçek dünyanın ihtiyaçlarına daha uygun olabileceğinden hareketle değiştirilebilir blok zinciri yapısını tarifleyen bir patent başvurusunda bulunmuştur (Accenture, 2016).

3. BLOK ZİNCİRİ TEKNOLOJİSİNİN KULLANIM ALANLARI (USES CASES FOR BLOCKCHAIN TECHNOLOGY)

Blok zinciri teknolojisinin en önemli kullanım alanı, kripto para kavramı ve Bitcoin olmuştur. Günümüzde Bitcoin dışında, binden fazla kripto para çeşidi olduğu bilinmektedir (Wikipedia, 2018c). Kripto paraların toplam piyasa değeri 380 milyar dolar civarındadır ve 150 milyar dolara yaklaşan piyasa değeri ile Bitcoin bu değerlerin çok önemli bir kısmını oluşturmaktadır (CoinMarketCap, 2018).

Kripto paralar dışında blok zinciri teknolojisinin özellikle güven sorunu yaşanan ve bu sorunu aşmak için aracı kişi ve kurumların (intermediaries) yer aldığı birçok iş alanında kullanılabilirliği öngörülmektedir. Blok zinciri teknolojisini kullanan birçok kavram kanıtama ve prototip ürün çalışmaları yapılmasına rağmen gerçek hayatta kullanılan uygulamalar henüz hayata geçmemiştir. Dolayısıyla blok zinciri teknoloji kullanan iş fikirleri oldukça ilgi çekmesine rağmen, bu fikirlerin hayata geçmesi için yatırım bütçelerine ve zamana ihtiyaç vardır. ICO (Initial Coin Offering), blok zinciri temelli yeni iş fikirlerinin fon bulmak için kullanmaya başladığı oldukça yenilikçi bir fon toplama mekanizmasıdır (CoinMarketCap, 2018). 2013 yılında kullanılmaya başlayan bu yöntemin ilk başarılı örneklerinden birisi, döneminin en büyük ICO'su olarak yaklaşık 18 milyon USD fon toplayan Ethereum projesidir.

Günümüzde blok zinciri projelerin en önemli fonlama aracı haline gelen ICO'lar, yasal statüleri hakkındaki çeşitli tartışmalara rağmen, çok ciddi miktarlarda fon toplayabilmektedirler. 2017 yılında 211 adet ICO yapılmış ve yaklaşık olarak 4 milyar USD fon toplanmıştır. 2018 yılının sadece ilk 2 ayında yapılan ICO'lar ise 1 milyar USD boyutunda fon toplamayı başarmıştır (Özgün Law, 2017).

Henüz neredeyse bir fikir aşamasındayken fon toplama sürecine başlayan ICO'ların bu boyutlarda fon toplayabilmesi oldukça önemli bir başarıdır. ICO'ların başarısı, iş fikriyle ilintili olduğu kadar, proje ve danışman ekibinin niteliği ve tecrübesinden, girişimin şeffaflığına kadar birçok farklı parametreden etkilenebilmektedir (CoinSchedule Limited, 2018), (Mougayar, 2016).

Tablo 2. 2017 Yılı En Büyük ICO'lar (Top Ten ICOs of 2017)

| Sıralama | Proje Adı | Toplanan Tutarı |
|----------|-------------|-----------------|
| 1. | Hdac | 258.000.000 \$ |
| 2. | Filecoin | 257.000.000 \$ |
| 3. | EOS Stage 1 | 185.000.000 \$ |
| 4. | Paragon | 183.157.275 \$ |
| 5. | Bancor | 153.000.000 \$ |
| 6. | Status | 90.000.000 \$ |
| 7. | Bankex | 70.600.000 \$ |
| 8. | Tenx | 64.000.000 \$ |
| 9. | Nebulas | 60.000.000 \$ |
| 10. | MobileGO | 53.069.235 \$ |

3.1. Finans Endüstrisi (Finance Industry)

Birçok banka ve finansal kurum, blok zinciri teknolojisinin kripto para dışındaki olası kullanım alanlarını araştırmakta ve yenilikçi çözümlere yatırım yapmaktadır. Bu araştırmalar sonucunda çeşitli kaynaklarda yayımlanan olası bazı finansal kullanım alanları şunlardır (Deloitte, 2015), (Cognizant, 2016), (Everis Next, 2016), (Evans, 2015):

- Ödeme İşlemleri
- Para Transferleri
- Alış/Satış Platformları
- Takas Yönetimi
- Yetkilendirme, Doğrulama
- Dijital Kimlik Yönetimi

- Doküman Yönetimi
- İslami Bankacılık Uygulamaları

Bankacılık alanında örnek uygulamaların öncelikle uluslararası para transferi ve yine uluslararası ticaretin finansmanı alanında öne çıktığı gözlemlenmektedir. Ülkemizde bir bankanın da dahil olduğu Ripple, uluslararası para transferi alanında öne çıkan bir blok zinciri çözümüdür. Uluslararası ticaretin finansmanı konusunda ise çeşitli bankaların bir araya gelip konsorsiyumlar oluşturduğu duyurulmaktadır.

3.2. Kamu Sektörü (Public Sector)

Blok zinciri teknolojisinin kamusal anlamda da yenilikçi kullanım alanları vardır ve öncül uygulamalar ortaya çıkmaya başlamıştır. Blok zinciri teknolojisinin kamu sektöründe kullanılabileceği bazı alanlar şunlardır (Cognizant, 2016):

- Oylama
- Doküman Yönetimi
- Enerji Dağıtım
- Akıllı Kontratlar
- Dijital Kimlik
- Dijital Pasaport
- Sosyal Güvenlik Sistemi
- Vergi Sistemi

Çeşitli ülkelerde, kamusal alanda blok zinciri yatırımlarının yapılmaya başlandığı bilinmektedir. Dubai, İsviçre, İngiltere, Estonya, Singapur ve Kıbrıs blok zinciri alanındaki inovasyona öncülük eden ülkelerdendir.

Blok zinciri teknolojisi temelli yenilikçi ürünlere ilgi gösteren diğer bir kamusal alan da savunma alanıdır. Yakın zamanda gerek NATO'nun gerekse Amerikan Savunma Bakanlığının blok zinciri teknolojisiyle ilgilenmeye başladığı bilinmektedir. Amerikan Savunma Bakanlığı daha çok blok zinciri tabanlı güvenli bir mesajlaşma uygulamasına odaklanırken, NATO lojistik ve tedarik gibi daha geleneksel uygulamaların altyapısında blok zinciri teknolojisini kullanmayı hedeflemektedir (Kar, 2016).

3.3. Akıllı Kontratlar (Smart Contracts)

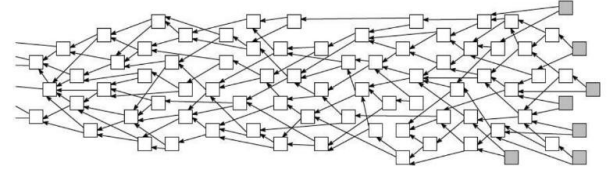
Blok zinciri teknolojisinin, sektörlerden bağımsız olarak ya da diğer bir ifadeyle birçok farklı sektörü etkileyebilecek en önemli kullanım alanlarından birisi akıllı kontratlardır. Blok zinciri teknolojisi, farklı paydaşlar arasında dijital sözleşmelerin blok zinciri üzerinde tanımlanmasını sağlamaktadır. Bitcoin Betik diliyle tanımlanabilen akıllı kontrat yapısı sayesinde, kontrat içeriğinde belirtilen gerekli mantıksal koşulların sağlanması durumunda, amaçlanan işlemin hayata geçmesi sağlanmaktadır. 2014 yılından duyurulan Ethereum ise Blok Zinciri 2.0 olarak adlandırılan alt yapısıyla, akıllı sözleşmeler için en çok tercih edilen blok zinciri çözümü olmuştur. Merkezi bir otoriteye gerek duymaksızın, farklı paydaşlar arasında dijital sözleşmelerin tanımlanabilmesi ve sözleşme koşullarının takip edilerek sonucuna göre hedeflenen aksiyonların otomatik olarak

hayata geçirilebilmesi, blok zinciri teknolojisinin en çok heyecan yaratan uygulama alanları arasındadır.

3.4. Nesnelerin İnterneti, Paylaşım Ekonomisi ve Finansal Dönüşüm (Internet of Things, Shared Economy and Financial Transformation)

Blok zinciri teknolojisinin mevcut ürün ve hizmetlerin iyileştirilmesi alanında kullanımı konusunda ar-ge çalışmaları yapılmaya devam etmektedir. Diğer bir taraftan, blok zinciri teknolojisinin etkilerinin mevcut ürün ve hizmetleri iyileştirmenin çok daha ötesinde olacağını savunan ve buna yönelik düşünceler geliştirilen kişi ve kurumlar da vardır. Blok zinciri teknolojisinin sağladığı merkezi otoriteye gerek duymayan dağıtık para kavramını, günümüzde öne çıkmaya başlayan nesnelerin interneti ve paylaşım ekonomisi gibi gelişmelerle birlikte değerlendirerek daha büyük etkiler yaratabileceği ifade edilmektedir (Tapscott ve Tapscott, 2016), (Short, 2016), (Ramsey, 2016), (Huckle ve ark., 2016).

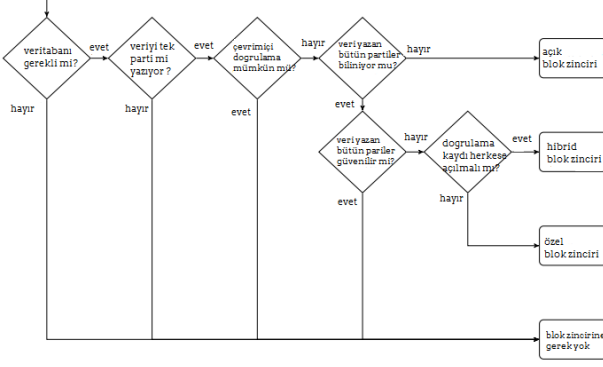
Nesnelerin interneti konusunda en çok öne çıkan çözümlerinden bir tanesi IOTA isimli projedir. IOTA, komisyon ücretleri olmadan, dağıtık ve ölçeklenebilir bir altyapı sunmakta ve nesnelerin açık muhasebe defteri (ledger of things) olarak adlandırmaktadır. IOTA ile ilgili diğer bir özellik, altyapı olarak blok zinciri teknolojisi değil, Tangle isimli bir teknoloji kullanılmaktadır. Tangle, madenciler, bloklar ve zincir gibi kavramlar yerine, DAG isimli bir altyapı kullanılmaktadır. Bu yapıda, ağın her bileşeninin, yeni bir işlem yapabilmek için daha önce yapılmış iki işlemi onaylaması gerekmektedir (Şekil 5) (Popov, 2017).



Şekil 5. Tangle ve İşlem Akışı
(Tangle and Transaction Flow)

3.5. Blok Zincirine Gerçekten İhtiyaç Var mı? (Internet of Things, Shared Economy and Financial Transformation)

Blok zinciri teknolojisini kullanarak çeşitli iş çözümleri geliştirmeye başlayan yüzlerce girişim olduğu gibi diğer taraftan da çeşitli büyük bankalar ve firmalar tarafından oluşturulmuş konsorsiyumlar da blok zinciri alanında çözümler geliştirmeyi hedeflemektedir. Bu gelişmelere biraz daha mesafeli duran ve blok zinciri teknolojisi etrafında oluşan yüksek beklentilerini sorgulayan ve blok zinciri teknolojisinin net faydalarının görülebileceği projelere odaklanılmasını öneren görüşler de vardır. Bu amaçla bir projede blok zinciri teknolojisini gerçekten kullanmak gerekli mi, gerekliyse hangi tip blok zinciri yapısını kurgulamak gerekli gibi sorulara yanıt verirken kullanmak üzere akış şemaları ortaya çıkmaya başlamıştır (Şekil 6) (Bauerle, 2018), (Wüst ve Gervais, 2017).

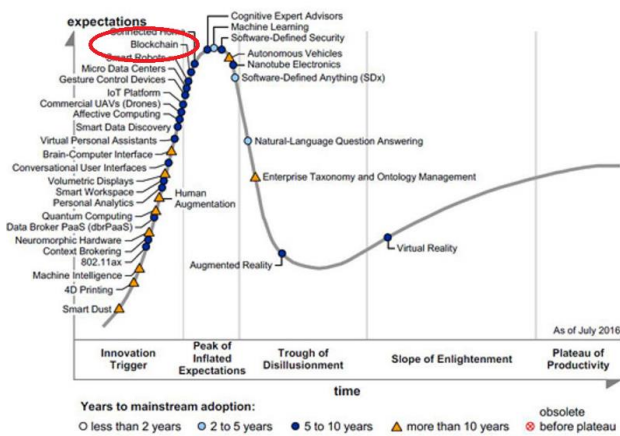


Şekil 6. Açık ve Özel Blok Zinciri Yapıları Ne Zaman Kullanılmalı? (When To Use Public and Private Blockchains)

4. BLOK ZİNCİRİ TEKNOLOJİSİNİN GELECEĞİ VE AÇIK KONULAR (FUTURE OF BLOCKCHAIN TECHNOLOGY AND OPEN ISSUES)

4.1. Blok Zinciri Teknolojisinin Geleceği (Future of Blockchain Technology)

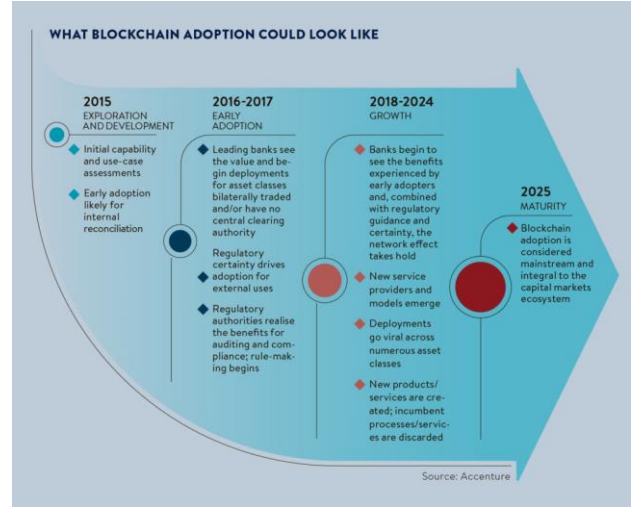
Yeni ve gelişmekte olan teknolojilerin gelişimini takip edebilmek ve gelecek öngörülerini yapabilmek için başvurulan araçların başında önemli danışmanlık firmalarının yayınladığı araştırma raporları gelmektedir. Gartner firması tarafından geliştirilen Hype Cycle metodolojisi, yeni teknolojileri takip etmekte kullanılan en önemli araçlar arasındadır. Blok zinciri teknolojisi, ilk kez 2016 yılında Gartner Hype Cycle çalışmasına dâhil edilmiştir. Gartner'ın bu çalışmasına göre blok zinciri teknolojisi, henüz inovasyonu tetikleyici bölgededir. Gartner'a göre, blok zinciri teknolojisi 5-10 yıllık bir zaman zarfı içinde olgunlaşacak ve yaygın olarak kullanılmaya başlayacaktır (Şekil 7).



Şekil 7. Gartner Hype Cycle 2016 (Gartner Hype Cycle 2016)

Teknoloji alanındaki gelişmeleri yakın takip eden önemli diğer bir danışmanlık firması Accenture'a göre ise blok zinciri teknolojisinin yetenekleri ve potansiyeli 2015 yılında keşfedilmeye başlanmıştır. 2016 yılı ile birlikte lider bankalar, blok zinciri teknolojisine yatırım yapmaya ve teknolojiyi test

etmeye başlamışlardır. Accenture firması, 2018-2024 yılları arasında blok zinciri teknolojisinin yaygınlaşacağını ve 2025 yılı itibariyle olgunlaşarak finans sektörü başta olmak üzere birçok sektör için önemli bir teknolojik platform haline geleceğini öngörmektedir (Şekil 8).



Şekil 8. Blok Zinciri Adaptasyonu - Accenture (Blockchain Adaption - Accenture)

Diğer önemli bir danışmanlık firması Deloitte ise, tahminleme çalışmalarının bir adım ötesine geçerek, Blok Zinciri Laboratuvarı kurmuş ve ihtiyaç duyan firmalara blok zinciri alanında eğitim, strateji, danışmanlık ve çözüm sunmaya başlamıştır (Deloitte, 2018).

Danışmanlık şirketlerinin raporlarının yanı sıra, yeni bir teknolojinin gelişimini destekleyen en önemli konulardan biri de standardizasyon çalışmalarıdır. Blok zinciri teknolojisi için standardizasyon konusunda da önemli gelişmeler yaşanmaya başlamıştır. Teknoloji alanındaki standartlar konusunda öncülük eden iki önemli kuruluşun (IEEE ve ISO) blok zinciri konusunda standartlar geliştirmeye hazırladıklarına dair çeşitli haberler yayımlanmıştır (Rozenfeld, 2016), (Cohen, 2016).

Gerek danışmanlık şirketlerinin blok zinciri hakkındaki olumlu beklentileri, gerekse IEEE ve ISO gibi kuruluşların blok zinciri teknolojisinin standardizasyonu alanındaki hazırlıkları; blok zinciri teknolojisinin çok yakın bir süre içinde başta finans sektörü olmak üzere birçok farklı sektörde yoğun şekilde kullanılmaya başlanacağını habercisi olarak yorumlanabilir. Bu beklentilerle uyumlu şekilde, Microsoft ve IBM firmaları, blok zinciri teknolojiyi kullanmak isteyen firmalar için, bulut tabanlı blok zinciri altyapıları geliştirmiş ve firmaların kullanımına açmışlardır. Tüm bu gelişmeler, dünya çapındaki önemli kuruluşların blok zinciri teknolojiye önem verdiklerini, yaygınlaşmasını desteklediklerini, bu teknolojinin geleceğine dair olumlu beklentileri olduğunu ve bu yönde önemli yatırımlar yaptıklarını göstermektedir.

4.2. Açık Konular (Open Issues)

4.2.1. Güvenlik (Security)

Her ne kadar blok zinciri teknolojisi bir güvenlik makinası ("Trust Machine") olarak adlandırılrsa da özellikle Bitcoin takas merkezlerinde yaşanan önemli hırsızlık olayları toplumun bu teknolojiye duyduğu güveni sarsmaktadır. Amerika Yurt

Güvenlik Bölümü tarafından desteklenen bir çalışma, Bitcoin'in ortaya çıkışından bu yana yapılan tüm takas işlemlerinin önemli bir kısmının hacklendiğini ifade etmektedir ve bu çok yüksek bir orandır. Yine farklı araştırmalarda da benzer şekilde güvenlik zafiyetleri ve hırsızlık olayları raporlanmaktadır (Young, 2016).

Yaşanan bu hırsızlık olaylarının özünde, Bitcoin takas merkezlerinin çoklu-imza (multi-signature) güvenlik teknolojisine gereken hassasiyeti göstermemeleri ve soğuk cüzdanlar yerine sıcak cüzdanlarla entegrasyona ağırlık vermeleri olduğu gözlemlenmektedir. Ortaya çıkışından bu yana Bitcoin dünyasında yaşanan önemli hırsızlık olayları ve miktarları Tablo 2.'de özetlenmiştir (Newbium, 2016). Bunlara ek olarak, özellikle 2017 yılında başta ICO ve Tether odaklı farklı hırsızlık (hack) olayları da ortaya çıkmıştır (Duggan, 2017).

Tablo 3. Büyük Bitcoin Hırsızlıkları
(Biggest Bitcoin Hacks)

| Olay Adı | Kurum/Ürün Tipi | Hırsızlık Tutarı | Tarih (Ay/Yıl) |
|------------|-----------------|------------------|----------------|
| Mt.Gotx | Takas Merkezi | 500.000.000 \$ | 01/2014 |
| Bitfinex | Takas Merkezi | 70.000.000 \$ | 08/2016 |
| Linode | Web Hosting | 27.000.000 \$ | 03/2012 |
| Bitstamp | Takas Merkezi | 11.000.000 \$ | 01/2015 |
| Bitstamp | Takas Merkezi | 11.000.000 \$ | 01/2016 |
| Bter | Takas Merkezi | 4.000.000 \$ | 02/2015 |
| Picostocks | Takas Merkezi | 3.500.000 \$ | 11/2013 |
| Inputs.io | Cüzdan | 2.400.000 \$ | 11/2013 |
| Mintpal | Takas Merkezi | 2.100.000 \$ | 12/2014 |
| Kipcoin | Takas Merkezi | 1.700.000 \$ | 02/2015 |

Blok zinciri dünyasında güvenlik ve mahremiyet açısından önemli bir gelişme Sıfır Bilgi Kanıtı (Zero Proof Knowledge) teknolojisini kullanan kripto para birimlerinin ortaya çıkmasıdır. Sıfır Bilgi Kanıtı algoritması, özetle bildiğiniz bilgiyi bir başkasına, bilgiyi ona vermeden ispat etmek olarak tanımlanabilir. Sıfır Bilgi Kanıtı algoritması, erişilebilir blok zinciri verileri üzerinden işlem ve grafik analizi gibi yöntemlerle çeşitli çıkarımlar yapmanın önüne geçmede ve blok zinciri işlemlerinin mahremiyeti artırmada etkili bir algoritmadır. Zerocash (ZCash), Sıfır Bilgi Kanıtı teknolojisini kullanan öncü kripto para birimleri arasındadır (Sasson ve ark., 2014).

4.2.2. Değişiklik Yönetimi (Change Management)

Bitcoin, dağıtık uzlaşma prensipleri ışığında eşten-eşe çalışan bir teknik mimariye sahiptir. Sistemin güvenli ve dağıtık bir şekilde çalışabilmesi için bütün eşlerde aynı özellik ve algoritmaları çalıştıran açık kaynaklı yazılımlar çalışmalıdır. Çeşitli nedenlerle bu yazılımın özellikleri, parametreleri veya kullandığı algoritmalarda değişiklikler veya geliştirmeler yapılması gerekebilmektedir. Bu durumlarda yapılan değişikliklerin bazen yumuşak (soft-fork) bazen sert (hard-fork)

şekilde yapılabilir: Diğer bir ifadeyle yapılan değişiklik daha önce geçerli olan bir bloğu/işlemi geçersiz hale getirebilir (soft-fork) veya daha önce geçersiz olan bir bloğu/işlemi geçerli hale getirebilir (hard-fork).

Dağıtık uzlaşma prensipleriyle çalışan bir sistemde bu tür değişikliklerin yapılması; seçilen yöntem ve tercih edilen zamanlama açısından dağıtık sistemin eşleri arasında anlaşmazlıklara ve krizlere neden olabilmektedir (Wirdum, 2016). Bu krizler sisteme olan güveni azaltabilmekte ve blok zinciri teknolojisine olan desteğin de azalmasına neden olabilmektedir.

4.2.3. Regülasyonlar (Regulations)

Bitcoin ve blok zinciri teknolojisinin gelişimi açısından önemli diğer bir konu ise yasallık ve regülasyonlar konusudur. Her ne kadar blok zinciri üzerindeki tüm işlemler kamuya açık olsa da, başta Bitcoin olmak üzere kripto paraların kara para aklama ve terör finansmanı için kullanılabilmesine dair çekinceler mevcuttur. Kamu otoriteleri ve merkez bankaları tarafından da henüz yeterli desteği alamayan ve hatta bazı ülkelerde yasaklanan Bitcoin, bu nedenle olumsuz bir imaja sahiptir. Her ne kadar, blok zinciri teknolojisinden ziyade özel olarak kripto para kavramıyla ilişkili bir konu olsa da; bu durum da blok zinciri teknolojisinin geleceği açısından önemli risklerden birisidir (Acheson, 2018).

Blok zinciri teknolojisinin en önemli özelliklerinden birisi, yapılan işlemleri değiştirilemez şekilde zincire eklemesidir. Blok zinciri teknolojisinin güvenlik anlamında en önemli yapı taşlarından olan bu özellik, diğer taraftan hatalı yapılan işlemleri veya hırsızlık gibi olaylar sonucu ortaya çıkan işlemleri temizleyebilmek açısından ise bir dezavantaj olarak yorumlanabilir. İşlemlerin değiştirilemez özelliğinin, finans dünyasındaki bazı düzenleme ve yasalar ile çelişebileceği ve blok zinciri teknolojisinin yaygınlaşması açısından zorluklar ortaya çıkarabileceği ifade edilmektedir (Lumb, 2016).

4.2.3. Performans ve Ölçeklenebilirlik (Performance and Scalability)

Bitcoin, her ne kadar gittikçe artan bir kullanım oranına sahip olsa da, dünyadaki tüm finansal işlemlerin hacmi düşünüldüğünde henüz düşük diyebileceğimiz seviyelerde finansal hacime ve sınırlı işlem sayılarına sahip bir para birimidir. Bitcoin'in hızlı yaygınlaşmasının devam etmesi durumunda ise blok zinciri teknolojisinin mevcut haliyle artan ölçekteki ihtiyaçları karşılayabilecek bir teknik altyapı olup olmadığı önemli bir sorudur. Ölçeğin artması böylesine büyük dağıtık bir sistem üzerinde koşan algoritmaları saniyede binlerle ifade edebilecek işlem seviyeleri ile karşı karşıya bırakacaktır. Blok zinciri teknolojilerinin performansı ve ölçeklenebilirliği alanı akademisyenler tarafından öncelikli olarak araştırılmaya başlayan konular arasındadır (Croman ve ark. 2016), (Decker, 2015), (Sasson ve ark., 2014). Pratik hayatta da blok zincirini iyileştirmeye yönelik örnekler ortaya çıkmaya başlamıştır. Örneğin 2014'de duyurulan Ethereum, gerek blok eklenme süresinin Bitcoin'e göre çok daha kısa olması gerekse kullandığı betik dilinin daha karmaşık işlemleri yerine getirilebilecek şekilde esnek ve gelişkin olması gibi özelliklerle, son dönemde en çok öne çıkan blok zinciri yapılarının başında gelmektedir.

Performans ve ölçeklenebilirlik konusunda önemli gelişmelerden bir tanesi, 1 Ağustos 2017 yılında yapılan ve blok boyutunun arttırıldığı bir hard-fork sonrası Bitcoin Cash (BCC) isimli yeni bir kripto para biriminin ortaya çıkmasıdır. BCC temel olarak işlemleri hızlandırmak, işlem ücretleri düşürmek ve dünya çapında bir ödeme altyapısı sunabilmek hedefiyle hayata geçirilmiş bir kripto para birimidir (Bitcoin.com, 2017).

Son dönemde ödeme işlemlerin hızlandırılması ve sistemin ölçeklendirilmesi anlamında yeni bir gelişme de Lightning Network (Şimşek Ağ) isimli bir teknolojidir. Bu teknoloji hızlı ve ucuz işlem ücretleriyle işlem yapmak isteyen eşlerin, kendi aralarında ve blok zincirine ağına bağımlı ödeme kanalları açmaları ve işlemlerini bu ödeme kanalları üzerinde yapmaları esasına dayanır. Ödeme kanalları üzerinde işlem güvenliğini sağlamak için çoklu imzalamaya ve iki yönü ödeme yapılabilmesi gibi mekanizmalar da tasarlanmıştır. Blok zinciri ağına iş yükü yaratmadan tamamlanabilen bu işlemler, çeşitli durumlarda blok zincirine yansıtılarak tüm sistemdeki işlemlerin tutarlı olması sağlanır (Lightning Network, 2018).

5. TARTIŞMA (DISCUSSION)

Bitcoin ve kripto para kavramları, son dönemde ekonomi ve finans dünyası için en ilgi çekici konuların arasında yer almaktadır. Bitcoin'e hayat veren ve açık muhasebe sistemi kavramını hayatımıza sokan blok zinciri teknolojisi ise, gerek dağıtık mimarisi gerekse güvenlik özellikleriyle büyük mühendislik firmaları ve danışmanlık şirketlerinin ilgi odağı olmuştur. Blok zinciri teknolojisinin uygulama alanları sadece bankacılık sektörüyle sınırlı kalmamış, çeşitli kamusal uygulamalardan güvenlik uygulamalarına kadar birçok alana yayılmıştır. On yıl gibi kısa bir sürede birçok ürün ve hizmetin altyapısını oluşturması beklenen blok zinciri teknolojisi, mühendislik anlamında önemli gelişmelerin yaşanacağı, büyük dönüşümlerin gözlemleneceği bir alan olarak öne çıkmaktadır.

Tüm teknolojik alanlarda olduğu gibi, blok zinciri teknolojisi alanındaki gelişmeler de akademik çalışmalarla desteklenerek daha ileri seviyelere ulaşabilecektir. Dünyanın önde gelen üniversitelerinde bu alanda derslerin açılmaya başlandığını ve araştırma laboratuvarlarının kurulduğunu gözlemek mümkündür.

Uluslararası gelişmelere baktığımızda gerek mühendislik uygulamaları gerekse akademik çalışmalar anlamında, blok zinciri teknolojisi alanında önemli gelişmeler gözlemlenmektedir. Ülkemizde ise sınırlı sayıda olmakla birlikte olumlu gelişmeler yaşandığını söyleyebiliriz. Özellikle 2017 yılı itibarıyla çeşitli üniversitelerimizde gerçekleştirilen blok zinciri odaklı çalıştaylar ve yine TÜBİTAK bünyesinde kurulan Blokzincir Araştırma Laboratuvarı (Tübitak, 2018) bu alandaki önemli gelişmelerdir. Ayrıca TC Merkez Bankası öncülüğünde blok zinciri alanında çalışma gruplarının oluşturulması ve blok zinciri alanında yapılan bazı konferanslara kamu kurumlarından çeşitli yetkililerin katılması da blok zinciri teknolojisinin regülasyon boyutuyla ilgili önemli gelişmelerdir. Yine ülkemizde, blok zinciri teknolojisini kullanarak yeni iş çözümleri üretmeye çalışan çeşitli teknolojik girişimlerin (kimlic.io ve Colendi vs.) de olduğu bilinmektedir.

Blok zinciri teknolojisi, yapay zekâ ve nesnelerin interneti teknolojileri gibi çok büyük değişimlere yol açabilecek teknolojiler arasında gösterilmektedir. Henüz olgunlaşma

dönemindeki bu teknolojinin ülkemizde de yakın olarak takip edilmesi oldukça önemli bir gelişmedir. Ülkemizde blok zinciri teknolojisi alanında yapılan gerek akademik gerek uygulama gerekse regülatif çalışmaların sonuç odaklı olarak yürütülmesi, hızlı ve kaliteli şekilde çıktılar üretebilmesi hedeflenmelidir. Bu alandaki çalışmaların teşvik edilerek yaygınlaştırılması, dünyada yaşanan önemli bir teknolojik dönüşüm sürecinde ülkemizin hak ettiği yeri almasını sağlayacaktır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Nakamoto, S. 2008, Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System, <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf> .
- Wikipedia, 2018a, Satoshi Nakamoto, Wikimedia Foundation, https://en.wikipedia.org/wiki/Satoshi_Nakamoto .
- Blockchain Luxembourg S.A., 2018, Blockchain Market Capitalization, <https://blockchain.info/charts/market-cap> .
- Wikipedia, 2018b, Craig Steven Wright, Wikimedia Foundation, https://en.wikipedia.org/wiki/Craig_Steven_Wright .
- Kılınç, H. 2014, Fair and secure multi-two party computation and multi party fair exchange, Koç Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Çay, Ş. 2016, Elektronik ödeme sistemlerinin finansal piyasalara etkisi, Bahçeşehir Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Tüfek, B. Ü. 2017, Elektronik ödeme araçları ve geleceğin yaklaşımı kripto para, Bahçeşehir Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Yakupoğlu, C. 2016, A comparative study of bitcoin and alternative cryptocurrencies, Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- Göksaran, E. C. 2017, An analysis of neoliberal sociality in the particular case of bitcoin, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- Balçısoy, E. 2017, Yüksek performanslı bitcoin madenciliği için SHA256 özet algoritmasının eniyilenmesi, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- Karaköse, İ. S. 2017, Elektronik ödemelerde blok zinciri ve sistematiği ve uygulamaları, Erciyes Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kayseri.
- Bayram, O. 2017, Dış ticarete yeni ödeme şekli banka ödeme yükümlülüğü BPO-etkinlik analizi, İstanbul Ticaret Üniversitesi, Dış Ticaret Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul.
- Sönmez, A. 2014, Sanal Para Bitcoin, The Turkish Online Journal of Design, Art and Communication, 4(3), 1-14.

- Ateş, L. 2014, Bitcoin: Sanal Para ve Vergileme, Vergi Sorunları Dergisi, 37(308), 131-141.
- Bozdoğanoglu, B. 2014, Sanal Para Birimi Bitcoin'in Kayıtdışı Ekonomi ile Karapara Faaliyetlerine Etkisi ve Vergilendirilmesi, Legal Mali Hukuk Dergisi, 10(111), 3-18.
- Yüksel, B., Armağan, E. 2015 Elektronik Para, Sanal Para, Bitcoin ve Linden Doları'na Hukuki Bir Bakış, İstanbul Üniversitesi Hukuk Fakültesi Mecmuası, 74(2), 173-220.
- Koçoğlu, Ş., Çevik, Y. E., Tanrıöven, C. 2016, Bitcoin Piyasalarının Etkinliği, Likitidesi ve Oynaklığı, Journal of Business Research Turk-Türk İşletme Araştırmaları Dergisi, 8(2), 77-97.
- Taşdöken, S. 2016, Dijital Para Bitcoin'in KDV'si, Vergi Dünyaları Dergisi, 0(417), 118-121.
- Önal, A. 2016, Banka Vasıtalı Ödeme Araçlarını Dışlayan Bir Sistem Olarak Kripto Sanal Para Bitcoin ve Hukuki Niteliği, Banka ve Finans Hukuku Dergisi, 5(17), 165-195.
- Kızıltepe, F., Öz, H. 2016, Bitcoin Nedir / Ne Değildir, Vergi Sorunları Dergisi, 39(331), 90-95.
- Plassaras, A. N., 2017, Dijital Para Birimlerini Düzenleme: Bitcoin'in IMF ile Birlikte Değerlendirilmesi, (Çev: Gökçen, H. B.), Vergi Dünyası, 0(428), 120-137.
- Cormen, T. H., Leiserson, J. E., Rivest, R. L., Stein, C. 2009, Introduction to Algorithms, 3rd Edition, MIT Press, A.B.D.
- Narayanan, A., Bonneau, J., Felten, E., Miller, A., Goldfeder, S. 2016 Bitcoin and Cryptocurrency Technologies: A Comprehensive Introduction, Princeton University, New Jersey.
- Price, R. 2015, The 21 Companies That Control Bitcoin, Business Insider UK, <http://uk.businessinsider.com/bitcoin-pools-miners-ranked-2015-7>
- Usta, A., Doğanekin, S. 2017, Blockchain 101, MediaCat Kitapları, İstanbul.
- Accenture, 2016, Accenture Debuts Prototype of 'Editable' Blockchain for Enterprise and Permissioned Systems, <https://newsroom.accenture.com/news/accenture-debuts-prototype-of-editable-blockchain-for-enterprise-and-permissioned-systems.htm> .
- Wikipedia, 2018c, List of Cryptocurrencies, Wikimedia Foundation, https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_cryptocurrencies .
- CoinMarketCap, 2018, All Cryptocurrencies <https://coinmarketcap.com/all/views/all> .
- Özgün Law, 2017, ICO (Initial Coin Offering) Nedir? <http://www.ozgunlaw.com/tr-TR/HDetay/ico--initial-coin-offering-nedir--255.html> .
- CoinSchedule Limited, 2018, Cryptocurrency ICO Stats 2018, <http://www.coinschedule.com/stats.html> .
- Mougaray, W. 2016, 4 Criteria For Evaluating Blockchain ICOs, CoinDesk, <https://www.coindesk.com/evaluate-blockchain-initial-cryptocurrency-offering/> .
- Deloitte, 2015, Blockchain Distrupting the Financial Services Industry https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/ie/Documents/FinancialServices/IE_Cons_Blockchain_1015.pdf .
- Cognizant, 2016, Blockchain in Banking : A Measured Approach, <https://www.cognizant.com/whitepapers/Blockchain-in-Banking-A-Measured-Approach-codex1809.pdf> .
- Everis Next, 2016, 17 Blockchain Disruptive Use Cases, <https://everisnext.com/2016/05/31/17-blockchain-disruptive-use-cases/> .
- Evans, C. W. 2015, Bitcoin in Islamic Banking and Finance, *Journal of Islamic Banking and Finance*, 3(1), 1-11.
- Kar, I. 2016, GENERAL BLOCKCHAIN, The latest customers for the technology behind bitcoin are NATO and the US military, Quartz, <http://qz.com/681580/the-latest-customers-for-the-technology-behind-bitcoin-are-nato-and-the-us-military/> .
- Tapscott, D., Tapscott, A. 2016, Blockchain Revolution: How the Technology Behind Bitcoin is Changing Money, Business and the World, Portfolio/Penguin, A.B.D.
- Short, T. 2016, Blockchain: The Comprehensive Guide to Mastering the Hidden Economy, Amazon CreateSpace Independent Publishing Platform, A.B.D.
- Ramsey, S. 2016, **Blockchain: Quick Start Guide to Understanding Blockchain, the Biggest Revolution in Financial Technology and Beyond Since The Internet**, Amazon Digital Services, A.B.D., 2016.
- Huckle, S, Bhattacharya, R, White, M, Beloff, N. 2016, Internet of Things, Blockchain and Shared Economy Applications, *Procedia Computer Science*, 98(2016), 461-466.
- Popov S. 2017, The Tangle, http://iotatoken.com/IOTA_Whitepaper.pdf .
- Bauerle, N. 2018, Why Use a Blockchain?, CoinDesk, <https://www.coindesk.com/information/why-use-a-blockchain/>.

- Wüst, K., Gervais, A. 2017, Do you need a blockchain?, IACR Cryptology Print Paper Archive, 375.
- Deloitte, 2018, Deloitte Blockchain Lab, <https://www2.deloitte.com/ie/en/pages/technology/topics/blockchain-lab.html>
- Rozenfeld, M. 2016, Getting Linked to the Blockchain, <http://theinstitute.ieee.org/technology-topics/computing/getting-linked-to-the-blockchain> .
- Cohen, B. 2016, ISO May Propose Certified Standards for Blockchains and Distributed Ledgers, Bitcoin Magazine, <https://bitcoinmagazine.com/articles/iso-may-propose-certified-standards-for-blockchains-and-distributed-ledgers-1464189647> .
- Young, J. 2016, Why 1/3 of all bitcoin exchanges since 2009 were hacked, Coinfox, <http://www.coinfox.info/news/6323-why-1-3-of-all-bitcoin-exchanges-since-2009-were-hacked> .
- Newbium, 2016, The 10 Biggest Bitcoin Hacks In History, <https://coins.newbium.com/post/655-the-10-biggest-bitcoin-hacks-in-history> .
- Duggan, W. 2017, 12 Biggest Cryptocurrency Hacks In History, Benzinga, <https://www.benzinga.com/fintech/17/11/10824764/12-biggest-cryptocurrency-hacks-in-history>.
- Sasson, E. B., Chiesa, A., Garman, C., Green, M., Miers, I., Tromer, E., Virza, M. 2014, Zerocash: Decentralized Anonymous Payments from Bitcoin, *IEEE Symposium on Security and Privacy*, San Jose, CA, USA
- Wirdum, A. V. 2016, Ethereum's DAO Forking Crisis: The Bitcoin Perspective, Bitcoin Magazine, <https://bitcoinmagazine.com/articles/ethereum-s-dao-forking-crisis-the-bitcoin-perspective-1467404395> .
- Acheson, N. 2018, Is Bitcoin Legal?, Coindesk, <http://www.coindesk.com/information/is-bitcoin-legal/> .
- Lumb, R. 2016, Downside of Bitcoin: A Ledger That Can't Be Corrected, The New York Times, <http://mobile.nytimes.com/2016/09/10/business/dealbook/downtside-of-virtual-currencies-a-ledger-that-cant-be-corrected.html> .
- Croman, K., Decker, C., Eyal, I., Gencer, A. E., Juels, A., Kosba, A., Miller, A., Saxena, P., Shi, E., Sirer, E. G., Song, D., Wattenhofer, R. 2016, On scaling decentralized blockchains, *Financial Cryptography and Data Security 2016*, <https://fc16.ifca.ai/bitcoin/papers/CDE+16.pdf> .
- Decker, C., Wattenhofer, R. 2015, A fast and scalable payment network with bitcoin duplex micropayment channels, *Stabilization, Safety, and Security of Distributed Systems*, 9212, 3-18.
- Bitcoin.com, 2017, What Is Bitcoin Cash? <https://www.bitcoin.com/info/what-is-bitcoin-cash> .
- Lightning Network, 2018, Lightning Network: Scalable, Instant Bitcoin/Blockchain Transactions <https://lightning.network/>.
- Tübitak, 2018, Blokzincir Araştırma Laboratuvarı, Tübitak BİLGEM, <http://blokzincir.bilgem.tubitak.gov.tr/> .



Yemekhane için Yapay Zekâ Teknikleri Kullanımı ile Günlük Talep Tahmini

Fatih KILIÇ^{1*}, Murat Reis AKKAYA², Nuran MEMİLİ³

¹Adana Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği, Adana, Türkiye

²Adana Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği, Adana, Türkiye

³Adana Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Rektörlük, Adana, Türkiye

fkilic@adanabtu.edu.tr, mraakkaya@adanabtu.edu.tr, nmemili@adanabtu.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 22 Şubat 2018 ve Kabul Tarihi 2 Ağustos 2018)

(DOI: 10.31590/ejosat.397549)

Öz

Günümüzde birçok kurum personel yemek hizmetlerini dış alım metoduyla profesyonel yemek şirketlerden temin etmektedir. Bu hizmet karşılığı yemek şirketlerine talep ettikleri yemek miktarı kadar ücret ödemektedirler. Yemeklerin cinsine, çıktığı güne, şirket çalışanlarının davranışlarına ve çalışan sayısına göre günlük tüketim miktarı değişmesine rağmen çoğu kurum kişisel tahminlerle karar vermekte ve israf olmaktadır. Bu çalışmada bir üniversite yemekhane sisteminden alınan veriler WEKA açık kaynak kodlu yazılımı vasıtasıyla Yapay Sinir Ağı, Destek Vektör Makinası ve Regresyon analizi metotları kullanımı ile günlük talep miktarının tahmini yapılmış ve ilgili metotların performans karşılaştırılması sunulmuştur. Yapılan çalışma ile üniversite gibi farklı davranışlara sahip tüketici tipine göre farklı metotların baskın olduğu ve seçilecek metot ile atık yemek miktarının minimize edilebileceği önerilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yapay Sinir Ağları, Destek Vektör Makinası, Talep Tahmini, Regresyon Analizi

Daily Demand Forecast Using Artificial Intelligence Techniques for Refectory

Abstract

Nowadays many organizations outsource food services from a professional catering company. They pay the bill for catering services as the amount their food demand. Despite changing daily consumption amount according to types of the food, day, behaviors of company employees and a number of employees, a decision which is about the amount of food demand is made by the personal judgment in the most organization and thus serviced foods are run to waste. In this study, the data of a university's refectory is obtained and artificial neural networks, support vector machine and linear regression methods in WEKA tool are used to predict the amount of daily food consumption. Also, the performance of the prediction methods is presented in this study. This paper proposes that different methods are dominant according to the type of consumer with different behaviors such as the university has a student, lecturer, and another staff and selected method by artificial intelligence techniques provides that the amount of waste food can be minimized.

Keywords: Artificial Neural Networks, Support Vector Machine, Demand Forecast, Regression analysis

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Günümüzde küreselleşme, sanayileşme ve teknolojik gelişmeler gibi birçok faktöre bağlı olarak insanların yeme alışkanlıkları ve tercihleri önemli değişikliklere uğramıştır. Çeşitli nedenlerle ev dışında toplu olarak yenilen öğünler alışlagelen

mutfak anlayışının değişmesine neden olmuştur. Bu da toplu tüketilen yemeklerin hazırlanması ve dağıtımını yapan hazır yemek endüstrisinin (Catering) gelişmesini sağlamıştır [1]. Demografik yapı, toplu beslenme işletmelerinin artması, insanların yeme-içmeye ayırdıkları zamanın azalması, insanların gelirlerinin artışı, yemek menülerinin gelişmesi, ev dışında yeme-içmenin yaygınlaşması ve turizm sektörünün gelişmesi hazır

yemek veya toplu beslenme endüstrisinin gelişmesinin temel nedenlerindedir [1].

Gıdalar ilk tarımsal üretimden son tüketimine kadar tüm tedarik zinciri boyunca israf edilmektedir [2]. Dünyada insan tüketimi için üretilen gıdaların yıllık olarak yaklaşık üçte birinin (yaklaşık 1.3 milyar ton) kayıp olduğu bildirilmektedir [3]. Orta ve yüksek gelirli ülkelerde gıdalar insan tüketimi için uygun olsa bile israf edilerek atılmakta ve önemli miktarda gıda israf edilmektedir [4]. Genel olarak gelişmekte olan ve sanayileşmiş ülkelerde kişi başına düşen gıda israfı daha fazladır. Sahra altı Afrika, Güney Afrika ve Güneydoğu Asya'da kişi başına düşen israf miktarı yalnızca 6-11 kg/yıl iken, Avrupa ve Kuzey Amerika'da tüketiciler tarafından kişi başına düşen gıda israfının 95-115 kg/yıl olduğu bildirilmektedir [3].

Türkiye'de gıda israfının boyutu ve gıda zincirinde yaşanan kayıplar tam olarak bilinmemektedir. Türkiye'de gıda israfına yönelik çalışmalar daha çok son yıllarda ürün bazında yapılmıştır [5]. Pekcan ve ark., (2006)'nın hane halkı düzeyinde yaptığı çalışma temel bir çalışma olarak kabul edilmektedir. Bu çalışmada en fazla israfın satın alma ve hazırlık aşamasında yaşandığı, pişirme-sunum süreçlerinde en yüksek israf edilen ürünlerin taze meyve ve sebze ile tabaktan çöpe kadarki süreçte en fazla israf edilen ürünün ekmeğ olduğunu bildirmişlerdir [6]. Ekmeğin en fazla israf edilen ürün olması ve bunun gerek kamu gerekse de toplumsal olarak fark edilebilir olması bu ürüne olan dikkati de artırmıştır. Toprak Mahsulleri Ofisinin (TMO) "Ekmeğini İsfraf Etme" kampanyası dâhilinde yaptığı araştırmada Türkiye'de her yıl 6 milyon ekmeğin israf edildiği belirtilmektedir [7].

Bu kapsamda gıda israfını en aza indirecek sistemlere ihtiyaç vardır. Bilgi teknolojilerinin gelişimi ile her alanda veri toplama oldukça kolay bir hale gelmiştir. Bu toplanan verilerden yapılan analizler ile israfı azaltan ve memnuniyeti artıran kararlar almak mümkündür.

Üniversiteler, hastaneler ve bünyesinde hizmet alan veya veren kişilere toplu yemek ihtiyacını karşılamakla yükümlü kuruluşlar yemekhanelerde kendi hazırladıkları veya hizmet alımı ile aldıkları yemekleri ücretli veya ücretsiz olarak dağıtmaktadırlar. Çoğunlukla yemek tüketim miktarlarını önceden tahmin etmeleri çok güçtür. Bu sebeple her ne kadar rezervasyon tabanlı çalışan sistemler olsa da menüye göre kişiler yemek ihtiyacını farklı yerlerden karşılayabilmektedir.

2011 yılında Bozkır ve Sezer karar ağacı algoritmalarını kullanarak menüye göre yemek talep miktarı tahmini yapan bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada Hacettepe üniversitesi yemekhanesi verilerini kullanmış ve çeşitli tüketici tiplerine göre tüketim talep tahmini elde etmiştir. Yaptıkları çalışmada 3 farklı karar ağacı olan CART (Classification And Regression Trees for Machine Learning), CHAID (Chi-square Automatic Interaction Detector) ve Microsoft Decision Trees algoritmaları kullanılmıştır [8]. Bozkır ve Sezer 2013 yılında konu ile ilgili bir yazılım aracı olan "ADEM: An Online Decision Tree Based Menu Demand Prediction Tool for Food Courts" adlı yazılımı geliştirerek başka bir çalışma sunmuşlardır [9].

Bir diğer çalışma da Pamukkale üniversitesi yemekhane verileri kullanılarak 2015 yılında KILIÇ tarafından yüksek lisans

tezi olarak yemek tüketim miktarları tahminini doğrusal regresyon ve yapay sinir ağları teknikleri ile yapmışlardır [10].

Yapılan bu çalışmada bir Üniversite'nin 01.06.2016 – 31.05.2017 tarihleri arasındaki bir yıllık yemek tüketim verileri ve menüleri alınmış ve işlenebilir hale getirilmiştir. Üniversitede yemekhane hizmeti Sağlık Kültür ve Spor Daire Başkanlığı tarafından yapılmaktadır. Bu hizmet başta öğrenciler olmak üzere akademik, idari ve diğer personellere verilmektedir. Ayrıca çalışma yapılan üniversitede 3 adet yerleşke bulunmakta ve bu 3 yerleşke için tahminler yapılması gerekmektedir. Yemek tüketim tahminini yapmak için Yapay Sinir ağları, Destek Vektör Makineleri ve Lineer Regresyon analizi yöntemleri kullanılmış olup, açık kaynak kodlu WEKA yazılım aracından faydalanılmıştır. Ayrıca bu çalışmada ilgili metotlardan elde edilen sonuçların performans karşılaştırması sunulmuştur.

2. VERİLERİN ELDE EDİLMESİ (EXTRACTION OF DATA)

2.1. Üniversitenin Genel Yapısı ve İstatistikî Bilgiler (General Structure of the University and Statistical information)

Üniversite yemekhane tüketim bilgileri Yemekhane Otomasyonu (YO) tarafından kayıt altına alınmaktadır. Mevcut durumda 3 adet yerleşke olup üç yerleşkede de yemekhane hizmeti verilmektedir.

Üniversitede yemek hizmetlerinden faydalanan 5 adet tüketici tipi vardır. Bunlar İdari, Akademik, Öğrenci, Diğer Personel ve Misafir tipleridir. Bu tüketici tiplerine göre ücret bilgileri değişmektedir.

Yemekhanelerden faydalanan öğrenci sayıları: Üniversiteye devam eden 930 adet toplam lisans öğrencisi mevcuttur. Bunların yaklaşık 360'ı 3 no'lu yerleşkede yer alan binada hazırlık ve mütercim tercümanlık eğitimi almaktadır. Yaklaşık 412 adet öğrenci 1 no'lu yerleşkede olup, yaklaşık 158 adet öğrenci de 2 no'lu yerleşkede eğitim görmektedir. Bu öğrenciler kendi yerleşkesindeki yemekhanelerden faydalanmaktadır.

Yemekhanelerden faydalanan personel sayıları: Yaklaşık 280 adet akademik personel, 206 adet idari personel, 63 adet temizlik ve 45 adet güvenlik personeli yemek hizmetinden faydalanmaktadır.

Üniversite 2012 yılında kurulduğundan dolayı henüz doymuş personel ve öğrenci sayısına ulaşmamıştır. Bu sebeple diğer üniversitelerden farklı olarak israfın oluşmaması için öğrenci ve personellere tanımlı olan kartlara ücret karşılığı tüketim günleri ön ödemeli olarak yüklenmektedir. Ön yükleme yaptırmayan personel veya öğrenciler yemek istediğinde misafir olarak değerlendirilip günlük tüketim fişi almaktadır. Bu günlük tüketim fişi de sistemde kayıt altına alınmaktadır.

YO'dan 01.06.2016 ile 31.05.2017 tarihleri arasındaki yemek tüketim bilgileri alınmıştır. Bu tarihler arasındaki genel istatistikî bilgiler Tablo 1'de verilmiştir. Genel tüketim bilgilerinde ilgili tarihler arasında yaklaşık 45.080 adet yemek tüketilmiş, en fazla yemek yenen günde 349 adet yemek tüketilmiştir.

Tablo 1. Yaklaşık Genel Tüketici Bilgileri
(Approximate General Consumer Information)

| Parametre | Değer |
|--------------------------------|---------------|
| Toplam Tüketim | 45.080 |
| En Çok Yemek Yenen Gün | 21.02.2017 |
| En Çok Yemek Yenen Adet / Gün | 349 |
| En Az Yemek Yenen Gün | 07-06.06.2016 |
| En Az Yemek Yenen Adet / Gün | 42 |
| Ortalama Yemek Tüketim Miktarı | 187 |
| Toplam Kayıt Sayısı | 241 |

En az tüketim miktarı 42 adet (40'dan daha az olan yemek yeme adetleri elemine edilmiştir sistemde sapmalara neden olmaktadır, toplamda 247 günlük yemek kayıtlarından sadece 6 günü göz ardı edilmiştir, bu günlerde toplam yemek tüketim miktarı 167'dir), ortalama tüketim ise yaklaşık 187 adettir.

2.2. Tüketici Davranışları ve Verilerin İşlenmesi (Consumer Behaviors and Data Processing)

Yemek tüketim miktarını etkileyen kişisel ve çevresel faktörler bulunmaktadır. Bölgesel olarak yemek tüketim tercihleri büyük oranda değişmektedir. Örneğin Japonya'da büyük oranda balık tüketimi mevcutken [11], ülkemizde balık tüketimi Japonya'daki kadar yüksek değildir. Adana ve çevresinde kırmızı et ve acılı yemek çeşitleri fazla tüketilirken, Karadeniz bölgesinde balık ve sebze yemek tüketimi Adana bölgesinden farklılık göstermektedir. Bu sebeple sunulan yemek çeşitliliği bir işletmede yemeğe olan talebi doğrudan etkilemektedir. Bir diğer konu ise ülkemizde Ramazan aylarında öğlen yemeği tüketimi büyük oranda diğer aylara göre değişkenlik göstermektedir. Ayrıca bir eğitim kurumu üzerinde çalışma yaptığımız için tatil, sınav dönemleri yemek tüketimini etkilemektedir.

Bu konuya benzer bir çalışma olan Pamukkale üniversitesi için KILIÇ tarafından yapılan [10]'nolu çalışmada kıstas olarak; (1) Ana Yemek, (2) Yan Yemek, (3) Çorba, (4) Tatlı Salata Meyve, (5) Dönem, (6) Ramazan ayı, (7) Maaş Dönemi, (8) Mevsim, (9) Çeşit, (10) Toplam Personel, (11) İzinli Personel olarak belirlenmiştir. Diğer bir çalışmayı yapan Bozkır ve Sezer yaptıkları çalışmada kıstasları: (1) Ayın Gün 1-31, (2) Ay, (3) Haftanın Günü Pazartesi-Pazar, (4) Tatil, (5) Kalori, (6) Yemek1, (7) Yemek2, (8) Yemek3, (9) Yemek4 olarak belirlemiştir [8].

Yapılan bu çalışmada yemek tüketim miktarını etkileyen kıstaslar; (1) Ana Yemek, (2) Yan Yemek, (3) Çorba, (4) Ramazan, (5) Dönem Tatili, (6) Sınav Tatili, (7) Gün, (8) Akademik Personel Sayısı, (9) İdari Personel Sayısı, (10) Yerleşke 1 Öğrenci Sayısı, (11) Yerleşke 2 Öğrenci Sayısı, (12) Yerleşke 3 Öğrenci Sayısı, (13) Diğer Personel Sayısı, (14) Sınav Haftası olarak belirlenmiştir.

Tablo 2 de ocak ayının ilk haftası verilen yemek listesi görülmektedir. Öğle yemeklerinde 4 ayrı çeşit yemek sunulmaktadır. Bunlar ana yemek, yan yemek, çorba ve içecek (salata, Turşu vb.).

Tablo 2. Ocak Ayı 1. Hafta Yemek Listesi
(January 1st Week Menu List)

| Pzt | Sal | Çar | Per | Cum |
|--------|--------|--------|--------|--------|
| 2 Ocak | 3 Ocak | 4 Ocak | 5 Ocak | 6 Ocak |

| Kuru Fasulye | Yayla Çorba | Mahluta Çorba | Kremalı Sebze Çorba | Mercimek Çorba |
|---------------|------------------|---------------|---------------------|----------------------------|
| Pirinç Pilavı | Karışık Kızartma | Fırın But | Dizi Köfte | Fırında Zeytinyağlı Pirasa |
| Halka Tatlı | Spagetti Makarna | Pirinç Pilavı | Bulgur Pilavı | Peynirli Makarna |
| Yoğurt | Şalgam | Ayran | Ayran | Karışık Turşu |

Yemek listeleri incelendiğinde birçok yemeğin farklı isimde fakat benzer olduğu görülmektedir. Yemek isimleri farklı olduğu için uzman sistemlerin performansını düşürmektedir. Bu sebeple yapılan çalışmada benzer gruptaki yemekler gruplanarak yemek tüketim tahmininin daha doğru yapılmasına olanak sağlanmıştır. Bu kapsamda ana yemeklerin grup bilgilerinden bazıları Tablo 3'de listelenmiştir. Aynı şekilde yan yemek ve çorbalar da gruplanmıştır. Bu gruplama sonucunda 111 adet farklı isimdeki ana yemek 41'e, 27 adet çorba 13'e, 43 adet yan yemek 9 adet olarak gruplanmıştır.

Tablo 3. Ana Yemek Grupları
(Main Dish Groups)

| Ana Yemek Grup Adı | Gruplanan Yemekler |
|-------------------------|--|
| Balık | Balık, Balık Kızartma |
| Bamya | Bamya |
| Beykoz Köfte | Beykoz Köfte |
| Bezelye | Bezelye, Etlı Bezelye, Kıymalı Bezelye |
| Dolma | Biber Dolma, Dolma, Etlı Biber Dolma, Karışık Dolma, Karışık Kuru Dolma, Kıymalı Dolma, Kuru Dolma |
| Et Sote | Et Sote |
| Fırında Patatesli Köfte | Fırında Patatesli Köfte |
| Güveç | Etlı Güveç, Güveç, Patlıcan Güveç |
| Ispanak | Ispanak Kavurma, Yumurtalı Ispanak |
| ... | ... |
| ... | ... |

3. METERYAL VE METOT (MATERIAL AND METHOD)

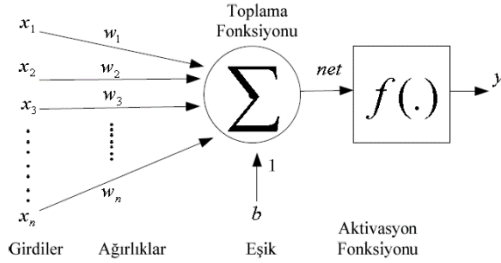
Bu çalışmada yemek tüketim miktarını tahmin etmek için ileri beslemeli çok katmanlı yapay sinir ağları, destek vektör makineleri ve lineer regresyon analizi kullanılmıştır. Bu metotlar için veri madenciliği amacıyla geliştirilmiş açık kaynak kodlu WEKA yazılım aracından faydalanılmıştır.

3.1. Yapay Sinir Ağları (Artificial Neural Networks)

Yapay sinir ağları tahmin ve deneysel öğrenme problemlerinde sıklıkla kullanılmaktadır. Yapay sinir ağları supervised learning ve unsupervised learning olarak modellenebilirler. Bir sinir ağı giriş ve çıkışlar arası ilişkileri yakalayan ve gösteren güçlü bir modelleme aracıdır [12]. Bir sinir ağı insan beyni ve sinir hücrelerinden esinlenilmiştir. En büyük

özelliğinden biri öğrenme yoluyla bilgi edinmesi ve bu bilgileri sinir hücrelerini birbirine bağlayan bağlantılar üzerinde ağırlıklar kaydetmesidir [12], [13]. Böylece bir yapay sinir ağı daha önce karşılaşmadığı durumlarda bile sonuç üretmeyi başarabilir.

Basit bir yapay sinir ağı Şekil 1’deki gibi modellenir. Bu sinir ağı girdiler, ağırlıklar, toplam fonksiyonu, birleşme fonksiyonu, aktivasyon fonksiyonu ve çıkıştan oluşmaktadır [14], [15].

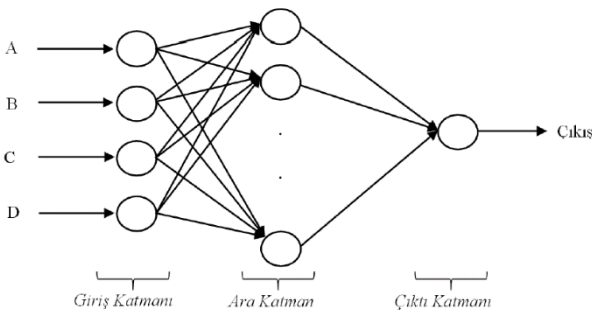


Şekil 1. Yapay Sinir Hücresi [14]
(Artificial Neuron)

Girdiler sonucumuzu etkileyen veya etkileşim olma olasılığı olan kıstaslardır. Ağırlıklar ise girdilerin çıktı üzerindeki etkileme oranları olarak tanımlayabiliriz. Bu ağırlık değerleri öğrenme algoritmaları tarafından çıktuları bilinen girdi değerleri kullanılarak hesaplanabilir. Toplama fonksiyonu için (1) nolu eşitlik kullanılır. Aktivasyon fonksiyonu (1)’nolu eşitlikten elde edilen sonucu kullanarak seri setine göre sonuç elde eder. Bu çalışmada Sigmoid fonksiyonu tercih edilmiştir.

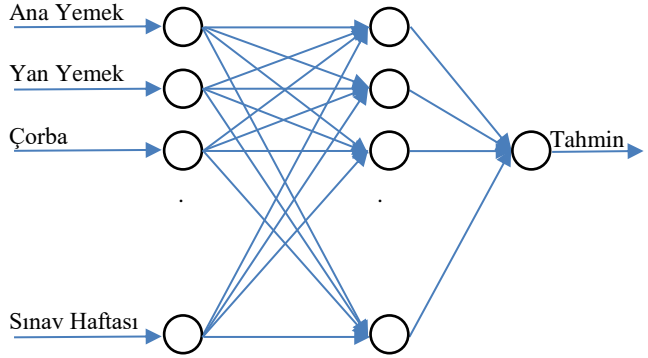
$$net = \sum_{i=1}^n (w_i * x_i) + b \quad (1)$$

Yapay sinir ağları birçok farklı şekilde modellenebilir. Bu çalışmada 3 katmanlı ileri beslemeli yapay sinir ağı modeli kullanılmıştır. Bu yapay sinir ağının genel yapısı şekil 2’de gösterilmektedir [16]. Bu sinir ağı giriş, gizli katman ve çıkış katmanından oluşmaktadır [15]. Yapay sinir ağlarından bir diğer konu kullanılan öğrenme yöntemidir. Çalışmada en çok bilinen öğrenme metodu olan geri yayılım algoritması kullanılmıştır. Geri yayılım algoritması özetle geriye doğru hesaplanan çıkış değer ile gerçekte olması gereken çıkış değerlerinin arasındaki hataların geriye doğru düzeltilmesi için snap ağırlıklarının tekrardan hesaplanmasını sağlar [12].



Şekil 2. Yapay Sinir Ağı Modeli [16]
(The Artificial Neural Network Model)

Şekil 3’de günlük yemek tahmini için 14 adet giriş katmanında, 10 adet gizli katmanda ve 1 adet çıkış katmanında nöron bulunan bir yapay sinir ağı görülmektedir.



Şekil 3. Günlük Yemek Tahmini Yapay Sinir Ağı Modeli
(Daily Demand Forecast Artificial Neural Network Model)

3.2. Lineer Regresyon Analizi (Linear Regression Analysis)

Lineer regresyon analizi bağımlı bir değişken ile bir yada daha fazla bağımsız değişken arasında bulunan ilişkileri modelleme metodudur [17]. Yemek tahmininde diğer kullanılan metotlar ile karşılaştırmak için Lineer regresyon modeli kullanılmış olup bu çalışmada elde edilen sonuçlar verilmiştir.

3.3. Destek Vektör Makineleri (Support Vector Machine)

Destek Vektör Makinesi (DVM) modelleri sınıflandırma ve regresyon problemlerinin çözümünde kullanılmaktadır. Vladimir Vapnik ve arkadaşları tarafından DVM 1992 yılında önerilmiş olup günümüzdeki şeklini 1995 yılında Corinna Cortes ve Vladimir Vapnik yapmıştır [18], [19], [20]. DVM sınırlı sayıda öğrenme örüntüsü üzerinden iyi bir genelleme düzeyi elde etmek amacıyla yapısal risk minimizasyonu (YRM) tümevarım prensibini uygulayan bir öğrenme makinesidir [21].

3.4. WEKA (WEKA)

Veri madenciliği konusunda güçlü bir araç olan WEKA açık kaynak kodlu bir program olup, WEKA adını Waikato Environment for Knowledge Analysis cümlesinde ki her bir kelimenin baş harflerinden almıştır [22]. Weka içerisinde MultiLayerPerceptron, LinearRegression ve SMOReg modülleri kullanımı ile hazırlanan yemek datasından günlük tüketim miktarı tahmin değerleri elde edilmiştir.

4. BULGULAR (FINDINGS)

Yapılan çalışmada Sağlık Kültür ve Spor Daire Başkanlığının işlettiği yemekhane sisteminden 241 adet günlük tüketim verileri alınmış analiz için veriler işlenmiştir. Veriler iki farklı şekilde test ve eğitim verisi olarak gruplandırılıp her bir model için ayrı ayrı denlenmiştir. Birinci model %30 test %70 Eğitim verisi olarak sınıflanmış, diğer öğrenme ve test verisi seçimi için WEKA’nın Cross-Validation folds 10 metodu seçilmiştir. Tablo 4 ve Tablo 5’de diğer parametreler ve model adları verilerek tahmin modelleri geliştirilmiştir.

Tablo 4. ANN için giriş parametreleri
(Input Parameters for ANN)

| Model Adı | Test/Eğitim Veri Seçimi | Learning Rate | Transfer Fonksiyonu | Momentum | Gizli Katmandaki Nöron Sayısı | Öğrenme Döngü Sayısı |
|-----------|-------------------------|---------------|---------------------|----------|-------------------------------|----------------------|
| ANN11 | 30% / 70% | 0.01 | Sigmoid | 0.1 | 18 | 10.000 |
| ANN21 | 30% / 70% | 0.01 | Sigmoid | 0.1 | 14 | 10.000 |
| ANN31 | 30% / 70% | 0.01 | Sigmoid | 0.1 | 10 | 10.000 |
| ANN41 | 30% / 70% | 0.01 | Sigmoid | 0.1 | 6 | 10.000 |
| ANN12 | Cross-val. Folds 10 | 0.01 | Sigmoid | 0.1 | 18 | 10.000 |
| ANN22 | Cross-val. Folds 10 | 0.01 | Sigmoid | 0.1 | 14 | 10.000 |
| ANN32 | Cross-val. Folds 10 | 0.01 | Sigmoid | 0.1 | 10 | 10.000 |
| ANN42 | Cross-val. Folds 10 | 0.01 | Sigmoid | 0.1 | 6 | 10.000 |

Tablo 5. DVM ve Lineer regresyon için parametreleri
(Input Parameters for DVM and Linear Regression)

| Model | Test/Eğitim Veri Seçimi | Kullanılan Motod |
|-------|-------------------------|------------------|
| DVM1 | 30% / 70% | SMOReg |
| DVM2 | Cross-val. Folds 10 | SMOReg |
| LR1 | 30% / 70% | LinearRegression |
| LR2 | Cross-val. Folds 10 | LinearRegression |

Elde edilen sonuçların performans karşılaştırılması için en çok tercih edilen ortalama mutlak yüzde hata (MAPE, Mean Absolute Percentage Error), kök hata kareler ortalaması (RMSE, Root mean square error), bağıl mutlak hata (RAE, Relative absolute error) ve kök bağıl hata kareleri (RRSE, Root relative squared error) parametreleri kullanılmıştır. MAPE için (2), RMSE için (3), RAE için (4) ve RRSE için (5)'nolu eşitlik kullanılmaktadır.

$$MAPE = \frac{\sum_1^N |\hat{\theta}_i - \theta_i|}{N} \quad (2)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_1^N (\hat{\theta}_i - \theta_i)^2}{N}} \quad (3)$$

$$RAE = \frac{\sum_1^N |\hat{\theta}_i - \theta_i|}{\sum_1^N |\theta_i - \theta_i|} \quad (4)$$

$$RRSE = \sqrt{\frac{\sum_1^N (\hat{\theta}_i - \theta_i)^2}{\sum_1^N (\theta_i - \theta_i)^2}} \quad (5)$$

Tablo 6'da tahmin modellerinden elde edilen sonuçları içermektedir. Yapılan testlerde baskın bir model ön plana çıkmamıştır. Fakat ANN42 (Gizli katmanda 6 nöron içeren model) toplam veri için en iyi MAPE ve RMSE değerine sahiptir.

Yerleşke 3 için DVM2 modeli en iyi MAPE değerine sahipken, LR2 modeli en iyi RMSE değerine sahiptir. Diğer yandan Yerleşke 2'de ise LR2 modeli en iyi MAPE ve RMSE değerlerine sahiptir. Yerleşke 1 için DVM1 en iyi MAPE değerine sahipken ANN42 en iyi RMSE değerine sahiptir. Ayrıca Tablo 6'da test edilen verilen için tahmin değerleri ile gerçek değerler arasındaki maksimum ve minimum farklar verilmiştir. Genel itibari ile minimum değerler 0'a yakındır. Maksimum farklara bakıldığında genel toplam için DVM1 en iyi değere sahipken yerleşke 1 için ANN32 en iyi değere sahip olup yerleşke 2 için ANN31, yerleşke 3 için LR1 modeli en iyi değerlere sahiptir.

Sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde yerleşkelerdeki tüketici profillerinin de farklı olduğu göze çarpmaktadır. Yerleşke 1 de Mühendislik bölümleri ağırlıklı olarak bulunurken, yerleşke 2 de ise sosyal bölümler daha çok bulunmaktadır. Diğer yandan yerleşke 3'de ise hazırlık öğrencileri dil eğitimi almaktadır. Bunun yanında yerleşke 2 merkezi bir konumda olması nedeni ile çevresinde çeşitli yemek alternatifleri bulundurmaktadır. Bundan dolayı farklı modellerin farklı yerleşkelerde farklı performanslar gösterdiği düşünülmektedir. Genel itibari ile bakıldığında ANN'de gizli katmandaki nöron sayısının fazlalığı performansı arttırmamıştır.

Tablo 6. Tahmin modellerinin kullanımı ile edilen sonuçlar
(Results obtained with using forecasting models)

| Analiz Modeli | Toplam | | | Yerleşke 1 | | | Yerleşke 2 | | | Yerleşke 3 | | |
|---------------|------------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|-----------------------------|-----------------------|------------------------|----------------------|------------------------|------------------------|-----------------------|
| | MAPE RAE | RMSE RRSE | MİN. MAK. | MAPE RAE | RMSE RRSE | MİN. MAK. | MAPE RAE | RMSE RRSE | MİN. MAK. | MAPE RAE | RMSE RRSE | MİN. MAK. |
| LR1 | 40.79 61.73% | 49.94 63.81% | 1.90 106.42 | 18.97 57.84% | 25.72 63.06% | 0.07 84.28 | 10.44 79.71% | 13.36 79.24% | 0.24 36.88 | 21.61 74.14% | 28.01 81.15% | 0.09 53.83 |
| LR2 | 36.52 55.29% | 44.94 57.69% | 0.13 120.79 | 18.31 56.03% | 24.10 58.55% | 0.27 85.76 | 9.10 77.27% | 11.96 78.18% | 0.02 39.46 | 21.25.75 69.10% | 27.53 77.25% | 0.02 66.67 |
| ANN11 | 37.17 56.25% | 45.42 58.03% | 1.37 107.97 | 20.14 61.39% | 27.82 68.21% | 0.31 83.39 | 11.02 84.15% | 14.07 83.48% | 0.21 37.35 | 30.19 103.55% | 42.37 122.74% | 0.04 170.17 |
| ANN21 | 37.23 56.34% | 46.61 59.54% | 0.07 112.22 | 23.14 70.55% | 30.00 73.56% | 0.13 78.38 | 10.69 81.61% | 13.73 81.42% | 0.18 37.09 | 27.58 94.61% | 37.74 109.31% | 0.02 119.19 |
| ANN31 | 39.51 59.79% | 49.73 63.54% | 0.04 122.85 | 23.57 71.88% | 32.95 80.77% | 0.10 105.88 | 10.96 83.71% | 14.50 86.02% | 0.36 36.65 | 30.80 105.66% | 47.74 138.28% | 0.50 192.70 |
| ANN41 | 42.23 63.91% | 50.73 64.81% | 1.61 117.45 | 20.85 63.56% | 27.36 67.07% | 1.19 73.69 | 11.39 86.95% | 14.25 84.54% | 0.04 38.82 | 24.27 83.25% | 32.77 94.94% | 0.32 103.59 |
| ANN12 | 38.18 57.81% | 47.77 61.32% | 0.12 117.01 | 19.01 58.17% | 24.68 59.98% | 0.19 82.41 | 10.38 88.10% | 13.41 87.67% | 0 41.46 | 23.99 78.01% | 34.65 97.25% | 0.13 135.05 |
| ANN22 | 37.36 56.57% | 46.82 60.11% | 0.12 126.71 | 19.58 59.90% | 25.29 61.45% | 0.15 87.60 | 10.45 88.69% | 13.51 88.34% | 0 40.29 | 23.62 76.81% | 34.21 96.02% | 0.16 140.34 |
| ANN32 | 36.58 55.40% | 45.66 58.61% | 0.01 114.62 | 18.45 56.45% | 23.63 57.43% | 0.02 73.25 | 9.86 83.69% | 13.01 85.08% | 0.06 38.72 | 24.92 81.06% | 36.76 103.18% | 0.02 153.70 |
| ANN42 | 35.56 53.84% | 43.67 56.06% | 0.03 115.62 | 18.58 56.85% | 23.59 57.33% | 0.02 75.50 | 9.66 81.98% | 12.79 83.66% | 0.13 47.13 | 23.83 77.50% | 34.85 97.81% | 0.04 146.25 |
| DVM1 | 40.55 61.38% | 51.11 65.29% | 0.28 102.63 | 17.97 54.80% | 24.73 60.64% | 0.06 91.53 | 10.63 81.14% | 13.53 80.27% | 0.75 37.58 | 21.94 75.27% | 28.50 82.55% | 0.10 57.82 |
| DVM2 | 36.17 54.77% | 45.40 58.28% | 0.14 125.63 | 18.83 57.63% | 24.85 60.39% | 0.15 93.25 | 9.29 78.83% | 12.07 78.94% | 0.06 38.37 | 20.53 66.77% | 28.06 78.75% | 0.13 69.64 |

5. SONUÇ VE ÖNERİLER (CONCLUSION AND SUGGESTIONS)

Günümüzde nüfus artışı ile birlikte gıda ürünlerinin efektif kullanımı önemli bir hale gelmiştir. Endüstriyel dönüşümler ile birlikte işyerlerinde yemek tüketimi ihtiyacı her geçen gün artmaktadır. Bu yemek hizmetinin ihtiyaç miktarı kadar servis edilmesi hem tüketici hem de işletmeciler açısından önemlidir. İşletmeci açısından yemek israfı ve maliyeti azalırken, tüketici tarafından da en hızlı ve ucuz şekilde yemek ihtiyacı karşılanmaktadır. Üniversitelerde yemek ücretleri devlet desteğinden dolayı dışarıya göre oldukça düşüktür. Buna rağmen menü ve kullanıcı davranışlarından dolayı günlük tüketim miktarı değişmektedir. Bu çalışmada bir üniversitenin yemekhane sisteminden elde edilen veriler kullanılarak yapay sinir ağları, destek vektör makinesi ve lineer regresyon modeli ile bu veriler analiz edilmiş ve günlük tüketim miktarı tahmin edilmiştir. Yapılan bu çalışmada makine öğrenme sistemlerinin yemek tahmini üzerinde sonuçlar elde edilebileceği gösterilmiş. Farklı profil ve ölçekteki yerleşkeler için metotların performansları sunulmuştur. Sonraki çalışmalar için bir karşılaştırma verisi olup daha büyük ölçekli işletmeler için farklı metotlar geliştirilerek bu çalışma genişletilebilir.

6. TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENTS)

Bu çalışma Adana Bilim ve Teknoloji üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından 16103020'nolu proje kapsamında desteklenmiştir. Ayrıca yemekhane sistemden verilerin alınması kapsamında yardımlarından dolayı Adana Bilim ve Teknoloji Üniversitesi Sağlık Kültür ve Daire Başkanlığı birimine teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] M. Tayar, C. Hecer, Hazır Yemek Sistemleri, 2. Baskı, DORA Basım-Yayın Dağıtım Ltd. Şti. Bursa, 2016.
- [2] J. Parfitt, M. Barthel, S. Macnaughton, "Food waste within food supply chain: quantification and potential for change to 2050", Phil. Trans. R. Soc., vol. 365, pp. 3065-3081, 2010.
- [3] J. Gustavsson, C. Cedeberg, U. Sonesson, "Global food losses and food waste", Food and Agriculture Organisation of the United Nations, Roma, 2011.
- [4] N. Artık, T. Şireli, M. Türkyılmaz, "Gıda israfı, açlık sorunu ve sürdürülebilir gıda projeksiyonları", Ankara Halk Ekmek ve Un Fabrikası A.Ş. Ekmek Dergisi, s. 111-125, 2016.
- [5] C.Ö. Dölekoğlu, S. Gün, F.H. Giray, "Yoksulluk ve Gıda İsrafı Sarmalı", XI. Ulusal Tarım Ekonomisi Kongresi, Samsun, 3-5 Eylül 2014.
- [6] G. Pekcan, E. Köksal, Ö. Küçükerdönmez, H. Özel, "Household Food Wastage in Turkey". Statistics Division, Working Paper Series, No: ESS/ESSA/006e, FAO, 2006.
- [7] TMO. 2013. "Türkiye'de Ekmek İsrafı Araştırması". Toprak Mahsulleri Ofisi Genel Müdürlüğü, Ankara.

- [8] Bozkir, A.S. ve Sezer, E., Predicting food demand in food courts by decision tree approaches, *Procedia Computer Science*, 3, pp.759-763., 2011. Doi: 10.1016/j.procs.2010.12.125
- [9] Bozkir, A.S ve Sezer, E., ADEM: An Online Decision Tree Based Menu Demand Prediction Tool for Food Courts, 2013, 4th International Conference on Food Engineering and Biotechnology IPCBEE vol.50 (2013) (2013) IACSIT Press, Singapore DOI: 10.7763/IPCBEE. 2013. V50. 3
- [10] G. Kılıç, Yapay sinir ağları ile yemekhane günlük talep tahmini, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2015.
- [11] H. Ergün, *Su Ürünleri Tüketimi ve Tanıtımı, SÜMAE YUNUS Araştırma Bülteni*, 9:2, Haziran 2009.
- [12] S. S. Baboo, I.K. Shereef, 2010, "An Efficient Weather Forecasting System using Artificial Neural Network", *International Journal of Environmental Science and Development*, Vol. 1, No. 4, 2010
- [13] O. ŞENKAL, , "Solar Radiation Modeling for Turkey Using Atmospheric Parameters with Artificial Neural Networks", *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 31(2), ss. 179-185, 2016
- [14] O. Kaynar, S. Taştan, F. Demirkoparan, "Yapay Sinir Ağları ile Doğalgaz Tüketim Tahmini", *Atatürk Ü. İİBF Dergisi*, 10. *Ekonometri ve İstatistik Sempozyumu Özel Sayısı*, 2011.
- [15] S. Benkachcha, J. Benhra, El Hassani.H, "Causal Method and Time Series Forecasting model based on Artificial Neural Network", *International Journal of Computer Applications (0975 – 8887) Volume 75– No.7, 2013*
- [16] H. Özkişi, M. Topaloğlu, "Fotovoltaik Hücrenin Verimliliğinin Yapay Sinir Ağı ile Tahmini", *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, Cilt:10, Sayı:3, 2017
- [17] Ş. U. ULADİ, A. İ. ULADİ, "Osmaniye İli Genelinde Konut Özellikleri ile Konut Fiyatları Arasındaki İlişkinin Belirlenmesi", *International Journal of Academic Value Studies*, Vol: 3, Issue: 16, pp. 475-480, 2017.
- [18] M.T. Bilişik, "Destek Vektör Makinesi, Çoklu Regresyon ve Doğrusal Olmayan Programlama ile Prekendecilik Sektöründe Gelir Yöntemi İçin Dinamik Fiyatlandırma", *XI. Üretim Araştırmaları Sempozyumu*, 23-24 Haziran 2011
- [19] V. Vapnik, "The Nature of Statistical Learning Theory", *Newyork: Springer. 1995.*
- [20] V. Vapnik, "Statistical Learning Theory. Newyork", *John Wiley & Sons, 1998.*
- [21] F. Başer, A. Apaydın, "Sınıflandırma Amaçlı Destek Vektör Makinelerinin Lojistik Regresyon ile Karşılaştırması", *Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi B-Teorik Bilimler*, Cilt: 3 Sayı: 2 - 2015 Sayfa: 53 – 65, 2015
- [22] WEKA, <https://www.cs.waikato.ac.nz/ml/index.html>, 27.11.2017

Determining Importance Degrees of Strategic Plan Goals with Integrated Fuzzy AHP and Fuzzy TOPSIS Methods

Alper Kiraz^{1*}, Onur Canpolat¹, Enes Furkan ERKAN¹, Fatih ALBAYRAK²

¹ Sakarya University / Industrial Engineering Department, Sakarya, Turkey

² Sakarya University / Vocational School of Adapazarı, Sakarya, Turkey

(First received 29 May 2018 and in final form 5 August 2018)

(DOI: 10.31590/ejosat.428357)

Abstract

Effectiveness of strategic planning activities prevents to loss of time, money and reputation of organizations. Universities as educational institutions are continuing these studies to provide better quality and more innovative education services. The strategic plan is to ensure the continual improvement of the universities, to be a partner of other national and international universities, to give good education services to students and to be preferred by students. In this study, 2013-2017 strategic plan prepared by Hacettepe University is examined and the long-term objectives of the plan are ranked according to their importance. The aim of ranking the goals that highly contribute to the strategic plan is to use the resources and energy of the institution more accurately in the direction of achieving these goals and to reach its strategies more determinedly. Fuzzy AHP (Analytical Hierarchy Process) and Fuzzy TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solutions) methods, which are multi-criteria decision-making methods, are used in order to the ranking of strategic goals. The criteria of the SMART (Specific-Measurable-Accessible-Realistic-Time Limited) method is also used for evaluating of the goals. The Fuzzy AHP method is used to determine the weights of these criteria and the Fuzzy TOPSIS method is used to obtain the significance of the goals. The importance degrees of long-term goals have been normalized, and then goals providing high added value to the strategic plan have been determined by using Pareto analysis with 80-20 rule. In this way, strategies that provide high added value to the strategic plan are also determined. With the developed integrated decision-making approach, it is envisaged that more effective strategic planning process will exist as a result of the determination of high value-added goals.

Keywords: Strategic planning; SMART approach; fuzzy multi-criteria decision making methods; pareto analysis.

Bütünleşik Bulanık AHP ve Bulanık TOPSIS Yöntemleri ile Stratejik Plan Hedeflerinin Önem Derecelerinin Belirlenmesi

Öz

Stratejik planlama çalışmaları etkili yürütüldüğü takdirde kuruluşların zaman, para ve itibar kaybının önüne geçmektedir. Üniversiteler bir eğitim kurumu olarak daha kaliteli ve daha yenilikçi bir eğitim hizmeti vermek amacıyla bu çalışmaları sürdürmektedir. Stratejik planın üniversiteler için önemi sürekli gelişmeyi sağlamak, diğer ulusal ve uluslararası üniversitelerle olan rekabete ortak olmak, iyi eğitim hizmetini öğrencilere verebilmek ve üniversiteye girecek öğrenciler tarafından tercih edilmeyi sağlamaktır. Bu çalışmada, Hacettepe Üniversitesi'nin hazırlanmış olduğu 2013-2017 stratejik planı incelenmiş ve plana ait uzun dönem hedefleri önem derecelerine göre sıralanmıştır. Hedefleri sıralamanın amacı stratejik plana katkısı yüksek hedeflerin belirlenerek, bu hedefleri gerçekleştirmek doğrultusunda kurumun kaynaklarını ve enerjisini doğru yönlendirmesinin ve stratejilerine daha kararlı bir şekilde ulaşmasının sağlanmasıdır. Bu sıralamanın yapılabilmesi için çok kriterli karar verme yöntemlerinden olan Bulanık AHP (Analitik Hiyerarşi Prosesi) ve Bulanık TOPSIS (İdeal Çözüme Benzerliğe Göre Tercih Sıralama Tekniği) yöntemleri kullanılmıştır. Hedeflerin değerlendirilmesinde ise SMART (Belirli-Ölçülebilir-Ulaşılabilir-Gerçekçi-Zaman Kısıtlı) metodunun kriterleri kullanılmıştır. Bu kriterlerin ağırlıkları Bulanık AHP metodu belirlenmiş olup, Bulanık TOPSIS metodu ile hedeflerin önem dereceleri elde edilmiştir. Uzun dönem hedeflerinin önem dereceleri normalize edilip Pareto analizi ile değerlendirilerek 80-20 kuralı ile stratejik plana yüksek katma değer sağlayan hedefler belirlenmiştir. Bu sayede stratejik plana yüksek katma değer sağlayan stratejilerin de belirlenmesi sağlanacaktır. Geliştirilen bütünleşik karar verme yaklaşımı ile katma değeri yüksek hedeflerinin belirlenmesi sonucunda daha etkin stratejik planlama süreci yürütüleceği öngörülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Stratejik planlama; SMART; bulanık çok kriterli karar verme metodları; pareto analizi.

1. Introduction

Today, many universities have a strategic plan as well as many public and private institutions. If the strategic plan is prepared as it should be, time, financial and reputation loss are avoided. As an educational institution, universities are forming a strategic plan to provide a better quality and more innovative education service. Strategic planning is essential in terms of ensuring constantly developing, being in competition with other national and international universities, and being preferred by students entering the university. The strategic plan consists of defined goals that achieve each strategy, and performance indicators that show whether the goals achieved or not. However, it is a matter of debate how objectives of the strategic plan are effective in achieving the relevant strategy. In order to decide which goals are more effective, goals need to be assessed with some criterion. When this assessment is done instinctively, the success of effective outcomes can only be provided by experienced and decision makers in the field. Implementing the evaluation process by making a decision based on a mathematical method and spending the resources of the institution on the right goals will have an important role for realizing the strategies.

Sometimes, decision-making problems need to be expressed linguistically because they include uncertain situations (Toklu, 2017). When relations between criterion of the models can be expressed by linguistic variables, fuzzy techniques present successful results. For this reason, this complex model solution is sought with Fuzzy Multi-Criteria Decision Making Methods. There are so many application areas of fuzzy and classical decision-making methods when the literature is examined. SMART approach and Fuzzy TOPSIS method were used to determine effective long-term goals for the strategic plan, with the main criteria being assumed to be equal in one of the studies (Kubat ve ark., 2010). In another study suggests a model in which Fuzzy AHP and TOPSIS were used to facilitate the assessment of the effectiveness of insurance companies (Ksenija ve ark., 2017). Fuzzy TOPSIS and Fuzzy AHP methods were used for project selection problem (Söyler ve Pirim, 2014). The authors preferred the Fuzzy AHP and TOPSIS method are used to compare the performance of the banks. Criteria weights are determined with Fuzzy AHP method and the importance degrees of goals are ranked with TOPSIS method (Amile ve ark., 2013). A Fuzzy AHP application was done for personnel selection in IT companies in another study (Erdem, 2016).

In this study, the effectiveness of 2013-2017 strategic plan prepared by taking opinions of employees of Hacettepe University is investigated. First of all, 5 decision makers evaluated the goals by using the SMART method to provide linguistic variables for Fuzzy AHP. After the evaluations of the decision makers, Fuzzy TOPSIS method is used to calculate the numerical equivalents of linguistic variables. However, since the weights of the main criteria are not previously known in the Fuzzy TOPSIS method, these weights are calculated using the Fuzzy AHP method. The goals are ranked according to their importance by using these criteria weights for implementation of Fuzzy TOPSIS method. The Pareto approach has been used to determine the priority of goals according to the 80-20 rule over the normalized results.

2. Fuzzy AHP and Fuzzy TOPSIS Methods

The Fuzzy AHP is an appropriate method to decide in case of ambiguity that the inter-criterion relations can only be expressed linguistically. Chang's extent analysis method is utilized in this study (Chang, 1996). The extent analytical method synthesizes evaluations of pairwise comparison based on decision-making methods. The Fuzzy TOPSIS method provides a solution by considering decision-makers' divergent opinion on problems that are complicated and require group decision. Decision makers use linguistic variables to calculate the importance of the criterion and the criterion values of the alternatives, as in many decision-making methods. Chen's Fuzzy TOPSIS method is used for the solution to the problem where a group decision has to be made and linguistic uncertainties exist (Chen, 2000). This method is preferred because of including simple computation process and being easy to implement.

3. Case Study Implementation

There are 11 strategies shown in Table 1 and 86 defined goals to carry into effect these strategies in the 2013-2017 strategic plan of Hacettepe University. In this study, in order to manage an effective strategic planning process, goals are first evaluated using the criteria of SMART method. The Fuzzy AHP method is used to determine weights of the 5 criteria of the SMART method. Then, the goals are evaluated by decision makers for each criterion and the importance degrees of the goals are calculated by Fuzzy TOPSIS and ranked. Hierarchical representation of the proposed model is presented in Figure 1.

Table 1. Strategies of Hacettepe University.

| Strategy no. | Strategies |
|--------------|---|
| S1 | Improving the quality of education and training. |
| S2 | Developing research capacities, opportunities and encouraging to research. |
| S3 | Creating appropriate management systems to ensure that the university is efficient and effective in its operations. |
| S4 | Creating and implementing internal and external policies. |
| S5 | Establishing, executing and sustaining university, public and private sector cooperation. |
| S6 | Improving the quality and diversity of the health care services. |
| S7 | Developing of physical and technological infrastructure possibilities. |
| S8 | Developing and enhancing information sources, services, and technological facilities of libraries. |
| S9 | Creating renewable clean energy resources to reduce energy costs and increase environmental sensitivity. |
| S10 | Working with the slogan 'Smokeless Hacettepe' for our staff and students to give them up. |
| S11 | Providing platforms for students and employees to express ideas and suggestions easily. |

For example, S3 has 4 goals and these are;

- The infrastructures of the information systems of the university will be completed and integrated by the end of 2013.
- All the units of Hacettepe University will be prepared the guidelines on working procedures and principles by the end of 2013.
- The internal control process work will be completed by the end of 2015.
- The administrative and academic staff of Hacettepe University will be provided with in-service training on management systems and the continuity of the systems will be ensured by the end of 2015, respectively.

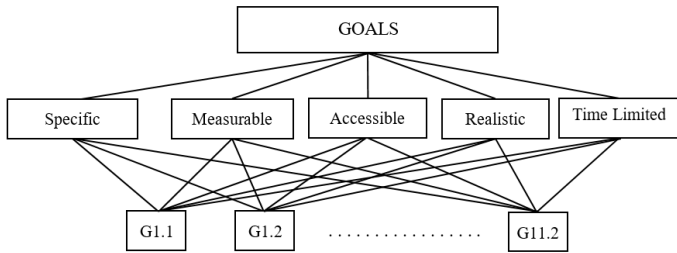


Figure 1. Hierarchical Representation of the Proposed Model.

After the evaluation of 5 decision makers, taking into account of average values of this assessment, weights of main criteria are obtained by applying the steps of Fuzzy AHP method. Normalization values of these weights are presented in Table 2.

Table 2. Weights of Main Criteria.

| S | M | A | R | T |
|---|---|---|---|---|
|---|---|---|---|---|

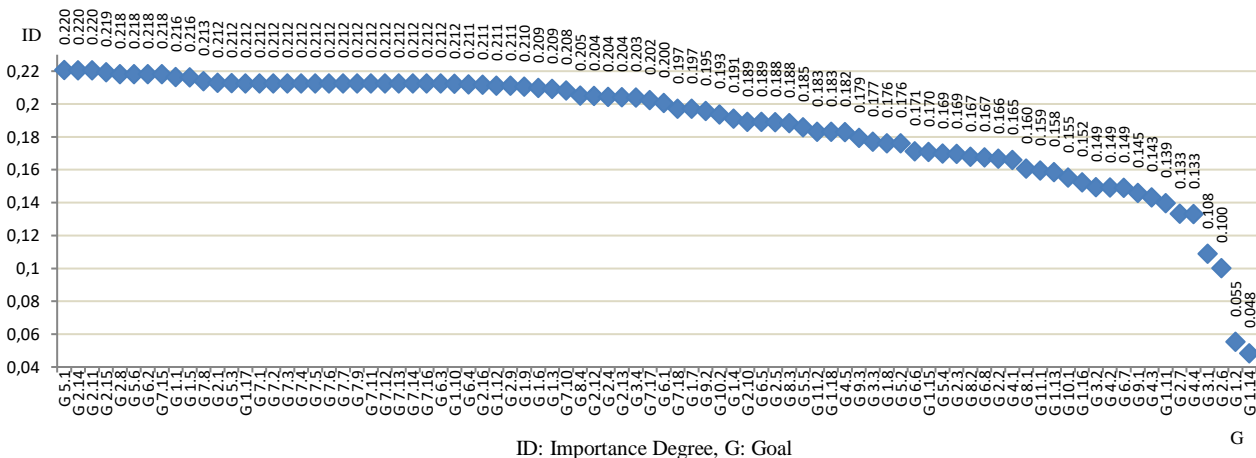


Figure 2. Importance Degree of Goals.

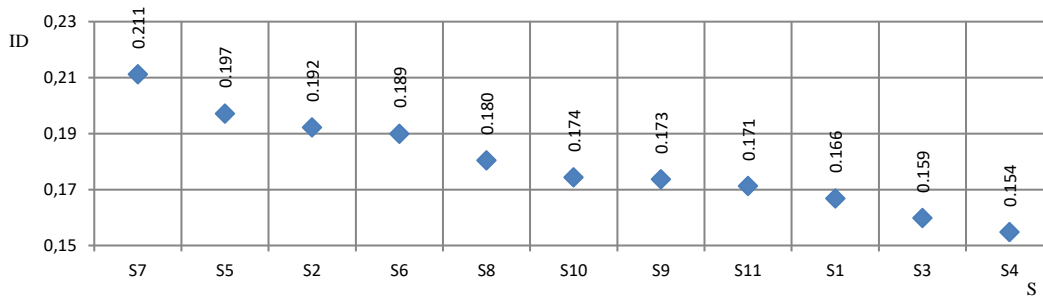


Figure 3. Importance Degree of Strategies.

Normalized weights 0.207 0.138 0.309 0.332 0.012

Evaluations of each goal are made with linguistic variables in Fuzzy TOPSIS implementation. Goals are assessed based on criteria of SMART method by decision makers. Thanks to Chen's developed method linguistic variables transformed to the numeric values and then fuzzy decision matrix and fuzzy normalized decision matrix are obtained. Then normalized weights calculated in Fuzzy AHP and normalized decision matrix calculated in Fuzzy TOPSIS are multiplied for obtaining weighted normalize matrix. Finally, fuzzy negative (d_{i-}) and positive (d_{i+}) ideal solution are defined based on Fuzzy TOPSIS method. d_{i-} and d_{i+} are the distance between the goal and negative, positive ideal solution, respectively and briefly given in Table 3.

Table 3. Negative and Positive Ideal Solutions.

| Goals | d_{i-} | d_{i+} |
|-------|----------|----------|
| G1.1 | 1.118 | 4.050 |
| G1.2 | 0.278 | 4.757 |
| ⋮ | ⋮ | ⋮ |
| G11.2 | 0.926 | 4.131 |

Closeness coefficients (CC) of goals are calculated with the Equation 1.

$$CC = \frac{d_{i-}}{d_{i-} + d_{i+}} \quad (1)$$

The CC values of goals show their importance degree shown in Figure 2. Average CC value of goals are calculated and this value show us the importance degree of related strategies shown in Figure 3.

4. Pareto Analysis Approach for Eliminating Goals

Pareto analysis is an effective technique for diagnosing and analyzing a problem. This approach aims to determine the concepts that really affect the problem. There are various examples in the literature about acceptance rate of this method such as 90-10, 80-20, 70-30 (%) to determine these concepts. In this study, 80-20 acceptance rate is preferred. When the Pareto analysis is performed, first all the data are summed and the values are divided by each data to find the percentage value of it in the

whole data. Then percentage values are summed cumulatively. As a result of this process, the portion up to 80% is defined as the values to be considered. Percentage values of goals are calculated via Equation 2.

$$\%CC_i = \frac{CC_i}{\sum_{i=1}^{86} CC_i} \tag{2}$$

63 of goals, which are effective on the strategies, are identified and 23 of goals are eliminated considering 80-20 rule of Pareto analysis. Effective 63 of goals are shown in Figure 4 based on Pareto Analysis and revised importance degree of related strategies shown in Figure 5 after 23 of goals eliminated.

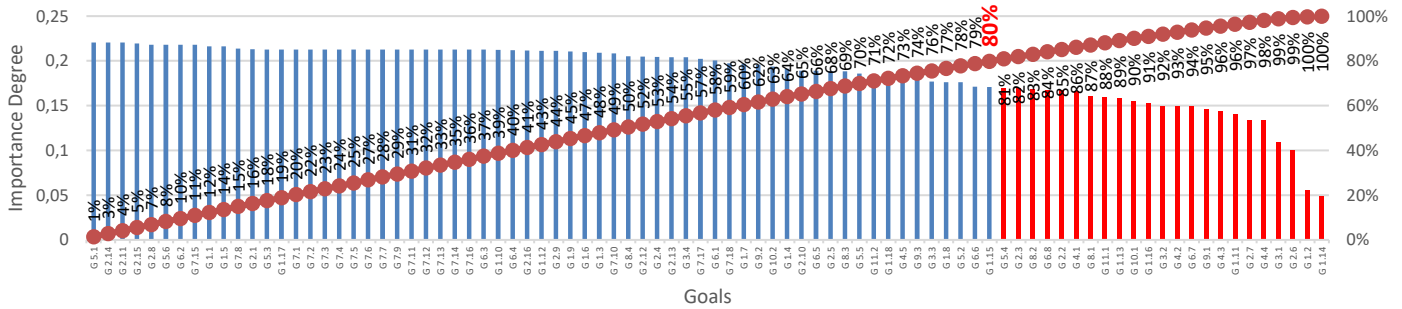


Figure 4. Goals Exceeding the Threshold Value.

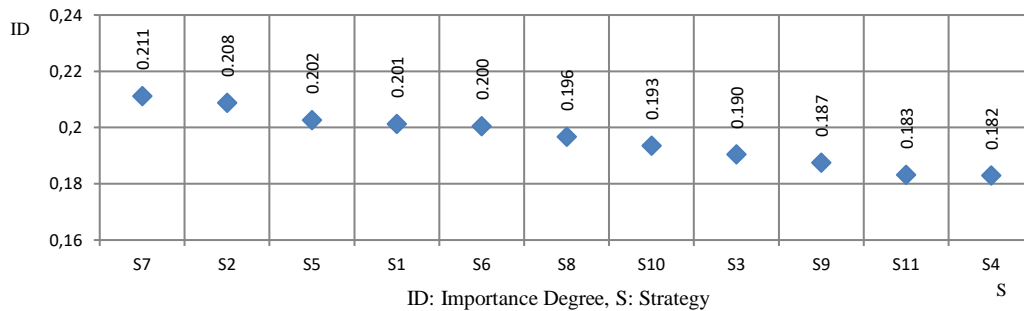


Figure 5. Importance Degree of Strategies after Eliminating Process.

5. Conclusion

In this study, the goals, essential component of Hacettepe University 2013-2017 strategic plan, are evaluated by decision makers using criteria of SMART approach and the weights of these criteria are calculated by Fuzzy AHP approach. Then, Fuzzy TOPSIS steps are applied for calculating importance degree of 86 of goals for determining more effective ones on the strategies. Importance degrees of goals are normalized for assessing with Pareto analysis and ranked cumulatively taking account of 80-20 rule of this approach. Thanks to this approach, goals that add high added value to the strategic plan are determined. 63 of goals are identified and how to effect this situation to the importance degree of strategies is detailed investigated. For example, S1 (Improving the quality of education and training) and S3 (Creating appropriate management systems to ensure that the university is efficient and effective in its operations) strategies became more critical than before. Rank of S2 (Developing research capacities, opportunities and encouraging to research) and rank of S5 (Establishing, executing and sustaining university, public and

private sector cooperation) strategies are replaced, means that S2 became essential for managing effective strategic plan process. High added value goals and strategies have been determined thus, it is envisaged that more effective strategic planning process will be carried out with the developed integrated decision-making approach. In addition to this, proposed model can also be applied when new strategies are developed.

References

Amile, M., Sedaghat, M., Poorhossein, M. 2013. Performance evaluation of banks using fuzzy AHP and TOPSIS, Case study: State-owned banks, partially private and private banks in Iran. Caspian Journal of Applied Sciences Research 2(3), 128-138.

Chang, D.Y. 1996. Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP. European Journal of Operational Research 95(3), 649-655.

- Chen, C.T. 2000. Extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment. *Fuzzy Sets and Systems* 114(1), 1-9.
- Erdem, M.B. 2016. A fuzzy analytical hierarchy process application on personnel selection in IT companies: A case study in a spin-off company. *Acta Physica Polonica A* 130(1), 331-334.
- Ksenija, M., Boris, D., Snezana, K., Sladjana, B. 2017. Analysis of the efficiency of insurance companies in Serbia using the fuzzy AHP and TOPSIS methods. *Economic Research* 30(1), 550-565.
- Kubat, C., Kiraz, A., Erdem, M.B. 2010. Long term goal selection for intelligent strategic planning by using fuzzy TOPSIS method. *Proc. 7th International Symposium on Intelligent & Manufacturing Systems (IMS 2010)*, 15-17 September 2010, Bosnia Herzegovina.
- Söyler, H., Pirim, L. 2014. Using fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS methods for the analysis of development agencies project evaluation criteria. *Social Sciences* 9(4), 105-117.
- Toklu, M.C. 2017. Determination of customer loyalty levels by using fuzzy MCDM approaches. *Acta Physica Polonica A* 132(3), 650-654.



Bornoz Üretiminde Bir Operasyon İçin MTM Metodu (Metot Zamanlarının Ölçümü) İle Kronometre Yönteminin Karşılaştırılması

Mihriban KALKANCI^{1*}

¹Pamukkale Üniversitesi, Denizli Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Denizli, Türkiye.

(İlk Geliş Tarihi 15 Temmuz 2018 ve Kabul Tarihi 8 Ağustos 2018)

(DOI: 10.31590/ ejosat.443967)

Öz

Tekstil ve hazır giyim sektöründeki rekabet koşulları, işletmeleri maliyetleri düşürmeye, fireleri azaltmaya, performans ölçümü yapmaya ve etkin bir planlama ile üretim sürecini çok iyi yönetmeye zorlamaktadır. İş ve zaman etüdü, etkili bir üretim yönetiminde önemli bir yer tutmaktadır. Hazır giyim sektöründe üretilecek modelin optimum üretim süresinin tespitinde çeşitli teknikler kullanılmaktadır. Üretim süresinin doğru şekilde ve hızlı olarak tespit edilmesi doğrudan işletme verimliliğini etkilemektedir. Bu çalışmada, bornoz üretiminde darboğaz oluşturabilecek bir faaliyet olarak yan birleştirme faaliyeti seçilmiştir. Seçilen faaliyetin analizi kronometre ve MTM (Metot Zamanlarının Ölçümü) ile yapılmıştır. Bu iki yöntemle elde edilen veriler karşılaştırılarak işletme açısından verimliliği değerlendirilmiştir.

Anahtar kelimeler: MTM (Metot Zamanlarının Ölçümü), kronometre, iş akış süresi, bornoz.

The Comparison of the Chronometric Method with the MTM (Method's Time Measurement) Method for an Operation in the Production of Bathrobe

Abstract

Competition conditions in the textile and ready-to-wear sector force the production process to be very well managed by reducing costs, minimizing wastage, making performance measurements and effective planning. Work and time studies have an important place in effective production management. Various techniques are used to determine the optimal production time of the model to be produced in the garment sector. Accurate and rapid detection of the production time directly impacts plant productivity. In this study, the side seam operation was selected as an activity that could cause bottleneck in bathrobe production. The selected activity was analyzed with the chronometer and MTM (Method's Time Measurement) methods. By comparing the data obtained by these two methods, the productivity of the plant was evaluated.

Keywords: MTM (Method's Time Measurement), chronometer, process time, bathrobes.

1. GİRİŞ

İşletmelerde verimliliğin sürekliliğini sağlamak ve iş akışını yönetebilmek için standart üretim sürelerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sürelerin doğru tespit edilebilmesi karlılık ve verimlilik açısından çok önemlidir. İş ve zaman etüdü; verimliliğin artırılmasında, sorunlara sistematik bir çözüm bulunmasında, mevcut işlemlerin etkinliğinin artırılmasında çok az ya da hiç ek sermaye yatırımı gerektirmeksizin katkıda bulunur. İş etüdü, iş sistemlerinin incelenmesi ve düzenlenmesine ilişkin yöntem ve deneyimlerin, çalışan kişinin iş yapabilmeye gücünü ve gereksinimlerini de göz önünde tutarak, işin iyileştirilmesi ve işletmenin daha ekonomik çalışmasını sağlamak amacıyla uygulanmasıdır (Alman İş Etüdü ve İşletme Organizasyonu – Reichs Ausschuss Für Arbeitsstudium- REFA).

İş etüdünü, metod etüdü ve zaman etüdü olmak üzere iki aşamada incelemek gerekmektedir. Metod etüdü; insanlar, makinalar ve insan-makina sistemlerince yapılan her çeşit işlemin daha düşük maliyette ve daha kolay olması için, var olan yöntemin incelenmesi ve analiz edilmesi yoluyla yeni yöntemler geliştiren bir yöntemdir. Belirli bir matematik yönü yoktur, gözlem esasına dayanmaktadır. Üretim faaliyetleri uygulama sürelerini belirleme çalışmaları “zaman etüdü” başlığı altında toplanmaktadır. Zaman etüdü için başlıca dört yöntem kullanılmaktadır:

- A) Sentetik zamanlar yöntemi (Methods Time Measurement - MTM)
- B) Analitik tahmin yöntemi
- C) Kronometraj yöntemi
- D) İş örnekleme yöntemi

A) Methods Time Measurement – MTM, önceden saptanmış zamanlar sistemidir. Öngörülen zamanlar ya MTM tablolarından, ya plan zaman kataloglarından, ya da karşılaştırma ve tahminle saptanabilir [1]. İşyeri tasarımı ve geliştirmede kullanılmaktadır[2,3]. Almanca’da “Methoden-zeit-Messung” olarak kullanılmaktadır [4]. MTM, verimlilik yönetiminde uluslararası standarttır[5]. MTM, işin içeriğini değerlendirmek ve üretim başlamadan önce hem de üretim sırasında, üretim sistemlerini optimize etmek için son derece yardımcıdır[6,7]. MTM İngilizce “Methods-Time-Measurement” sözcüklerinin baş harflerinden oluşur ve metod zamanı ölçümü olarak Türkçe’ye çevrilebilir [8,9]. MTM’de metotlar, çalışma zamanları için ölçü niteliğindedir [10,11].

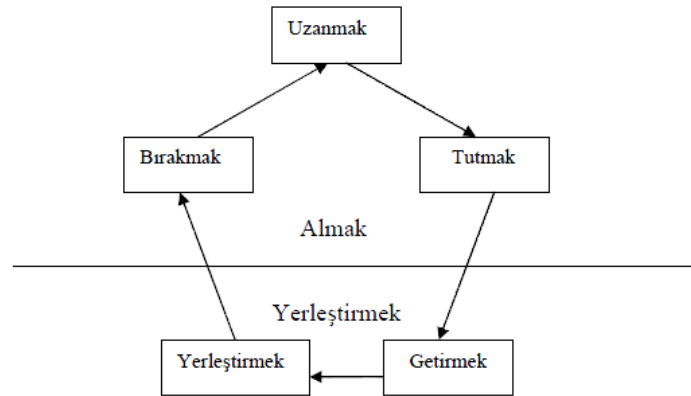
MTM metodunu şöyle de tanımlayabiliriz; MTM manüel hareket öğelerine ayırma tekniğidir. Her temel hareket için standart bir zaman değeri belirlenmiştir, bunun büyüklüğünü faktörlerin saptanan sayısal değerleri ve sınıfları belirler [12, 13].

Yöntemin esası, sürekli araştırmalar sonucu uzman kişiler tarafından hesaplanan işleri oluşturan öğe sürelerinin, ele aldığımız işi oluşturan öğelere göre seçilerek bir araya getirilmesi ve böylece tüm işin süresinin saptanmasıdır. Süreler özellikle mikrofilm çalışmaları ile belirlenmekte ve standart tablolar halinde yayınlanmaktadır. Bu süreler, saatin yüz binde birini belirten TMU birimiyle gösterilir. 1 TMU = 0,00001 saat = 0,0006 dk = 0,036 sn’dir.

MTM - Metodunun yararları aşağıdaki şekildedir [9] :

- 1- MTM Metodunun zaman ölçümü, karşılaştırma ve tahmin etme gibi diğer zaman belirleme metotlarına kıyasla üstünlüğü, uygulamaya başlamadan önce çalışma metodunu tanımlayabilmesi ve verilecek zamanı belirleyebilmesidir. Bu sayede daha planlama safhasında değişik çalışma metotları arasında zaman açısından karşılaştırma yapılabilir ve iş akışları planlanabilir.
- 2- MTM Metodu iş akışını kritik olarak incelemeye zorlar ve bunun sonucunda optimal metodun tespiti sağlanabilir.
- 3- Hareket öğelerinin kodlanmasında enternasyonal ortak bir dil kullanılmaktadır. Bu da özellikle standart plan zamanlarının düzenlenmesi için önemlidir.
- 4- Verilen zamanı bulmak için performansla bağlı ücretlendirmede MTM - Metodunun kullanımı sorunlu durumlarda objektif olarak konu ve probleme dayalı tartışmalara yol açar.
- 5- Plan zamanlarının belirlenmesinde, kronometre ile zaman ölçümü yardımıyla yapılan zaman tespitine karşılık etkenlerle olan ilişkisini belirlemeye gerek yoktur. Çünkü MTM - Standart zamanları etkenleri göz önünde tutmaktadır.
- 6- Çalışanlara, yönergeler daha baştan planlanan MTM - Analizine göre verilebilir. Böylelikle beceri kazanma zamanları en küçük değere düşürülür.

Bu yöntem konusunda yapılan araştırmalardan tespit edildiğine göre, iş akışlarının %85’i aşağıdaki 5 temel hareketten oluşmaktadır [10]. MTM metodunun temel hareketleri aşağıdaki şekildedir (Şekil 1).



Şekil 1. MTM metodunun temel hareketleri [10].

Uzanmak R (Reach): Uzanmak, elin bir parça veya yere doğru hareket ettirilmesidir.

Kavramak G (Grasp): Kavrama elin yada parmakların bir veya birden fazla nesneyi temel hareketi yapabilmek için kontrol altına alma hareketidir.

Taşımak M (Move): Taşıma bir veya birden çok nesneyi parmaklarla veya elle belirli bir yere taşımak için yapılan harekettir.

Yerleştirmek P (Position): Bir nesneyi başka bir nesnenin içine koymak veya nesnelere birbirine bitişirmek için yapılan temel harekettir.

Bırakmak RL (Release): Bırakmak; parmakların açılmasıyla, nesne üzerindeki kontrolün kaldırılması için yapılan temel harekettir [10].

MTM analiz çalışmaları kapsamında tanımlanan diğer hareketler kısaca Tablo 1'deki gibidir.

Tablo 1. Diğer MTM hareketleri [14,15].

| Hareket Grubu | Hareket Adı |
|-----------------------|--|
| El ve kol hareketleri | Bastırma - AP Ayrırmak - D Döndürmek - T |
| Zihinsel fonksiyonlar | Göz Kaydırmak - ET Kontrol Etmek - EF Okumak Yazmak |
| Vücut hareketleri | Ayak hareketi - FM Bacak hareketi - LM Yan adım - SS Vücudu döndürmek - TB Yürümek - W Eğilmek/Doğrulmak - B/AB Çömelmek/Doğrulmak - S/AS Diz Çökmek/Doğrulmak - KOK/AKOK İki Diz Üzerine Çömelmek/Doğrulmak - KBK/AKBK Oturmak/Kalkmak - SIT/STD |

Beş temel hareketin yanı sıra elle yapılan üç temel hareket de hareket akışlarının açıklanmasına yardım eder. Elle yapılan diğer hareketler bastırma, ayırma ve döndürme. Göz kaydırma ve kontrol etmek olmak üzere iki bakış fonksiyonu bulunmaktadır. Sekiz temel hareketin (el hareketleri) ve iki bakış fonksiyonunun dışında ayak, bacak hareketleri ve vücudun yön değiştirmesi gibi vücut fonksiyonları da bulunmaktadır [16].

B) Analitik tahmin yöntemi bir ölçmeden çok, sürelerin öngörülmesi ilkesine dayanır. Analitik tahmin yöntemi; söz konusu işleri çok yakından tanıyan uzman kişilerin deneyim ve bilgileri, geçmiş iş kayıtlarının değerlendirilmesi veya istatistik analiz yolu ile yapılabilmektedir.

C) Kronometraj yöntemi; bir işçi tarafından yapılan bir işlemin, bir zaman etütçüsü vasıtasıyla doğrudan gözlemlenmesi ve zamanın kronometre gibi bir zaman ölçeri ile ölçülmesi biçiminde uygulanır. Çok kısa veya çok uzun işler dışındaki işlere uygulanır [17].

İncelemeler ve hesaplamalar sonucunda elde edilen değere temel zaman denilmektedir. Yan birleştirme işleminin birim süresi bu işleme ait standart birim zaman hesaplamasıyla bulunmaktadır. Standart birim zamanın hesaplanması (1) numaralı formül ile gösterilmiştir [18].

$$\text{“Birim zaman (tb) = Temel Zaman(tt) + Dinlenme Zamanı (td) + Bölücü Zaman (tbl)”} \quad (1)$$

Yorulma Payı; temel zamanın yüzdesi olarak verilebilir. Örneğin iyi çalışma koşullarında, ellerini, bacaklarını, duyu organlarını normal olarak kullanan ve oturarak hafif bir işte çalışan bir işçi için temel zamanın %4'ü oranında bir yorulma payının ilavesi yeterli olacağı düşünülmektedir [16].

Bölücü Zaman; iş seyri esnasında değişik süre ve değişik tekrarlarla ortaya çıkan ve kesin ölçümleri mümkün olmayan zamanlardır. İş gereği bölücü zamanların payı işin özelliği itibarı ile görevden göreve değişiklik gösterir. Ancak şahsi ihtiyaç gereği bölücü zamanlar için pek çok kuruluşta uygulanan genel rakam %5-7 arasındadır [16].

Kronometre ile zaman ölçümü yöntemi aşağıdaki aşamaları kapsamaktadır [18].

- 1- En etken yöntem ve hareketlerin kullanılmasını sağlamak için işin ayrıntılı olarak incelenmesi.
- 2- İşle, işçiyi ve işin yapılmasını etkileyen çevre koşullarıyla ilgili bütün mevcut bilgilerin kaydedilmesi.
- 3- Yöntemin tam bir tanımlanmasının yapılması ve işlem basamaklarının saptanması.

- 4- İş etütçüsünün kendi standart çalışma hızı kavramına (randıman derecesi) göre işçinin çalışma hızını derecelendirmesi.
- 5- Kronometre ile her işlem basamağı için işçinin harcadığı zamanın kaydedilmesi.
- 6- Gözlenen zamanların hızının “temel zamanlara” dönüştürülmesi.
- 7- İşlemin temel zamanına toleransların (yorulma payı, bölücü zaman vs.) eklenmesi böylece “standart birim sürenin” belirlenmesi.

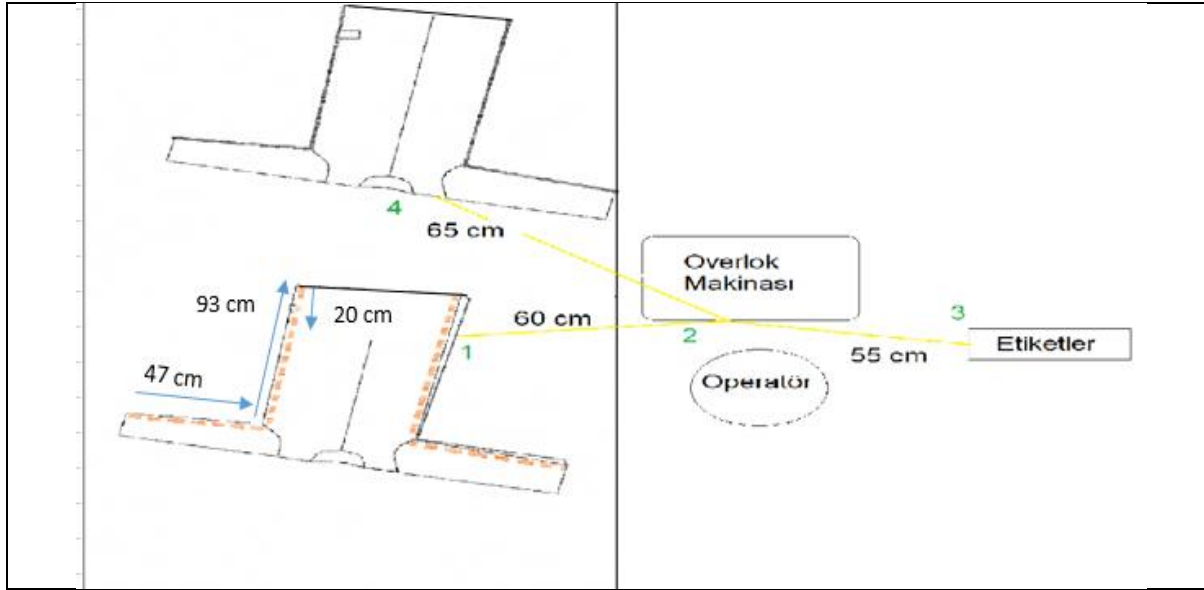
D) İş örnekleme, bir faaliyetin yapılış yüzdesini, rastlantısal gözlemler yoluyla belirleme yöntemidir. Geçerli bir zaman standardı elde etmek için gözlemlerin rasgele zamanlarda ve normal koşullarda yapılması gerekmektedir.

Bu çalışmada, bornoz üretiminde darboğaz oluşturabilecek bir faaliyet olarak yan birleştirme faaliyeti seçilmiştir. Seçilen faaliyetin analizi kronometre ve MTM (Metot Zamanlarının Ölçümü) ile yapılmıştır. Yöntemlerden birisi bire bir ürünün üretim sürecinin içinde zaman hesaplaması ilkesine dayanırken (kronometraj), diğeri ise önceden tespit edilmiş zamanlardan hareketin analizi ile işlem süresinin tespit edilmesi ilkesine dayanmaktadır. Bire bir dikim sonucunda tespit edilen zaman ile önceden tespit edilmiş zamanlar kullanılarak, iki yöntemle elde edilen veriler karşılaştırılmış ve işletme açısından verimliliği

değerlendirilmiştir. Çalışmada her iki sistemin de bornoz dikim üretim planlama hesaplamasında kullanılabilme imkanını belirlemek amaçlanmıştır.

2. MATERYAL ve METOT

Türkiye’de havlu ve bornoz üretimi çoğunlukla Bursa, Denizli Hatay, Kayseri ve Gaziantep illerinde yapılmaktadır. Bu çalışma Türkiye’nin havlu ve bornoz ihracatının yaklaşık yüzde 70’ini (DENİB 2016 verilerine göre) gerçekleştiren Denizli’de ev tekstili üretimi yapan bir işletmede yapılmıştır. Çalışma kapsamında bornoz üretiminde dar boğaza yol açabilecek bir dikim üretim aşaması olan yan dikiş birleştirme operasyonu seçilmiştir. Seçilen operasyon için MTM ve kronometraj ile iş ölçüm yöntemleri incelenmiştir. Şekil 2’de üretilen bornozun modeli ve yan birleştirme işleminin şematik gösterimi yer almaktadır. Yan birleştirme işleminde hareketin analizi Tablo 3’de görülmektedir. Buna göre operatör cep, kol, pervaz ve kemer hazırlık işlemlerinden geçerek sol ve sağ kolun omuza birleştirilmiş şekilde kendisine gelen parçayı sol taraftan alır. Gerekli ölçü ayarlamasını yaparak parçayı overlok makinasına yerleştirir, sol taraftan dikime başlar, etek ucuna 25 cm kala bakım etiketini sağdaki etiket kutusundan alarak diker ve dikimi tamamlar. Aynı işlemi etiket takma işlemi olmadan sağ taraf için de tekrarlar. İki tarafı da birleştirilmiş parçayı sol öne doğru bırakır.



Şekil 2. Yan birleştirme işleminin şematik gösterimi

Yan birleştirme faaliyeti 3 ana grupta incelenmiştir. Dikilen bornoz modeli ve yan birleştirme işlemi Şekil 3’te gösterilmiştir.

- 1- Sol ve sağ omuzu bedene birleştirilmiş olarak gelen beden parçasının 60 cm mesafede uzanıp iki el kavrama, alma ve kendine çekme.
- 2- İki el ile ürünü alma, elinde düzeltme, bedeni katlayarak makineye yerleştirme, parçaları birbirine tutturma, parçaları düzelterek 47 cm kol ucundan kol altına kadar dikme, parçaları birlikte düzelterek tekrar 73 cm dikme,

bakım talimatını 55 cm’den etiket kabından alarak işaretli yere yerleştirme, etiketi dikme, bedeni düzelterek 20 cm daha dikerek sol taraf dikişini bitirme, makinadan çıkarma, kontrol etme.

- 3- Bedeni sağ tarafa kaydırarak çevirme, bedeni katlayarak makineye yerleştirme, makinede parçaları birleştirerek düzeltme, sağ kol altından dikiş (47 cm) yapma, parçaları düzeltme, 93 cm yan dikimle sol taraf dikişini bitirme, makinadan çıkarma, kontrol etme, parçayı sol tarafa 65 cm mesafede masaya bırakma.



Şekil 3. Yan birleştirme işlemi ve dikilen bornoz modeli

2.1. Kronometre ile İşlem Süresinin Tespiti

REFA sistemine göre zaman etüdü ölçümünde, Tablo 2'deki Zaman Etüdü Formu kullanılmıştır. Yan birleştirme işlemi üç ana bölümde incelenmiştir. Bunlar ;

- Beden parçasının kavranması ve makineye yerleştirilmesi
- Sol kol altı dikişi (47 cm), sol beden yan dikişi, etiket dikişi (etek ucuna 20 cm kala), yan dikişin bitirilmesi (20 cm)
- Modeli çevirip sağ kol altından dikiş (47 cm) yapma, kol altından sağ yan birleştirme (93 cm) ve dikilmiş parçanın masaya bırakılmasıdır.

Operasyonun analizi yapıldıktan sonra kronometre ile faaliyetin işlem zamanı ölçülmüştür. Kronometre ile ölçümler yapılarak operatöre ait tempo takdiri %90 olarak verilmiştir. Ölçüm değerlerinin ortalaması alınarak tempo takdiri ile çarpılmıştır.

2.2. MTM ile İşlem Süresinin Tespiti

MTM sistemine göre bir bornozun yan birleştirme işleminde işlemin akış basamakları detaylı olarak Tablo 3'deki gibi

incelenmiş ve işlem süreleri analiz edilmiştir. MTM analizi için Tablo 3'deki faaliyetlerde "PROSES" olarak gösterilen zaman hesaplaması aşağıdaki eşitliğe göre yapılmıştır. Makine devri 4500 d/dak, iğne dalış sayısı 7 dalış/cm olarak alınmıştır. Proses uzunlukları ölçülerek her bir "PROSES" için TMU hesaplaması yapılmıştır.

$$\text{Proses Zamanı (TMU)} = \frac{\text{Uzunluğu} \times \text{İğne Dalış Sayısı}}{\text{Makine Devri}}$$

$$(2) \quad \text{Proses Zamanı (TMU)} = \frac{\text{Uzunluğu} \times \text{İğne Dalış Sayısı}}{\text{Makine Devri}} = 0,0006$$

3. BULGULAR

3.1. Kronometre ile İşlem Süreleri

REFA sistemine göre yapılan zaman etüdü ölçümünde, temel zaman kronometre ile ölçülmüş ve 45,11 sn olarak bulunmuştur (Tablo 2).

Tablo 2. Yan Birleştirme Operasyonu Zaman Etüdü Formu

| Operasyon Adı | Kullanılan Makine | Tempo Takdiri | Zaman Ölçümleri (sn) | | | | | | | | | | Toplam Süre (sn) | Birim Temel Zaman (sn) |
|-----------------|-------------------|---------------|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------------------|------------------------|
| | | | 1. | 2. | 3. | 4. | 5. | 6. | 7. | 8. | 9. | 10. | | |
| Yan birleştirme | 5 İplik Overlok | 0,90 | 43,05 | 42,53 | 44,35 | 43,82 | 44,79 | 46,30 | 42,09 | 47,13 | 45,83 | 41,70 | 902,15 | 45,11 |
| | | | 11. | 12. | 13. | 14. | 15. | 16. | 17. | 18. | 19. | 20. | | |
| | | | 42,08 | 45,82 | 48,03 | 42,29 | 49,45 | 50,12 | 48,42 | 46,27 | 43,89 | 44,19 | | |

1.2. MTM ile İşlem Süreleri

MTM sistemine göre bir bornozun yan birleştirme işleminde işlemin akış basamakları çekilen video kamera kayıtları ile detaylı

olarak incelenmiş, işlem süreleri MTM değeri tablolarından belirlenmiş ve hesaplanmıştır (Tablo 3). Yan birleştirme işlemi 36 aşamada analiz edilmiştir. Toplam süre 1179,4 TMU'luk (42,46 sn) süre olarak tespit edilmiştir.

Tablo 3. Yan Birleştirme Operasyonu MTM Analizi

| No | Yan birleştirme faaliyeti için hareket ve açıklaması | Sembol | TMU | sn |
|----|--|--------|------|------|
| | A. Sol ve sağ omuzu bedene birleştirilmiş olarak gelen beden parçasının 65 cm mesafede uzanıp iki el kavrama, alma ve kendine çekme. | | | |
| 1 | Bedene uzanma (60 cm) | R60B | 21,2 | 0,76 |

| | | | | |
|----|---|--------|---------------|--------------|
| 2 | Bedeni alma | G1 A | 2,0 | 0,07 |
| 3 | Ayarlama için bedeni kendine çekme | M30C | 15,1 | 0,54 |
| | B. Sol kol altı dikişi (47 cm), sol beden yan dikişi, etiket dikişi (etek ucuna 20 cm kala), yan dikişin bitirilmesi (20 cm) | | | |
| 4 | Bedeni kol ucundan katlama | P2SSD | 25,3 | 0,91 |
| 5 | Bedeni birleştirmek için ayarlama yapma 30 cm mesafede | M30C | 15,1 | 0,54 |
| 6 | Makinenin altına yerleştirme | P3SSD | 25,3 | 0,91 |
| 7 | Makinede parçaları birbirine tutturma | G1 A | 2,0 | 0,07 |
| 8 | Parçaları birlikte düzeltme | P3SSD | 52,1 | 1,88 |
| 9 | Parçayı serbest bırakma | RL1 | 2,0 | 0,07 |
| 10 | Ayak hareketi ile makineyi çalıştırma | FM | 8,5 | 0,31 |
| 11 | Dikme proses süresi (47 cm kolaltı bitimi) | PROSES | 109,67 | 3,95 |
| 12 | İki parçayı birlikte düzeltme | P2SSD | 25,3 | 0,91 |
| 13 | Dikme proses süresi (73 cm etiket işaret yerine kadar) | PROSES | 189,26 | 6,81 |
| 14 | Ayak hareketi ile makineyi durdurma | FM | 8,5 | 0,31 |
| 15 | Bakım talimatı etiketine uzanma | R55C | 20,9 | 0,75 |
| 16 | Bakım talimatını kavrama | G4B | 9,1 | 0,33 |
| 17 | Bakım talimatı etiketini yan beden üzerine taşıma | M55C | 23,5 | 0,85 |
| 18 | Bakım talimatı etiketini yan beden üzerinde yerine yerleştirme | P2SSD | 25,3 | 0,91 |
| 19 | Ayak hareketi ile makineyi çalıştırma | FM | 8,5 | 0,31 |
| 20 | 20 cm yan dikme | PROSES | 51,85 | 1,87 |
| 21 | Ayak hareketi ile makineyi durdurma | FM | 8,5 | 0,31 |
| 22 | İşi kontrol etme | EF | 7,3 | 0,26 |
| | C. Modeli çevirip sağ kol altından dikiş (47 cm) yapma, kol altından sağ yan birleştirme (93 cm) ve dikilmiş parçanın masaya bırakılmasıdır. | | | |
| 23 | Parçayı kaydırarak çevirme | M2C | 2,0 | 0,07 |
| 24 | Parçaları makinenin altına yerleştirme | P3SSD | 25,3 | 0,91 |
| 25 | Makinede parçaları birbirine tutturma | G1 A | 2,0 | 0,07 |
| 26 | Ayak hareketi ile makineyi çalıştırma | FM | 8,5 | 0,31 |
| 27 | 47 cm kol altı dikme | PROSES | 121,85 | 4,39 |
| 28 | Ayak hareketi ile makineyi durdurma | FM | 8,5 | 0,31 |
| 29 | İki parçayı birlikte düzeltme | P3SSD | 52,1 | 1,88 |
| 30 | Ayak hareketi ile makineyi çalıştırma | FM | 8,5 | 0,31 |
| 31 | 93 cm yan dikme | PROSES | 241,11 | 8,68 |
| 32 | İşi kontrol etme | EF | 7,3 | 0,26 |
| 33 | Ayak hareketi ile makineyi durdurma | FM | 8,5 | 0,31 |
| 34 | Parçayı alma | G1C2 | 8,7 | 0,31 |
| 35 | Parçayı 65 cm uzağa taşıma | M65B | 21,6 | 0,78 |
| 36 | Dikilmiş parçayı serbest bırakma | RL1 | 2,0 | 0,07 |
| | TOPLAM | | 1174,2 | 42,27 |

Yapılan uygulama sonucunda kronometre (REFA) ve MTM sistemleri ile bir bornozun yan birleştirme işlemi için iş akış süresi tespit edilmiştir. Bu değerler ve iki yöntemin sonuçları Tablo 4'te verilmiştir. Her iki yöntemde de birim zamanın hesaplanmasında normal olarak ve oturarak hafif işte çalışan bir operatör için

yorulma (dinlenme) payı %4 olarak, bölücüler (geciktirici zamanlar; arıza vb..) ise %7 oranında alınmıştır. Dinlenme zamanı ve geciktirici zamanlar da temel zamana eklenerek standart birim süre hesaplanmıştır.

Tablo 4. MTM ve kronometre yönteminin kıyaslanması

| Yöntem | Temel Zaman (sn) | Dinlenme payı(%4) | Bölücüler (%7) | Standart Süre (sn) |
|-------------|------------------|-------------------|----------------|--------------------|
| MTM | 42,27 | 1,69 | 2,96 | 46,92 |
| Kronometre | 45,11 | 1,80 | 3,16 | 50,07 |
| Fark | | | | 3,15 |

4. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Çalışmada incelenen bornoz örneğinin yan dikiş birleştirme operasyonu için yapılan iki yöntemden elde edilen sonuçlar kıyaslandığında aralarında 3,15 sn' lik bir fark tespit edilmiştir. MTM yönteminde operatör için bir tempo takdiri dikkate alınmadan teorik olarak standart tablolardan değerlendirme yapılarak temel zaman hesaplanmaktadır. Oysa bu örnekteki kronometre ölçümü ile yapılan operatörün temposunun %90 olduğuna karar verilmiştir. Kronometre ile ölçüm yapan kişinin deneyimi işlem sonuçlarına etki edebilmektedir. Kronometre ile ölçüm sonucu gerçek sonuçları belirlerken, MTM ile yapılan değerlendirme sonucunda da gerçek değere yakın bir değer ile işlem süresi tespit edilebilmiştir. Her iki sistemin de bornoz dikim işleminde en uzun süren operasyon olan yan birleştirme faaliyeti için iki sistemin de rahatlıkla uygulanabileceği ve üretim planlama hesaplamasında kullanılabileceği ortaya konulmuştur.

Teşekkür

Deneysel çalışmada yardımcı olan Denizli ilinde faaliyet gösteren Hürsan Tekstil Konfeksiyon Bölümü yöneticilerine ve çalışanlarına teşekkür ederim.

Kaynaklar

- [1] ÖNCER, M.; ÖZKANLI, Ö., “Ülkemiz İşletmelerinde İş Etüdü Tekniklerinin Uygulanma Düzeyi”, Milli Produktivite Merkezi, Ankara, Türkiye, 576 16, 1996.
- [2] Friedrich Morlocka, Niklas Kreggenfelda, Louis Louwb, Dieter Kreimeiera, Bernd Kuhlenkötter, Teaching Methods-Time Measurement (MTM) for Workplace Design in Learning Factories, Procedia Manufacturing, Science Direct, 9 (2017) 369 – 375.
- [3] MTM, “MTM [online] <http://www.mtmdobrasil.com/> (erişim tarihi : 03.08.2018)
- [4] MTM Association, “MTM Association https://www.dmtm.com/mtm_en/history/ [online]: <http://www.mtm.org/Ticon.ppt> (erişim tarihi : 03.08.2018)
- [5] https://www.dmtm.com/mtm_en/history/ erişim tarihi : 03.08.2018
- [6] M.Cakmakci, M. K. Karasu, “Set-up time reduction process and integrated predetermined time system MTM-UAS: A study of application in a large size company of automobile industry”. International Journal of Advanced

- Manufacturing Technology, Vol. 33, No. 3-4, pp. 334-344, 2007.
- [7] Denis L. M. de Almeida1, João C. E. Ferreira, Analysis of the Methods Time Measurement (MTM) Methodology through its Application in Manufacturing Companies, Flexible Automation and Intelligent Manufacturing, FAIM 2009, Middlesbrough, UK, 2009.
- [8] İLLEEZ, A. S., “Konfeksiyon Sektöründe Süreç Planlamasında Kullanılabilecek Matematiksel Yöntemler”, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü (Yüksek Lisans Tezi), İzmir, 2006.
- [9] KURUMER, G., “Konfeksiyonda Uygulamalı İş Etüdü Teknikleri” Ders Notları, 2011.
- [10] IŞIK, S., “Hazır Giyim Sanayiinde Klasik Erkek Gömleği Üretim Standart Sürelerinin MTM Yöntemi İle Belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi Tekstil Anabilim Dalı Uludağ Üniversitesi, Bursa, 2005.
- [11] CHOİ C. K., IP W. H., A Comparison of MTM and RTM, Work Study Emerald Article, Vol.48 s. 57-61 1999.
- [12] DAL, V., “REFA, MTM ve GSD İş Akış Süresi Belirleme Sistemlerinin Örnek Bir Uygulama İle Karşılaştırılması Olarak İncelenmesi”, TÜBAV Bilim Dergisi, 3 (3) 224-237, 2008.
- [13] KURUMER, G., LÜLECİ, C. “Konfeksiyon İşletmelerinde Kullanılan Oturma Ünitelerinin Sağlık Açısından Risk Unsuru Oluşturan Özelliklerinin Belirlenmesi”, 14. Ulusal Ergonomi Kongresi, KTÜ Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Bildiriler Kitabı, 455-460, Trabzon, 2008.
- [14] DEĞİRMEN, H., “Konfeksiyon Sanayinde Pantolon Üretiminde MTM Yöntemi İle Optimizasyonu”, Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1995.
- [15] ULUDAĞ, S.I., “Hazır Giyim Sanayinde Klasik Erkek Gömleği Üretim Standart Sürelerinin MTM Yöntemi İle Belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, İstanbul, 2005.
- [16] KAYACAN, O., “Konfeksiyon İşletmelerinin Kalite Kontrol İşlemlerinde Standart Sürelerin MTM ve REFA Zaman Ölçüm Yöntemlerine Göre Karşılaştırmalı Olarak Değerlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2001.
- [17] IŞLER, M., KÜÇÜK, M., GÜNER, M., “Konfeksiyon Üretiminde Bir Operasyon İçin İki Farklı Yöntem İle İş Ölçümü Uygulaması”, ISITES, Karabük, 2014.
- [18] GÜNER, M., “Tekstil ve Konfeksiyonda MTM Uygulamaları”, İzmir, 2014.



Impact of Climatic Conditions on PV Array's Optimum Tilt Angle

Ali Ajder¹, Ali Durusu^{1*}, İsmail Nakir¹

¹Department of Electrical Engineering, Yıldız Technical University, 34220 Istanbul, Turkey

(First received 25 April 2018 and in final form 5 August 2018)

(DOI: 10.31590/ ejosat.418559)

Abstract

One of the most important parameters in order to obtain maximum solar radiation for solar power system is the optimum tilt angle of photovoltaic (PV) panels. In this article, the optimum tilt angles of photovoltaic panels are determined for regions of different climatic zones. The annual maximum energy output of PV panels is calculated in MATLAB considering irradiance data only. Annual, seasonal and monthly optimum tilt angles of PV arrays of approximately same latitude with different climatic zones are calculated for fixed tilt angles on the basis of maximum energy output. The incident global solar radiation on the horizontal surface is separated to its direct and diffuse components with a solar angle based mathematical model. Depending on region's latitudes, direct and diffuse radiation, and tilt angle of PV panels, the incident global radiation on inclined surface is calculated for USA conditions. This study is conducted for seven different regions with very close latitudes but different climate zones. It is clear from the result that PV panels with fixed tilt angles located in approximately-same latitudes may result in different optimum tilt angle due to the dissimilar climatic impacts.

Keywords: PV Array, optimum tilt angle, climatic condition

İklim Koşullarının PV Panel Optimum Eğim Açısına Etkisi

Öz

PV panel yüzeyine maksimum ışınımın düşmesi için en önemli parametrelerden bir tanesi optimum eğim açısıdır. Bu çalışmada, farklı iklim bölgelerindeki PV paneller için optimum eğim açısı belirlenmiştir. PV panellerin yıllık enerji üretim değerleri MATLAB ara yüz programı yardımıyla sadece ışınım verisi kullanılarak hesaplanmıştır. Farklı iklim koşullarında ve yaklaşık aynı enlemde sabit konumlandırılmış PV panellerin yıllık, mevsimlik ve aylık maksimum enerji üretiminin sağlandığı optimum eğim açıları hesaplanmıştır. Optimum eğim açısı hesabı için öncelikle yatay yüzeydeki toplam ışınım, güneş açılarına göre matematiksel modeller kullanılarak direk ve yayınlık bileşenlerine ayrılmıştır. Enlem açısı, yatay düzlemdeki direk ve yayınlık ışınım bileşenleri ve eğim açısına göre eğimli yüzeydeki ışınım miktarı ABD koşulları için hesaplanmıştır. Bu adımlar, enlemleri birbirine çok yakın fakat farklı iklim koşullarındaki yedi bölge için tekrarlanmıştır. Sonuç olarak, yaklaşık olarak aynı enlemlerde bulunan sabit eğim açılı PV paneller, farklı iklimsel etkilere bağlı olarak farklı optimum eğim açısıyla konumlandırılması gerektiği görülmüştür.

Anahtar kelimeler: PV panel, optimum eğim açısı, iklim koşulları

1. Introduction

The solar energy is proved to be one of the foremost renewable energy resources in areas having great deal of solar potential. The popularity of PV systems have been increasing every day because of its applicability to different areas, low M&O cost and long lifetime, and particularly environmental advantages. Due to high initial investment cost of PV system, it is necessary to operate the PV panels with possible highest energy output. This necessity is dependent upon the factors such as radiation amount on PV surface and weather temperature (Li et al, 2011; Ishaque et al, 2012). While temperature rise of PV panels reduce the performance outcome, radiation change affects the system's performance as another factor (Beringer et al, 2011). That is why the incident radiation on the PV panel must be maximized, which is the most important factor on PV panel's performance.

In order to obtain maximum solar radiation on PV panels must be positioned at optimum tilt angle or Solar Tracking System (STS) must be used. The purpose of solar tracking systems is to obtain maximum benefit from solar radiation by adjusting the PV panel's angle continuously throughout the day (Khatib et al, 2012). However, since STS consists of moving mechanical parts they are expensive and the probability of failure is high. In addition, STS consume energy while tracking so it may not be appropriate to use STS all the time (Benghamen, 2011). That is why it may be more efficient to adjust PV panels at optimum tilt angles at monthly, seasonal and annual basis to get maximum radiation compared to STS based system (Khatib, 2010). Optimum tilt angles of PV panels generally adjusted in a way that it is very close to the actual latitude of the PV panel to acquire maximum radiation. However, some atmospheric parameters such as the clearness index, latitude and cloudiness affect the global radiation on the surface of the PV panel. Therefore the performances of PV panels vary in different climatic conditions (Gharakhani and Pillay, 2012).

In recent years, great number of studies is conducted on determination of optimum inclination angle of PV panel. In general, radiation data of past years are used in those studies. From those radiation data, optimum inclination angle can be calculated at desired tilts using the mathematical methods (Benghamen, 2011). In addition, from those mathematical methods, monthly, seasonal and annual optimum tilt angles can be calculated. The most important parameter that affects correctness of mathematical methods is characteristics of the sky conditions. In addition, depending upon the directing of the surface of the PV panel, the preciseness of the mathematical methods can vary. Padovan and Del Col (2010) compared the results of their mathematical models with the actual values that are obtained from measuring diffuse and global radiation under the various tilt angles and surface orientation. Also it is observed that, Liu and Jordan's isotropic models and some anisotropic models can give similar results for surfaces directed to the south. Isotropic model has a good performance to obtain radiation on tilted surface under variable radiation conditions (Ayaz et al, 2017)

The mathematical models that are derived from past studies can also vary on its own merit depending upon the parameters taken into account. Regarding this subject, there are number of different methods based on atmospheric conditions, particularly in calculating diffuse radiation. When experimental outcomes and results of mathematical models are compared, it is observed that using anisotropic models sometimes may give better results

for surface of not facing south. The study of Bakırcı (2012) showed that for 8 different reagonis with different climatic conditions, optimum tilt angle values are different for every region during the same time period of the year. Also in a study conducted in five different cities of Malaysia, it is observed that there are 5 to 8 percentage increase in efficiency of energy outcomes of PV panels by changing tilt angle values in a monthly basis (Khatib et al, 2012).

In this study, optimum tilt angle is calculated for seven different areas of United States which are located on the same latitude (40o-41o N). Each of these seven geographical points is in various climatic zones and at different altitudes. The radiation values of those locations are monthly-basis data for one year. The global radiation reaching the horizontal surface is separated into direct and diffuse components. The optimum tilt angles at monthly, seasonal and annual basis are obtained by searching the maximum energy yield for the tilt angles of 0o to 90o and the results are listed in tables. In the end, the benefits from PV panel's optimum tilt angle on monthly, seasonal and annual basis are calculated.

2. Methodology

In this paper, optimum tilt angles of PV panels are calculated using three components of solar radiation, namely direct, diffuse and reflected beams.

The angle of declination is the angle between the line drawn from the center of the earth to the sun and equatorial plane. It is shown in Fig.1. Solar azimuth angle, is shown in Fig 2, is defined as the angle between North- South direction of earth and the projection of the line of sight to the sun on the ground.

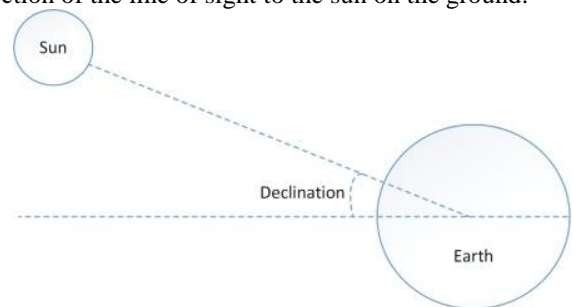


Figure 1. Declination angle

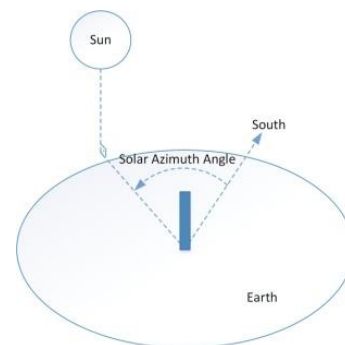


Figure 2. Solar azimuth angle

The hour angle which is expressed in angular units is an expression describing the difference between local solar time and solar noon. It is shown in Fig 3.

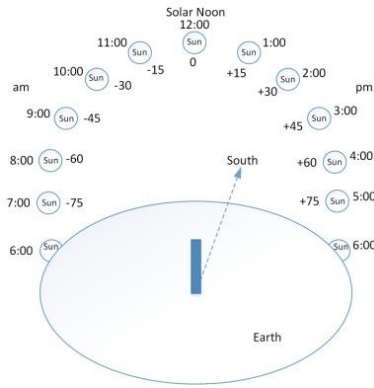


Figure 3. Hour angle

In this study, first of all hourly global solar radiation on horizontal surfaces is separated to its direct and diffuse components. Several estimation techniques are used for determining global solar radiation on horizontal surfaces (Padovan and Del Col, 2010; Chandel et al, 2005; Kamali et al, 2005; Norian et al, 2008; Chandel, 2011). Then, the solar radiation incident on inclined surface is calculated using its direct and diffuse components on horizontal surface. A number of techniques have been proposed for the estimation of solar radiation on inclined surface (Kamali et al, 2005; Norian et al, 2008; Chandel, 2011; Pandey and Katiyar, 2014).

2.1. Separation of Global Solar Radiation on Horizontal Surface to Its Direct and Diffuse Components

The measurements related with solar radiation on the earth's surface are lower than solar constant value due to the various effects of the atmosphere. The main effect is that a fraction of incoming solar radiation is reflected back into space by the atmosphere (Quaschnig, 2005). This is about %30 (Chiras, 2010). Some parts of solar radiation passing through the atmosphere are absorbed by clouds, snow, water bubbles, rain, and air pollution. The remainder reaches to the earth. The total solar radiation reaching earth's surface is called global radiation.

$$\frac{I_d}{I} = \begin{cases} 1.0 - 0.09k_T, & k_T \leq 0.22 \\ 0.9511 - 0.1604k_T + 4.388k_T^2 - 16.638k_T^3 + 12.336k_T^4, & 0.22 \leq k_T \leq 0.80 \\ 0.165, & k_T > 0.80 \end{cases} \quad (6)$$

Direct radiation can be calculated as Eq. (7).

$$I_b = I - I_d \quad (7)$$

where I_b and I_d are hourly direct and hourly diffuse radiations, respectively.

2.2. Calculation of Global Radiation Incident on Inclined Surface

Global radiation incident on inclined surface can be calculated by using direct and diffuse radiation on horizontal surface. Total radiation incident on inclined surface is the sum of incident direct radiation plus diffuse and reflected radiation;

$$I_T = I_b + I_d + I_R \quad (8)$$

One of the most famous models, the isotropic diffuse model, is developed by Liu and Jordan. Some terms related with diffuse radiation are ignored in this model because all diffuse radiation is

Global solar radiation on horizontal surface is composed by direct and diffuse components.

$$H_t = H_b + H_d \quad (1)$$

Measurements of the diffuse irradiance on the horizontal surface are not available though there is recorded global radiation data by many meteorological stations. However, the diffuse component of the global radiation is also required to determine of the radiation incident on inclined surface. Separation of global radiation into its components can be calculated by empirical formulas which are developed as a result of statistical studies. By using the clearness index, it is possible to separate diffuse and direct radiation from the global radiation incident to horizontal surface. The monthly average clearness index is "the ratio of monthly average daily radiation on horizontal surface to the monthly average daily extraterrestrial radiation. It can be calculated by Duffie and Beckman, (1991),

$$\bar{K}_T = \frac{\bar{H}}{H_0} \quad (2)$$

A daily clearness index can be defined as "the ratio of a particular day's radiation to the extraterrestrial radiation for that day. It can be determined by,

$$K_T = \frac{H}{H_0} \quad (3)$$

An hourly clearness index can be calculated by the following expression,

$$k_T = \frac{I}{I_0} \quad (4)$$

where I is hourly global radiation on horizontal surface measured by a pyronometer and I_0 hourly extraterrestrial radiation. I_0 can be calculated by,

$$I_0 = \frac{24 \times 3600}{\pi} G_{SC} \left(1 + 0,033 \cos \frac{360n}{365} \right) \times \left[\cos \phi \cos \delta (\sin \omega_2 - \sin \omega_1) + \frac{\pi(\omega_2 - \omega_1)}{180} \sin \phi \sin \delta \right] \quad (5)$$

where GSC is the solar constant, the solar constant is taken as 1367 W/m². n is the day of the year. ϕ , δ and ω are latitude, declination and hour angle, respectively. In order to obtain I_d/I based on k_T the following expressions can be used,

$$\begin{aligned} & k_T \leq 0.22 \\ & 0.22 \leq k_T \leq 0.80 \\ & k_T > 0.80 \end{aligned} \quad (6)$$

assumed to be isotropic. Total radiation incident on inclined surface can be determined by follows;

$$I_T = I_b R_b + I_d R_d + I_p R_r \quad (9)$$

R_b is the ratio of direct radiation incident on inclined surface to direct radiation incident on horizontal surface. It can be calculated by,

$$R_b = \frac{B_n \cos \theta_B}{B_n \cos \theta} \quad (10)$$

where B_n is the normal incident direct irradiance, θ_B and θ is the incidence angle of solar radiation on inclined surface and horizontal surface, respectively. The incidence angle of solar radiation on inclined surface can be calculated by;

$$\begin{aligned} \cos \theta_B &= \sin \delta \cdot \sin \phi \cdot \sin \beta - \sin \delta \cdot \cos \phi \cdot \sin \beta \cdot \cos \gamma + \\ & \cos \delta \cdot \cos \phi \cdot \cos \beta \cdot \cos \omega + \cos \delta \cdot \sin \phi \cdot \sin \beta \cdot \cos \gamma \cdot \cos \omega + \\ & \cos \delta \cdot \sin \beta \cdot \sin \gamma \cdot \sin \omega \end{aligned} \quad (11)$$

where δ is the declination angle, ϕ is the latitude of the place, β is the tilt angle of panels, γ is the azimuth angle and ω is the solar hour angle. The expression of the term $\cos\theta$ in Eq. (10) can be obtained by Eq. (11) when the tilt angle, β , is set equal to zero. R_d is the ratio of diffuse radiation incident on inclined surface to diffuse radiation incident on horizontal surface. For calculation of R_d , there are two different approaches; one of them is isotropic and the other is anisotropic. In this study all diffuse radiation is assumed to be isotropic so the following expression can be used for R_d ;

$$R_d = \frac{(1+\cos\beta)}{2} \quad (12)$$

The isotropic model is used for calculation of the ground reflected radiation as well as calculation of diffuse radiation so the term R_r is calculated as;

$$R_r = \frac{(1-\cos\beta)}{2} \quad (13)$$

In this study the albedo of the ground (ρ) is set at 0.2 for all working areas. Different albedo values select for different types of surface. For unknown surfaces, the value of albedo = 0.2 is often used (Gharakhani and Pillay, 2012). So values of albedo are equal for all working areas reveal the relationship between optimum tilt angles with climatic differences more clearly at the same time.

2.3. The studied regions

In this study the optimization of tilt angles is performed for the seven different locations which approximately on the same latitude in America (40°-41° N). Seven locations used in this study are located in different climatic zones and different altitudes. So that the PV panels which are approximately on the same latitude are revealed how the optimum tilt angles of panels should be set for different climatic zones and altitude. Latitude, longitude, altitude and climatic conditions for the provinces considered in this study are given in Table 1 and their locations on the map are given in Fig 4.

Table 1. Regional latitude, longitude, altitude, and climate information

| Region | Latitude | Longitude | Altitude(m) | Climate |
|---------------------------------|----------|-----------|-------------|-------------------|
| Westhampton Gabreski (NY) | 40.85 | -72.633 | 20 | Humid continental |
| Wooster (OH) | 40.867 | -81.883 | 346 | Humid continental |
| Aurora (NE) | 40.9 | -98 | 548 | Semi- arid |
| Laramie General Brees Field(WY) | 41.317 | -105.683 | 2215 | Alpine |
| Ogden Hill Afb (UT) | 41.117 | -111.967 | 1459 | Alpine |
| Winnemucca Municipal Arpt (NV) | 40.9 | -117.8 | 1310 | Desert |
| Arcata Airport (CA) | 40.983 | -124.1 | 62 | Mediterranean |



Figure 4. Region's locations on the map

These locations used in the study are located in different climatic zones. Fig. 5 shows the USA climate zones. Westhampton Gabreski and Wooster are the same climatic zones but one of them is near the sea and the other is far from the sea. Likewise, Laramie and Ogden are also the same climatic zones but their altitude is different.

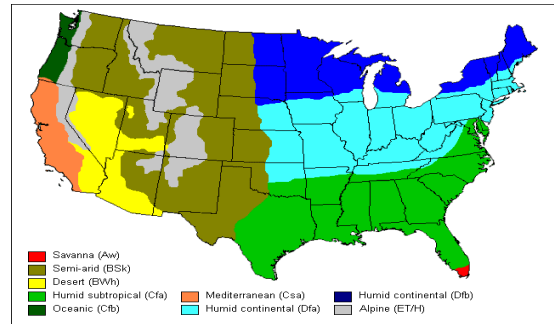


Figure 5. USA climate zones (Climate zone map USA)

3. Results and Discussions

The global radiation for Westhampton Gabreski is given in Fig. 6 for making an example of future work and direct and diffused components which are obtained depend on Kt clearness index by using MATLAB codes.

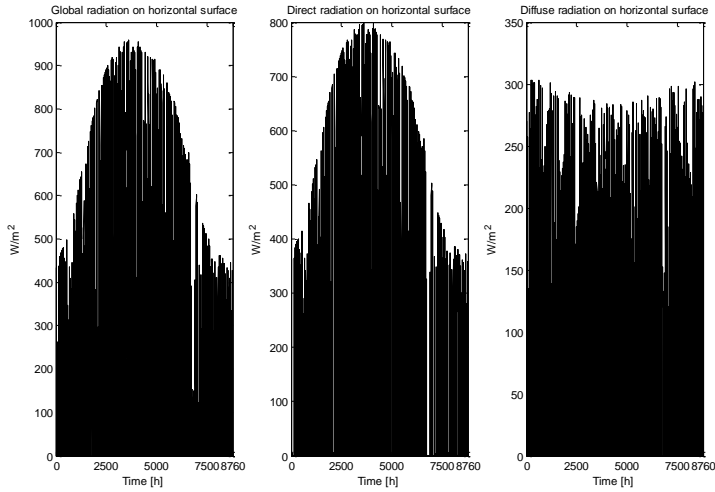


Figure 6. Global, direct and diffused radiation on horizontal surface

The direct, diffuse and reflected radiation on tilted surface is calculated using yearly direct and diffuse radiation on horizontal surface. Total annual amount of energy is obtained for every value of angle with setting β tilt angle of panel 0° to 90° . Total annual radiation is maximum at $\beta=31^\circ$ for Westhampton Gabreski which located on 40.85 North latitude. Fig. 7 shows total annual amount of solar radiation for different tilt angles. Fig. 8 show direct, diffused, reflected and total solar radiation at $\beta = 31^\circ$, inclined surface.

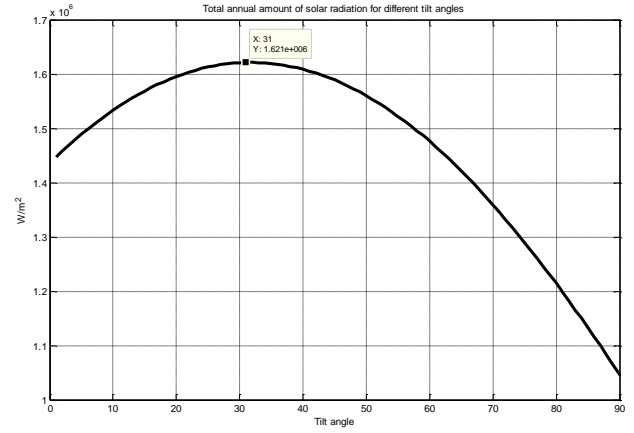


Figure 7. Total annual amount of solar radiation for different tilt angles

The calculations, which are made for Westhampton Gabreski, are repeated for other places. The annual optimum tilt angle values are given Table 2.

Table 2. Annual optimum tilt angle values

| Region | Latitude | Opt. Tilt Angle |
|----------------|----------|-----------------|
| WESTHAMPTON | 40.85 | 31 |
| WOOSTER | 40.867 | 28 |
| AURORA | 40.9 | 32 |
| LARAMIE | 41.317 | 33 |
| OGDEN HILL AFB | 41.117 | 31 |
| WINNEMUCCA | 40.9 | 30 |
| ARCATA AIRPORT | 40.983 | 29-30 |

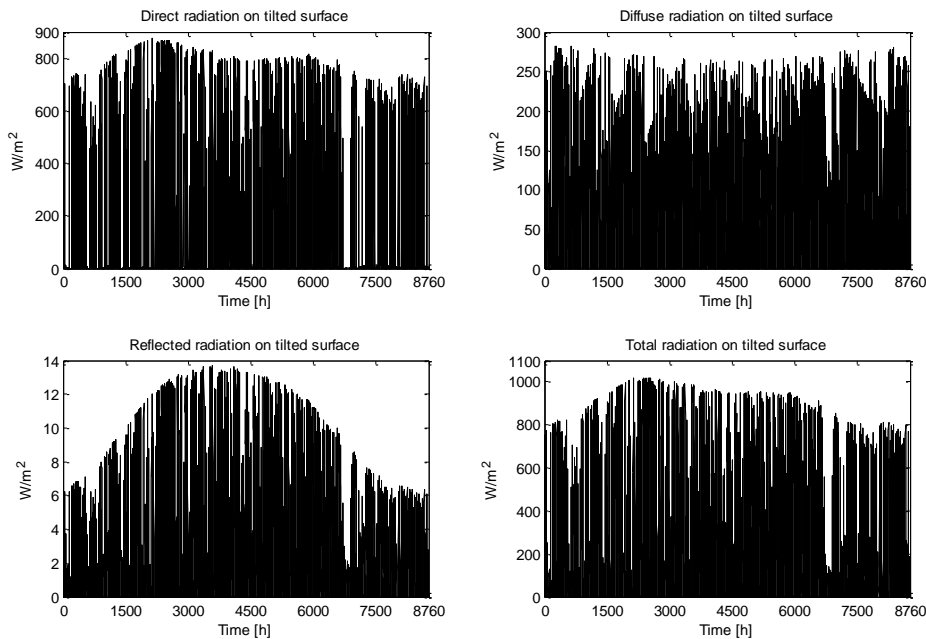


Figure 8. Direct, diffused, reflected and total solar radiation on inclined surface

It can be seen from Table 2, the optimum tilt angles can be different depending on the amount of radiation in the same climatic zone but different altitudes. Although Westhampton and www.ejosat.com ISSN:2148-2683

Wooster are located in same climate, there are differences at the optimum tilt angles because of the sea effect. While the annual optimum tilt angle is 31° for Westhampton which is located near

the sea, it is 28° for Wooster which is located in the midlands. Because Laramie which is located Alpine climate and its altitude is higher, the optimum tilt angle is 33° but for Ogden Hill which is in the lowlands of Alpine climate, the optimum tilt angle is 31°. Aurora is located in semi-arid climate zone, Winnemucca is located in the desert, Arcata is located in Mediterranean climate and all of them are located same latitude, their optimum tilt angle is 32°, 30° and 29° respectively.

The optimum tilt angle values can be different for regions which are located at the same latitude but different altitude and climate zones. The optimum angle values for Wooster can be up to 5 degrees compared with Laramie from these regions. In Table 3, the optimum angle values which should be adjusted according to the seasons is shown.

Table 3. Optimum tilt angle values per season

| Region | Optimum Tilt Angle | | | |
|----------------|--------------------|--------|--------|--------|
| | Winter | Spring | Summer | Autumn |
| WESTHAMPTON | 55 | 26 | 15 | 42 |
| WOOSTER | 47 | 26 | 14 | 41 |
| AURORA | 56 | 27 | 14 | 45 |
| LARAMIE | 56 | 27 | 14 | 46 |
| OGDEN HILL AFB | 54 | 27 | 15 | 46 |
| WINNEMUCCA | 51 | 26 | 13-14 | 45-46 |
| ARCATA AIRPORT | 51-52 | 26 | 16 | 43 |

As can be seen from Table 3 that when the weather is clearer in the spring and summer seasons, the optimum tilt angle is closer together for the 7 regions. When the weather is usually closed in autumn and winter, the optimum tilt angle can be more different.

There will be more energy gain from the panel which is positioned monthly than from panel which is positioned seasonal or annual. Therefore, the monthly optimum tilt angle calculating is important in terms of total annual energy. Table 4 shows the monthly optimum tilt angle values.

Table 4. Monthly optimum tilt angle values

| Region | Optimum Tilt Angle | | | | | | | | | | | |
|----------------|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|------|
| | Jan. | Feb. | Mar. | Apr. | May | Jun. | Jul. | Aug. | Sep. | Oct. | Nov. | Dec. |
| WESTHAMPTON | 55-56 | 50-51 | 40 | 27 | 14-15 | 9 | 13 | 22 | 35 | 43 | 55 | 59 |
| WOOSTER | 51 | 49 | 39-40 | 27 | 15 | 10 | 12 | 22 | 35 | 44-45 | 52 | 32 |
| AURORA | 57-58 | 51 | 41 | 26-27 | 15 | 10 | 12 | 22 | 36 | 48-49 | 55-56 | 60 |
| LARAMIE | 60 | 53 | 41-42 | 27 | 14 | 7 | 12 | 22-23 | 36 | 50 | 57 | 60 |
| OGDEN HILL AFB | 54 | 52 | 42 | 27 | 14-15 | 10 | 12 | 23 | 37 | 49 | 56 | 58 |
| WINNEMUCCA | 37 | 50-51 | 42 | 26 | 13 | 7 | 11 | 22 | 36 | 49-50 | 56-57 | 58 |
| ARCATA AIRPORT | 51-52 | 49 | 39 | 26 | 14 | 10-11 | 13 | 23 | 35-36 | 46 | 53 | 55 |

It is deduced from Table 4 that the optimum tilt angle is less different for the months which is clear as well as seasonal positioning. The optimum tilt angle is very low for Wooster in December and it is low for Winnemucca in January. In the study, 1-year data are used. Thus, temperatures of the weather could be realized unseasonable in certain months for taken into consideration of year.

4. Conclusion

The optimum tilt angle for PV panels positioned at a fixed angle has a critical importance to receive the maximum power output in a system design. This study has shown that the optimum tilt angle of fixed PV panels can be different for locations which

are at the approximately same latitude but in different climate zones considering only radiation data. Therefore, the meteorological data is extremely important to take into consideration in PV system design. Total annual amount of energy which is calculated by annual / seasonal / monthly optimum angle obtained in MATLAB increase between 1.75% and 3.34% when it is positioned as seasonal with respect to annual. Similarly, if the monthly optimum angle is used instead of annual optimum angle the gain in energy is up to 4.19% for seven regions. In the winter months, the difference between optimum tilt angles of PV panels which are located approximately on the same latitude but in different climatic conditions is more noticeable due to cloudiness. This study is carried out for provinces which are located in different climate

zones considering only the radiation data. If other meteorological data (temperature, wind, humidity, etc.) are taken into account beside solar radiation, it is possible to get different results.

References

- M. Li, X. Ji, G. Li, S. Wei, Y. Li, and F. Shi, "Performance study of solar cell arrays based on a Trough Concentrating Photovoltaic/Thermal system," *Appl. Energy*, vol. 88, no. 9, pp. 3218–3227, Sep. 2011.
- K. Ishaque, Z. Salam, A. Shamsudin, and M. Amjad, "A direct control based maximum power point tracking method for photovoltaic system under partial shading conditions using particle swarm optimization algorithm," *Appl. Energy*, vol. 99, pp. 414–422, 2012.
- S. Beringer, H. Schilke, I. Lohse, and G. Seckmeyer, "Case study showing that the tilt angle of photovoltaic plants is nearly irrelevant," *Sol. Energy*, vol. 85, no. 3, pp. 470–476, Mar. 2011.
- T. Khatib, A. Mohamed, and K. Sopian, "On the monthly optimum tilt angle of solar panel for five sites in Malaysia," in *International Power Engineering and Optimization Conference*, 2012, no. June, pp. 6–7.
- M. Benganem, "Optimization of tilt angle for solar panel: Case study for Madinah, Saudi Arabia," *Appl. Energy*, vol. 88, no. 4, pp. 1427–1433, Apr. 2011.
- T. Khatib, "A review of designing, installing and evaluating standalone photovoltaic power systems." *J. Appl. Sciences*, pp. 1212–1228, 2010.
- A. Gharakhani Siraki and P. Pillay, "Study of optimum tilt angles for solar panels in different latitudes for urban applications," *Sol. Energy*, vol. 86, no. 6, pp. 1920–1928, Jun. 2012.
- A. Padovan and D. Del Col, "Measurement and modeling of solar irradiance components on horizontal and tilted planes," *Sol. Energy*, vol. 84, no. 12, pp. 2068–2084, Dec. 2010.
- R. Ayaz, A. Durusu and H. Akca, "Determination of Optimum Tilt Angle for Different Photovoltaic Technologies Considering Ambient Conditions: A Case Study for Burdur, Turkey," *J. Sol. Energy Eng.*, vol. 139, no. 4, p. 041001, 2017.
- K. Bakirci, "General models for optimum tilt angles of solar panels: Turkey case study," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 16, no. 8, pp. 6149–6159, Oct. 2012.
- S. S. Chandel, R. K. Aggarwal, and a. N. Pandey, "New Correlation to Estimate Global Solar Radiation on Horizontal Surfaces Using Sunshine Hour and Temperature Data for Indian Sites," *J. Sol. Energy Eng.*, vol. 127, no. 3, p. 417, 2005.
- G. A. Kamali, I. Moradi, and A. Khalili, "Estimating solar radiation on tilted surfaces with various orientations: a study case in Karaj (Iran)," *Theor. Appl. Climatol.*, vol. 84, no. 4, pp. 235–241, Sep. 2005.
- A. M. Noorian, I. Moradi, and G. A. Kamali, "Evaluation of 12 models to estimate hourly diffuse irradiation on inclined surfaces," *Renew. Energy*, vol. 33, no. 6, pp. 1406–1412, Jun. 2008.
- S. S. Chandel, "Estimation of Hourly Solar Radiation on Horizontal and Inclined Surfaces in Western Himalayas," *Smart Grid Renew. Energy*, vol. 02, no. 01, pp. 45–55, 2011.
- C. K. Pandey and a. K. Katiyar, "Hourly solar radiation on inclined surfaces," *Sustain. Energy Technol. Assessments*, vol. 6, pp. 86–92, Jun. 2014.
- V. Quaschnig, *Understanding renewable energy systems*, Third Edit. London: Earthscan, 2005.
- D. Chiras, *Solar Electricity Basics: A Green Energy Guide*, First Edit. Canada: New Society, 2010.
- J. Duffie and W. Beckman, *Solar engineering of thermal processes*, Second Edi. New York: John Wiley and Sons, 1991.

Climate Zone Map USA
<http://www2m.biglobe.ne.jp/%257EZenTech/English/Climate/USA/index.htm>



Bina İçi Radon Konsantrasyonlarının Belirlenmesi

Osman GÜNAY^{1*}, Serpil AKÖZCAN², Feride KULALI³

¹İstanbul Okan Üniversitesi SHMYO İSTANBUL
²Kırklareli Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi KIRKLARELİ
³Üsküdar Üniversitesi SHMYO İSTANBUL
*osman.gunay@okan.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 11 Temmuz 2018 ve Kabul Tarihi 27 Ağustos 2018)

(DOI: 10.31590/ ejosat.442702)

Öz

Tüm canlılar hayatları süresince iç ve dış doğal radyasyona maruz kalmaktadır. Doğal radyasyon, genellikle kozmik ışınlardan ve karasal radyasyon kaynaklarından oluşmaktadır. Karasal doğal radyasyon kaynaklarını oluşturan ana radyonüklidler uranyum, toryum ve potasyumdur. Radon, tüm dünya yüzeyinde toprak, kayalar ve suda bulunan uranyumun bozunumuyla doğal olarak oluşan radyoaktif bir gazdır. İnsanların radyasyona maruz kalmasına en yüksek katkı konutlardaki radon konsantrasyonundan gelmektedir.

Bu çalışmada, İstanbul il merkezinde bulunan bir hastanenin farklı katlarında ölçülen radon gazı konsantrasyonlarının sonuçları sunulmuştur. Kısa süreli kapalı radon ölçümleri, sürekli aktif radon detektörü (AlphaGUARD) kullanılarak yapılmıştır. Sonuçlar, kapalı ortam radon konsantrasyonlarının 19'dan 53 Bq m⁻³'e kadar değiştiğini göstermektedir. Ayrıca, çalışmada, ortalama kapalı doz konsantrasyonu ve yıllık etkin doz oranı belirlenmiştir. Bina içerisinde günde ortalama 6 saat kalan bir kişinin radondan dolayı alacağı yıllık radyasyon dozunun 0.150 mSv ile 0.402 mSv arasında değiştiği bulunmuştur. Bununla birlikte, çalışma bölgesinde, ortalama kapalı doz konsantrasyonunun yanı sıra yıllık etkin doz oranının da Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK) tarafından önerilen sınır seviyesinin altında olduğu bulunmuştur.

Anahtar kelimeler: Radon, AlphaGUARD, Radyoaktivite

Determination of indoor radon concentrations

Abstract

All living beings are continuously exposed to the natural external and internal sources of radiation during their lifetime. Natural radiation is usually composed of cosmic rays and terrestrial radiation sources. The main radionuclides that make up terrestrial natural radiation sources are uranium, thorium and potassium. Radon is a radioactive gas that is formed naturally by the decay of Uranium which is found in soil, rocks and water all over the earth. The highest contribution to radiation exposure of the people is due to radon which may concentrate in dwellings.

In this study, the results of radon gas concentrations measured in different floors inside a hospital located in Istanbul city center were presented. The short term indoor radon measurements were performed using a continuous active radon detector (AlphaGUARD). The results show that the indoor radon concentrations varied from 19 to 53 Bq m⁻³. Furthermore, in the study, the average indoor radon concentration as well as the annual effective dose rate were determined. The annual radiation dose for a person who stayed in the building for an average of 6 hours per a day was found vary from 0.150 mSv to 0.402 mSv. However, in the study region, the average indoor radon concentration as well as the annual effective dose rate are found to be below the action level recommended by Turkey Atomic Energy Agency (TAEK)

Key words: Radon, AlphaGUARD, Radioactivity, dose

1. Giriş

Tüm canlılar hayatları boyunca çevrelerinden gelen radyasyona maruz kalmaktadırlar (Aközcan, 2014; Akkurt vd., 2015; Çetin vd., 2016; Günay, 2018; Kara vd., 2017a; Mavi ve Akkurt, 2010; Seçkiner vd., 2017; Uyanık vd., 2010). Bu radyasyon iyonlaştırıcı (gama ışınları, X-ışınları, beta radyasyonları, alfa, kozmik ışınlar v.b.) ve iyonlaştırıcı olmayan

(kızılötesi, ultraviyole, mikrodalgalar, radyo dalgaları v.b.) olmak üzere iki ayrı sınıfta incelenebilir. Radyasyon kaynakları ise doğal ve yapay olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Doğal radyasyon kaynakları, yer kabuğunda var olan radyonüklidler, kozmik ışınlar, bazı gıdalar olup bunlar, insanın ömrü boyunca aldığı radyasyon dozunun yaklaşık %85 ini teşkil etmektedir. Yapay radyasyon kaynakları ise alınan toplam dozun yaklaşık %15 idir. (Akkurt, 2009; Demir vd., 2017; Günay vd., 2018a; Kara vd.,

2017b; Uyanık vd., 2013; Akkurt vd., 2006; Kara vd., 2016a; Uyanık vd., 2015; Akkurtvd., 2010; Kara U vd., 2016b)

Canlıların maruz kaldığı doğal radyasyon içerisinde ise radon payı yaklaşık %54 dür (Özkorucuklu vd. 2006). Radon gazı topraktan çıkarak atmosfere yayılmaktadır. Atmosfere yayılması esnasında binaların çatlaklarından bina içerisine girebilmektedir. Radon gazı ve bozunum ürünleri, toprak arasında bulunan boşluklardan havayla ve temas halindeki yer altı sularından toprak yüzeyine çıkışı esnasında atmosfere doğru yayılır. Binaların kurulmuş olduğu toprağın veya kayaçların altındaki uranyum içeren toprak veya kayaçlar bina içerisine giren radon gazının temel kaynağıdır. Yerkürenin içerisindeki kayaçlarda ve toprakta farklı konsantrasyonlarda radyum ve uranyum ihtiva etmektedir (Durrani ve Ilic1997a; Gültekin vd. 2003).Uranyum kaynağının risk teşkil etmesi için uranyum konsantrasyonun belirli bir miktardan (50 ppm) daha fazla olması gerekmektedir.

Radon gazının binaların içerisine giriş mekanizması ise, toprakta var olan radon gazının bina temelinde bulunan çatlaklardan içeriye doğru sızması, radon gazının binaların çevresinde birikip, sıcaklık-basınç farkıyla kapı ve pencerelerden binaya girmesi, binadaki kullanım suyunun içerisinde radon gazı çözünerek binaya girmesi ve binanın yapıldığı malzemelerde bulunan radyoaktif elementlerden bina içerisine girmesi olarak belirtilmektedir. (Gültekin vd. 2003).

Binaların içerisindeki radon kaynaklarından bir tanesi de binanın yapımı esnasında kullanılan inşaat malzemeleridir. Bu malzemelerin büyük bölümü uranyum içermektedir. Bu uranyum potansiyel olarak radon gazı yayımcısıdır. (Durrani ve Ilic 1997b)

Bina içerisindeki radon konsantrasyonlarını etkileyen en önemli faktörlerden bir tanesi de, binanın içerisindeki hava dolanım biçimi ile havalandırma sıklığı ve süresidir. Yeterli havalandırmaya sahip olmayan binaların içerisinde biriken radon gazı konsantrasyonunun daha fazla olduğu bazı çalışmalarda bildirilmiştir(Çelebi vd. 2003).

İnsanlar yaşamlarının büyük bölümünü bina içerisinde geçirdiklerinden dolayı, bina içerisindeki radon gazının yoğunluğunun bilinmesi insan sağlığı açısından oldukça önemlidir. Hem işyerlerinde hem de evlerde sağlık bakımından tehlikeli düzeylere ulaşma ihtimali olan bina içi radon konsantrasyonlarının belirlenmesi oldukça önemlidir.

Dünya genelinde doğal radyasyon kaynaklarına bakıldığında; kozmik ışınlardan gelen radyasyon miktarı 0.39 mSv/yıl, gama radyasyonundan gelen katlı 0.46 mSv/yıl, vücut içi radyasyon ışınlamalarından gelen 0.25 mSv/yıl iken radondan kaynaklanan vücuda alınan radyasyon dozu kişi başına ortalama 1.3 mSv/yıl olmaktadır (Kürkçüoğlu ve Bayraktar, 2012). Radyasyon sebebiyle canlı vücudunda oluşan biyolojik etkiler, alınan toplam doza, dozun alınma süresine, radyasyondan etkilenen organa vb birçok faktöre bağlı olarak değişmektedir(Fişne 2002).

UNSCEAR ve ICRP raporlarına göre radon gazı ve bozunum ürünlerinin vücut içerisine solunması sonucunda akciğere ve üst solunum yollarına hasar verdiği ayrıca akciğer kanserine sebep olduğu bildirilmektedir.

Radonun bozunması sonucunda açığa çıkan ürünler ve radon havada bulunan toz veya diğer parçacıklara tutunarak veya tutunmadan nefes alma sırasında kolaylıkla vücuda girebilmektedir. Vücuda giren bu ürünler kararlı duruma gelinceye kadar bozunmaya devam ederler. Böylelikle açığa çıkan enerji akciğer dokusuna zarar verebilir. Akciğer kanserinin oluşmasındaki en önemli nedenlerden bir tanesi de radon gazıdır.

Hem toprakta, hem de bina içerisinde radon gazı konsantrasyonlarının ölçülmesine yönelik yapılan çok sayıda çalışma vardır (Kulalı and Akkurtı ,2015; Kulalı vd. 2014; Günay vd. 2018b).

Bu çalışma, bir hastane binası içerisinde bodrum-1 ve bodrum-2 katlarındaki radon konsantrasyonlarını belirlemek amacıyla yapılmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

2.1 Radon

Radon gazı, 1900 yılında F.E. Dorn tarafından bulunmuş olup atom numarası 86 dir. Soy gaz ailesine mensup olan radon gazı, tatsız, kokusuz ve renksizdir. Hidrojen gazından 100 kat, havadan ise 7.5 kat daha ağır olup özkütlesi 9.73 g/l dir. Donma noktası - 71 °C ve kaynama noktası ise-61.8°C olduğu için hem 0 °C da hem de oda sıcaklığında gaz halindedir. Radon gazı soğuk suda daha iyi çözünmekte olduğundan sıcaklık arttıkça çözünürlüğü azalmaktadır.

Radon gazının 36 tane radyoaktif izotopu bulunmaktadır. Bunların kütle numaraları ise 193 ile 222 arasında değişmektedir. Şu ana kadar doğada herhangi bir kararlı izotopu bulunamamıştır. Bu 36 izotopu içerisinde 3 tanesi doğal radyoaktif bozunma serisinin içerisinde. Bunlar, ²²²Rn (Radon), ²²⁰Rn (Toron), ²¹⁹Rn (Aktinon) olup kütle numaraları sırasıyla 222, 220 ve 219 dur. Bunlar radyoaktif bozunma serilerinden geldikleri için birçok araştırmaya konu olmuşlardır.

²¹⁹Rn un yerkabuğunda oldukça az miktarda,yaklaşık % 0.07 bollukla bulunmaktadır. ²²⁰Rn nin ise yarı ömrünü 55.5 s ile oldukça kısadır. ²²²Rn hem doğadaki miktarı oldukça bol olması ve hem yarı ömrünün 3.82 ile diğerlerinden uzun olması sebebiyle radon olarak adlandırılmıştır.

Doğada 4 tane radyoaktif bozunma serisi vardır. Bunlar uranyum serisi, aktinyum serisi, neptünyum serisi ve toryum serisidir. ²²²Rn, uranyum bozunma serisinden, ²²⁶Ra bozunumundan meydana gelmektedir. Ömrü diğer izotoplarına göre uzun ve miktarı daha bol olduğu için toprak içerisindeki gazda ve atmosferdeki yoğunluğu fazladır.

Atmosferde bulunan radon gazının önemli bir kısmı yer altında bulunan kayaçlardan ve topraktan meydana gelmiştir. Toprakta bulunan radonun belirli bir bölümü topraktan ayrılarak, toprak arasındaki boşluğa geçebilir (Günay vd., 2018b). Buna emanasyon katsayısı denir. Emanasyon katsayısı etkileyen üç nemli faktör vardır. Bunlar, nem, sıcaklık ve tanecik boyutu dur. Nemli ortamların emanasyon katsayısı daha fazladır. Sıcaklık arttıkça emanasyon kesri artmaktadır. Tanecik boyutu ve şeklinin emanasyon kesrine etkisi taneciğin yüzey alanı ve taneciğin boyutlarına bağlıdır. Yüzey alanının hacme oranı büyük olan taneciklerin emanasyon kesri daha büyüktür. Radon tanecikler arasındaki boşluğa girdikten sonra atmosfere doğru hareketi radon göçü olarak tanımlanmaktadır. Radon göçünü etkilen faktör ayısı oldukça fazladır (Durrani ve Ilic, 1997a). Bunlardan başlıcaları radon bozunma hızı, gözeneklerde bulunan akışkanlar ve açık hava basıncıdır.

2.2 Radon Ölçüm Yöntemleri

Radon gazının ölçümü, radon gazından çıkan alfa parçacıklarının sayımına dayanmaktadır. Radon ölçüm yöntemleri genellikle üç ana başlık altında toplanmaktadır. Bu

ölçüm yöntemleri anlık, integral ve sürekli ölçüm olarak literatüre geçmiştir.

Anlık ölçüm yöntemlerinde bozunum ürünü olan alfa parçacığının çok kısa bir zaman diliminde deteksiyonuna dayanmaktadır. Bu yöntemde genellikle Lucas hücresi kullanılır.

Integral ölçüm yönteminde ise radon gazı belirli bir süre toplanarak ölçümler yapılır. Bu yöntemde 10 gün ile 180 gün arasında değişen oldukça uzun zaman almaktadır. Bu yöntemin en büyük dezavantajı kısa süreli bilgilere ulaşmanın oldukça zor olmasıdır. Bu yöntemde genellikle nükleer iz kazıma detektörleri kullanılır.

Sürekli radon ölçümlerinde, elektronik detektörler kullanılmaktadır. Bu yöntemde sürekli olarak hiç ara vermeden kısa periyotlarla (10 dakika gibi) ölçümler yapılır ve yapılan ölçümler elektronik olarak kayıt edilebilir. Bunun için üretilmiş çok sayıda elektronik cihaz vardır. Bunlardan başlıcaları, Barasol detektörü, Clipperton dedektörü ve AlphaGUARD cihazıdır (Şekil-1).

AlphaGUARD, iyonizasyon odasına sahip olan, anodu ile katodu arasında 750 volt bulunan, çelikten imal edilmiş bir cihazdır. Cihazın toplam hacmi 620 cm³ olup etkili hacmi ise 560 cm³ dür. Detektörün bataryası yaklaşık 10 gün ölçüm yapmaktadır. Fakat güç kaynağına bağlanırsa bu süre oldukça uzatılabilmektedir.

AlphaGUARD cihazıyla 6 Bqm⁻³ ile 2.10⁶ Bqm⁻³ aralığında ölçüm yapabilir. Bununla beraber hata payı %3 olması sebebiyle avantajlı bir cihazdır. AlphaGUARD cihazı çeşitli aparatlar kullanılarak havada, toprakta ve suda ölçüm yapabilir. Bununla beraber cihaz, sıcaklığı, açık hava basıncını ve ortamdaki nemi de ölçmektedir.



Şekil 1. AlphaGUARD Cihazı.

2.3 Çalışma Bölgesi ve Ölçüm Sistemi

Bu çalışmada bina içi radon gözü ölçümleri bir hastanede yapılmıştır. Bina içerisinde yapılan radon gazı ölçümleri genellikle binanın en alt katlarında yapılmaktadır. Çünkü zemine yakın olan katlarda topraktan sızan radon gazı konsantrasyonları daha yüksektir. Bu düşünceyle ölçümler, hastanenin zeminle bağlantısı olan bodrum-2 katında ve bodrum-1 katında yapılmıştır.

Ölçümler, Bodrum-2 katında, malzeme ana deposu, biyomedikal odası, muhasebe, satın alma, kurumsal iletişim odaları, asansör önü koridor, muhasebe önü koridor ve otopark da, Bodrum-1 katında ise, PET-BT kontrol odası, PET-BT bekleme odası, Radyasyon Onkolojisi kontrol odası, Radyasyon onkolojisi koridor, Teknik ofis, Elektrik odası önü koridor, Sedyeye asansörü koridor ve otoparkta yapılmıştır.

Ölçüm cihazı olarak, AlphaGUARD radon monitörü kullanılmıştır. Her bir ölçüm noktasında her 10 dakikada bir ölçüm alınmıştır. Bir saat boyunca 6 ölçüm yapıp ortalaması alınarak ölçüm noktasının radon konsantrasyonu hesaplanmıştır. Ayrıca AlphaGUARD cihazında bulunan sensörler vasıtasıyla ölçüm noktasındaki sıcaklık, nem ve basınç sonuçları elde edilmiştir.

3. Araştırma Bulguları

Bu çalışmada elde edilen radon konsantrasyonları, sıcaklık, nem ve basınç sonuçları Tablo 1’de gösterilmiştir.

Tablo 1’de kodlanan ölçüm noktaları aşağıdaki gibidir:

Bodrum-1 Kat için;

B1-1: PET-BT kontrol odası

B1-2: PET-BT bekleme odası

B1-3: Radyasyon onkoloji odası

B1-4: Radyasyon onkoloji koridoru

B1-5: Elektrik odası önü koridor

B1-6: Bodrum-1 otoparkı

B1-7: Teknik ofis

B1-8: Sedyeye asansörü önü koridor

Bodrum-2 kat için;

B2-1: Malzeme ana deposu

B2-2: Biyomedikal odası

B2-3: Muhasebe odası

B2-4: Spor salonu önü koridor

B2-5: Satın alma odası

B2-6: Bodrum-2 otoparkı

B2-7: Kurumsal iletişim odası

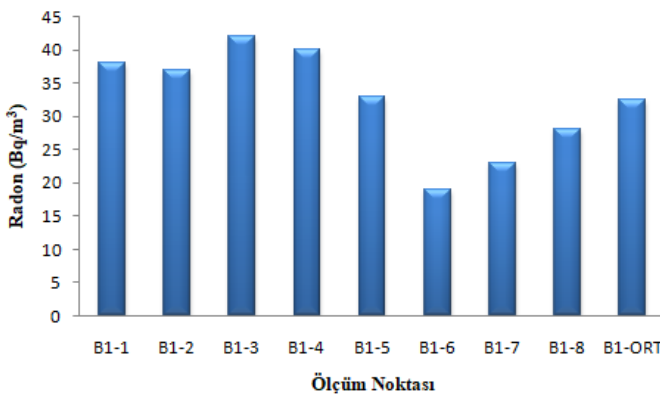
B2-8: Sedyeye asansörü koridor.

Tablo 1. Ölçüm noktalarına göre radon konsantrasyonları, sıcaklık, nisbi nem ve basınç sonuçları

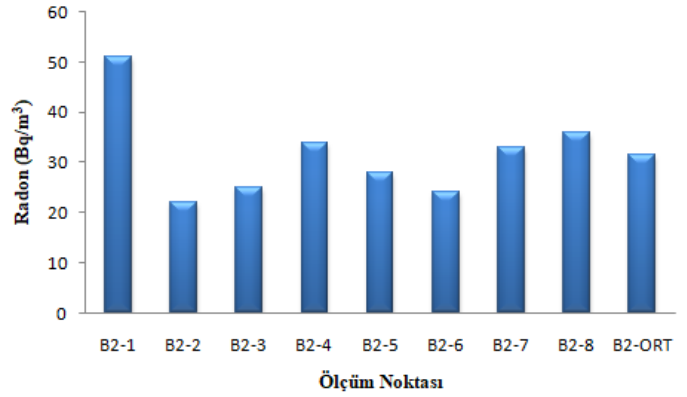
| Ölçüm Yeri | Ölçüm Noktası | Radon (Bq/m ³) | Sıcaklık (°C) | Nem (%) | Basınç (hPa) |
|--------------|---------------|----------------------------|---------------|-------------|---------------|
| BODRUM-1 KAT | B1-1 | 38±12 | 23 | 58 | 1014 |
| | B1-2 | 37±13 | 23 | 59 | 1015 |
| | B1-3 | 42±14 | 23 | 58 | 1015 |
| | B1-4 | 40±13 | 23 | 58 | 1015 |
| | B1-5 | 33±11 | 23 | 60 | 1015 |
| | B1-6 | 19±8 | 23 | 60 | 1015 |
| | B1-7 | 23±9 | 23 | 59 | 1015 |
| | B1-8 | 28±11 | 23 | 60 | 1015 |
| | B1-ORT | 32.5±11 | 23.0 | 59.0 | 1014.9 |
| BODRUM-2 KAT | B2-1 | 51±15 | 24 | 57 | 1015 |
| | B2-2 | 22±9 | 23 | 59 | 1015 |
| | B2-3 | 25±9 | 24 | 58 | 1015 |
| | B2-4 | 34±12 | 23 | 58 | 1015 |
| | B2-5 | 28±10 | 23 | 58 | 1015 |
| | B2-6 | 24±9 | 23 | 58 | 1015 |
| | B2-7 | 33±10 | 23 | 59 | 1015 |
| | B2-8 | 36±12 | 24 | 58 | 1015 |
| | B2-ORT | 31.6±10 | 23.4 | 58.1 | 1015.0 |

Bodrum-1 katında en düşük radon konsantrasyonu 19±8 Bqm⁻³ ile otoparkta (B1-6), en yüksek radon konsantrasyonu ise 42±14 Bqm⁻³ ile radyasyon onkoloji odasında (B1-3) bulunmuştur. Bodrum-1 katında ortalama radon konsantrasyonu 32.5±11 Bqm⁻³ olarak bulunmuştur (Şekil-2). Bu kattaki tüm ölçüm noktalarındaki hava sıcaklığı 23 °C dir. Nispi nem ise bu kat için %58 ile %60 arasında değişmektedir. Nispi nemin ortalaması ise %59 olarak hesaplanmıştır. Açık hava basıncı ise bodrum-1 katı için 1014 hPa ile 1015 hPa arasında değişmektedir.

Bodrum-2 katı için en düşük radon konsantrasyonu 22±9 Bqm⁻³ olarak biyomedikal odasında (B2-2) hesaplanmıştır. En yüksek radon konsantrasyonu ise 51±15 Bqm⁻³ malzeme ana deposunda (B2-1) bulunmuştur (Şekil-3). Bodrum-2 katındaki ölçüm noktalarındaki hava sıcaklığı 23 °C ile 24°C arasında değişmektedir. Bu kattaki nispi nem ise %57 ile %59 arasında değişmektedir. Bu katta ölçülen açık hava basıncı ise her noktada aynı olup değeri 1015 hPa dir.



Şekil 2. Ölçüm noktalarına göre bodrum-1 katı için radon konsantrasyonları



Şekil 3. Ölçüm noktalarına göre bodrum-2 katı için radon konsantrasyonları

Hesaplanan ortalama radon konsantrasyon değerleri kullanılarak, kişinin maruz kalacağı radondan kaynaklanan radyasyon dozu, yıllık etkin doz eşdeğeri olarak tanımlanmaktadır (YEDE). Yıllık etkin doz eşdeğeri ise aşağıdaki bağlantıdan hesaplanmaktadır.

$$YEDE = C_{Rd} \times F \times EEC \times t$$

Burada,

C_{Rd} : Radon konsantrasyonu (Bqm⁻³)

F: Radon ile bozunma ürünleri arasındaki denge faktörüdür ve bu çalışmada 0.4 olarak alınmıştır.

EEC: Doz çevirme katsayısı (equilibrium equivalent concentration) dir. 9×10^{-9} (Sv/saat)/(Bqm⁻³) olarak alınmıştır.

t: Bina içerisinde bir yılda ortalama olarak geçirdikleri zaman (saat) dir. Örneğin bir kişi binada günde 6 saat geçiriyorsa bir yılda toplam 2190 saat geçireceği için bağlantıda 2190 alınmalıdır.

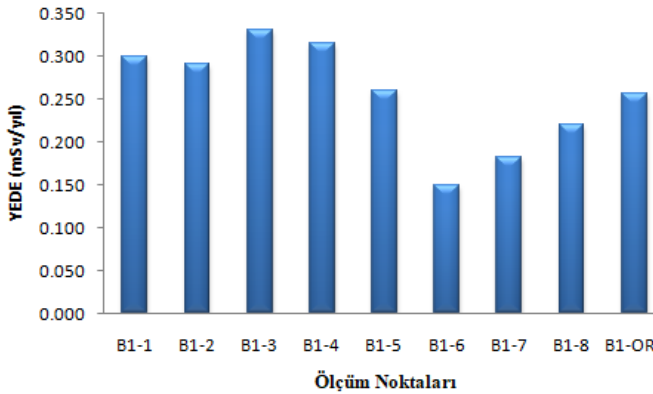
Kişinin bina içerisinde bulunma süresi farklılık göstereceği için, bu çalışmada bina içerisinde ortalama olarak günde 3 saat, 6 saat, 12 saat ve 24 saat kalma durumunda 1 yıl boyunca radondan kaynaklanan alacağı radyasyon dozu hesaplanmış ve tablo-2 de gösterilmiştir.

Tablo 2. Ölçüm noktalarına göre ve bina içerisinde günlük bulunma sürelerine (3 saat, 6 saat, 12 saat, 24 saat) göre, yıllık etkin doz eşdeğeri

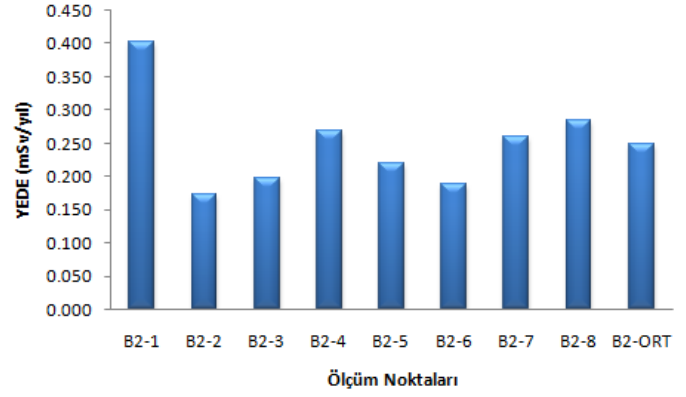
| Ölçüm Yeri | Ölçüm Noktası | 3 saat YEDE (mSv/yıl) | 6 saat YEDE (mSv/yıl) | 12 saat YEDE (mSv/yıl) | 24 saat YEDE (mSv/yıl) |
|--------------|---------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|
| BODRUM-1 KAT | B1-1 | 0.150 | 0.300 | 0.599 | 1.198 |
| | B1-2 | 0.146 | 0.292 | 0.583 | 1.167 |
| | B1-3 | 0.166 | 0.331 | 0.662 | 1.325 |
| | B1-4 | 0.158 | 0.315 | 0.631 | 1.261 |
| | B1-5 | 0.130 | 0.260 | 0.520 | 1.041 |
| | B1-6 | 0.075 | 0.150 | 0.300 | 0.599 |
| | B1-7 | 0.091 | 0.181 | 0.363 | 0.725 |
| | B1-8 | 0.110 | 0.221 | 0.442 | 0.883 |
| | B1-ORT | 0.128 | 0.256 | 0.512 | 1.025 |
| BODRUM-2 KAT | B2-1 | 0.201 | 0.402 | 0.804 | 1.608 |
| | B2-2 | 0.087 | 0.173 | 0.347 | 0.694 |
| | B2-3 | 0.099 | 0.197 | 0.394 | 0.788 |
| | B2-4 | 0.134 | 0.268 | 0.536 | 1.072 |
| | B2-5 | 0.110 | 0.221 | 0.442 | 0.883 |
| | B2-6 | 0.095 | 0.189 | 0.378 | 0.757 |
| | B2-7 | 0.130 | 0.260 | 0.520 | 1.041 |
| | B2-8 | 0.142 | 0.284 | 0.568 | 1.135 |
| | B2-ORT | 0.125 | 0.249 | 0.499 | 0.997 |

Bina içerisinde günde ortalama 6 saat kalan kişinin radondan dolayı alacağı yıllık radyasyon dozu Bodrum-1 katında bulunduğu yere göre 0.150 mSv ile 0.331 mSv arasında değişmektedir. Bodrum-1 katı için günde 6 saat bina içerisinde bulunan kişinin ortalama alacağı radyasyon dozu ise 0.256 mSv'dir (Şekil-4).

Bodrum-2 katı için ise günde ortalama 6 saat bina içerisinde bulunan bir kişinin radondan kaynaklanan alacağı radyasyon dozu ise 0.173 mSv ile 0.402mSv arasında değişmekte olup, ortalama ise 0.249 mSvdir (Şekil-5).



Şekil 4. Bodrum-1 katında, ölçüm noktalarına göre ve bina içerisinde günlük 6 saat bulunan kişilerin alacakları yıllık etkin doz eşdeğerleri



Şekil 5. Bodrum-2 katında, ölçüm noktalarına göre ve bina içerisinde günlük 6 saat bulunan kişilerin alacakları yıllık etkin doz eşdeğerleri

Bu çalışmadaki radon konsantrasyon değerleri $19 \pm 8 \text{ Bqm}^{-3}$ ile $51 \pm 15 \text{ Bqm}^{-3}$ arasında değişmiştir. Bodrum-1 katında ortalama radon konsantrasyonu $32.5 \pm 11 \text{ Bqm}^{-3}$, bodrum-2 katında ise ortalama $31.6 \pm 10 \text{ Bqm}^{-3}$ olarak bulunmuştur.

Polonya'daki üç ayrı hastanede yapılan çalışmada radon konsantrasyonları, bodrum katı için sırasıyla ortalama 25.3, 45.5 ve 32.3 Bqm^{-3} , zemin katları için sırasıyla 19.7, 24.9 ve 18.6 Bqm^{-3} olarak bulunmuştur (Mnich vd. 2004). Polonya'daki çalışmanın sonuçları ile sunulan bu çalışmanın sonucu birbirlerine yakındır.

4.Sonuç

Dünya sağlık örgütünün (WHO) izin verdiği yıllık ortalama bina içi radon konsantrasyonu 100 Bqm^{-3} ve Türkiye Atom Enerjisi Kurumu'nun izin verdiği bina içi radon konsantrasyonu evlerde 400 Bqm^{-3} , işyerlerinde ise 1000 Bqm^{-3} 'dür.

Bu çalışmada elde edilen en yüksek radon konsantrasyonu ise 51 Bqm^{-3} 'dür. Bodrum-1 katındaki ortalama radon konsantrasyonu ile bodrum-2 katındaki ortalama radon konsantrasyonları birbirlerine oldukça yakın çıkmıştır. Buda topraktan binaya doğru radon akışının oldukça az olduğunun bir göstergesi olabilir. Elde edilen radon konsantrasyonlarının büyük bölümünün bina yapı malzemelerinden kaynaklandığını gösterebilir. Bu çalışmadaki diğer parametreler (sıcaklık, nem ve basınç) genellikle birbirlerine çok yakın değerler olduğu için radon konsantrasyonlarına etkisi belirlenememiştir. Bundan sonraki yapılacak çalışmalarda uzun süreli radon ölçümü yapılarak atmosferik verilerle radon çıkışı arasındaki bağlantı kurulabilir.

Çalışma bölgesi olan söz konusu hastanede radondan kaynaklı radyasyon seviyesi, hem Dünya Sağlık Örgütü'nün hemde Türkiye Atom Enerjisi Kurumu'nun izin verdiği limitlerin altındadır.

Kaynaklar

Aközcan S., 2014, Annual effective dose of naturally occurring radionuclides in soil and sediment, Toxicological and Environmental Chemistry <http://dx.doi.org/10.1080/02772248.2014.939177>

Akkurt İ., Uyanık N.A., Günoğlu K., 2015, "Radiation Dose Estimation: An In Vitro Measurement For Isparta-Turkey" Ijcesen 1-1(2015)1-4 Doi: 10.22399/Ijcesen.194376

- Akkurt İ., 2009, "Effective atomic and electron numbers of some steels at different energies" *Ann. Nucl. En.* 36-11,12(2009)1702-1705 DOI: 10.1016/j.anucene.2009.09.005
- Akkurt, I., Basyigit, C., Kilincarslan, S., Mavi, B., & Akkurt, A., 2006, Radiation shielding of concretes containing different aggregates. *Cement and Concrete Composites*, 28(2), 153-157. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2005.09.006>
- Akkurt I., Akyıldırım H., Mavi B., Kilincarslan S., Basyigit C., 2010, "Photon attenuation coefficients of concrete includes barite in different rate" *Ann. Nucl. Energy.* 37-7(2010)910-914 DOI: 10.1016/j.anucene.2010.04.001
- Çelebi N, Taşdelen M, Özçınar B, Kopuz G, 2003. YTÜ Şevket Sabancı Kütüphanesi radon konsantrasyon ölçümleri, VII. Ulusal Nükleer Bilimler ve Teknolojileri Kongresi, 15-17 Ekim 2003, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, bildiri tam metni http://88.255.58.195/internet_tarama/dosyalar/cd/4115/pdf/3_3.pdf
- Çetin B., Öner F. and Akkurt I., 2016, Determination of Natural Radioactivity and Associated Radiological Hazard in Excavation Field in Turkey (Oluz Höyük), *Acta Physica Polonica A Vol A Vol 130 (2016)*, DOI:10.12693/APhysPolA.130.475
- Demir N., Kıvrak A., Üstün M., Cesur A., Boztosun I., 2017, "Experimental Study for the Energy Levels of Europium by the Clinic LINAC" *IJCESEN* 3-1(2017)47-49
- Durrani, S.A., Ilic, R. 1997a. Radon measurements by etched track detectors: applications in radiation, earth sciences and environment, editors Saeed A. Durrani and Radomir Ilic, *World Scientific*, Singapore, p. 163.
- Durrani, S.A., Ilic, R. 1997b. Radon Measurements by Etched Track Detectors: Applications in Radiation, Earth Sciences and Environment. Editors: Saeed A. Durrani and Radomir Ilic, *World Scientific*, Singapore, 387p.
- Fişne A, 2002. Yer altı madenlerinde radon gazı konsantrasyon seviyelerinin belirlenmesi ve işçi sağlığı üzerine etkilerinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 22-24s.
- ICRP, 1990. Publication 60. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, in ICRP Publication 60. Pergamon Press Annals of ICRP, Oxford, UK.
- Günay O., 2018 , Determination of Natural Radioactivity and Radiological Effects in some Soil Samples in Beykoz-Istanbul, *European Journal of Science and Technology* No. 12, pp. 9-14, April 2018 ISSN:2148-2683
- Günay, O., Saç, M.M., İçhedef, M. Taşköprü, C., 2018a, Natural radioactivity analysis of soil samples from Ganos fault (GF), *Int. J. Environ. Sci. Technol.* Print ISSN: 1735-1472, Online ISSN, 1735-2630
- Günay, O., Saç, M.M., İçhedef, M. Taşköprü, C., 2018b, Soil gas radon concentrations along the Ganos Fault (GF)", *Arabian Journal of Geoscience* 11:213. Print ISSN: 1866-7538, <https://doi.org/10.1007/s12517-018-3542-2>
- Kara U., Yıldız M., Akkurt I., 2017a, " Investigation of Radiation Exposure Dose from Nuclear Medicine Procedures (Tc-99m MAG-3)" *ACTA PHYSICA POLONICA A Vol. 132, No.3, p 883-885.* DOI: 10.12693/APhysPolA.132.883
- Kara U., Kaya A., Tekin H.O., Akkurt I., 2017b, "Adult Patient Radiation Doses with Multislice Computed Tomography Exam: MSCT Standard Protocols" *ACTA PHYSICA POLONICA A Vol. 132, No.3, p 1126-1127.* DOI: 10.12693/APhysPolA.132.1126
- Kara U., Kara Y., Akkurt I., 2016a, "A Study on Radiation in Operating Room in Suleyman Demirel University" *ACTA PHYSICA POLONICA A Vol. 129, No.1, p 401-403.* DOI: 10.12693/APhysPolA.129.401
- Kara U., Tekin H.O., Akkurt I., 2016b, " Computed Tomography Routine Examinations and the Related Risk of Cancer" *ACTA PHYSICA POLONICA A Vol. 129, No.1, p 409-4011.* DOI: 10.12693/APhysPolA.129.409
- Kürkçüoğlu M.A. ve Bayraktar G., 2012, Süleyman Demirel Üniversitesi'nde Bina içi Radon Konsantrasyonlarının Nükleer İz Dedektörleri Kullanılarak Belirlenmesi, *SDÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 16-2(2012)167-183
- Kulalı F, Akkurt İ ,2015, Investigation of radon concentrations in Pamukkale-Turkey. <https://doi.org/10.12693/APhysPolA.128.B-445>
- Kulalı F., Tsvetkova T., Akkurt İ., Suiatin B., Nevinsky I., 2014, Simultaneous Measurement of Groundwater Radon in a Large Area: First Results, *Journal of Scientific Research & Reports* 3(18): 2415-2421, 2014; Article no. JSRR.2014.18.004 SCIEDOMAIN international
- Mavi B., Akkurt I., 2010, "Natural radioactivity and radiation hazards in some building materials used in Isparta, Turkey" *Rad. Phys. Chem.* 79-9(2010)933-9doi: 10.1016/j.radphyschem.2010.03.019
- Mnich Z., Karpinska M., Kapala J., Kozak K., Mazur J., Birula A., Antonowicz K., 2004, Radon concentration in hospital buildings erected during the last 40 years in Białystok, Poland *Journal of Environmental Radioactivity* 75 (2004) 225–232
- Özkorucuklu S., Akyıldırım H, Çapalı V., 2006, Isparta İlinde Radon Yoğunluk Ölçümleri. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 10(3).
- Seçkiner S., Akkurt, I., Günoglu K., 2017, Determination of 40K concentration in gravel samples from Konyaaltı Beach, Antalya. *Acta Phys. Pol. A.*, Vol 132 (3-II), 1095-1097, doi: 10.12693/APhysPolA.132.1095.
- TAEA, 2010, Environmental Radioactivity Monitoring in Turkey, Technique Report, Ankara 9-14.

Uyanık N.A., Akkurt I., Uyanık O., 2010, A ground radiometric study of uranium, thorium and potassium in Isparta, Turkey, *Ann. of Geophys.* 53, 5-6(2010)25-30 DOI: <https://doi.org/10.4401/ag-4726>

Uyanık N.A., Uyanık O., Akkurt I., 2013, Micro-zoning of the natural radioactivity levels and seismic velocities of potential residential areas in volcanic fields: The case of Isparta (Turkey), *Journal of Applied Geophysics*, Volume 98, 2013, Pages 191-204, ISSN 0926-9851, <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2013.08.020>.

Uyanık N. A., Öncü Z., Uyanık O. , Bozcu M., Akkurt İ., Günoğlu K. And Yağmurlu F., 2015, Distribution of Natural Radioactivity from 40K Radioelement in Volcanics of Sandıklı-Şuhut (Afyon) Area, *Acta Physica Polonica A* 128 (2015) B438-440. DOI: 10.12693/APhysPolA.128.B-438

UNSCEAR, 2000, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, Sources and Biological Effects of Ionizing Radiation. United Nations, New York.

Yeğin G., Çam S., Ereeş F.S., 2003, Manisa ili bina içi radon konsantrasyonu tayinleri, VII. Ulusal Nükleer Bilimler ve Teknolojileri Kongresi, 15-17 Ekim 2003, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, bildiri tam metni http://88.255.58.195/internet_tarama/dosyalar/cd/4115/pdf/22.pdf



Sulfur Resistant Perovskite Electrocatalysts for High Temperature Applications

Sema Z. BAYKARA^{1*}

¹Yıldız Technical University, Chemical-Metallurgical Faculty, Chemical Engineering Department, Istanbul, szbaykara@gmail.com, baykara@yildiz.edu.tr

(First received 8 August 2018 and in final form 11 August 2018)

(DOI: 10.31590/ ejosat.452123)

Abstract

Owing to increasing demand for catalytic operations in clean and carbon negative energy systems, development of catalysts and electrocatalysts has been gaining importance and interest has been growing in mixed oxides (perovskites) that are known for their chemical and thermal stability. In the present work, some perovskite catalysts/electrocatalysts, mostly with structures ABO_3 and $A_xA'_{(1-x)}B_yB'_{(1-y)}O_3$ containing Co, Cr, La, Mo, Sr and V have been developed and studied in terms of electrical conductivity at increasing temperatures up to 1100 K. Among the samples, $La_{0.9}Sr_{0.1}Cr_{0.5}V_{0.5}O_3$, $LaSr_{0.5}V_{0.5}O_3$ and $La_{0.9}Sr_{0.1}Cr_{0.75}Co_{0.25}O_3$ had relatively higher conductivity.

Keywords: Catalyst, electrocatalyst, perovskite.

Yüksek Sıcaklıkta Uygulamalar için Kükürde Dayanıklı Perovskit Elektrokatalizörler

Öz

Temiz ve karbon negatif enerji sistemlerinde katalitik operasyonların yaygınlaşmasıyla birlikte katalizör ve elektrokatalizörlerin geliştirilmesi de önem kazanmış olup, kimyasal ve ısıl açıdan dayanıklı karışık oksitlere (perovskitler) karşı ilgi artışı sürmektedir. Bu çalışmada, temiz ve karbon negatif yaklaşımla hidrojen ve elektrik üretiminde kullanılmak üzere geliştirilmiş olan Co, Cr, La, Mo, Sr ve V içeren, genellikle ABO_3 ve $A_xA'_{(1-x)}B_yB'_{(1-y)}O_3$ yapısındaki bazı katalizör/elektrokatalizör perovskit maddeler elektriksel iletkenlik açısından 1100 K'e kadar artan sıcaklıkta incelenmiş, bunlar arasından $La_{0.9}Sr_{0.1}Cr_{0.5}V_{0.5}O_3$, $LaSr_{0.5}V_{0.5}O_3$ ve $La_{0.9}Sr_{0.1}Cr_{0.75}Co_{0.25}O_3$ bileşiklerinin daha iletken oldukları anlaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Katalizör, elektrokatalizör, perovskit

1. Introduction

Global warming and environmental deterioration have been increasing with the extent of fossil fuel utilisation resulting from continual growth in global population and economy Baykara, (2018). Almost 100% of carbon dioxide (CO₂) emission is known to originate from fossil fuel based primary energy supply (~81%) and electricity production (~66%) IEA (2017).

Hydrogen as an energy carrier, Veziroglu et al (1989) and a clean critical fuel, Baykara (2005); and biomass and biocoal, Thraen et al (2016) in carbon negative electricity production via bioenergy carbon capture and storage (BECCS) approach, Newton - Cross and Gammer (2016) offer serious alternatives for bending down the steep CO₂ curve, (Figueres et al (2017) and slowing down the global temperature rise.

Presently hydrogen is mostly used as feedstocks and is generally produced from hydrocarbons and water via commercial methods. However, utilisation of hydrogen as a fuel is gradually being implemented, and additional sources of hydrogen are needed. Vastly available industrial byproducts including hydrogen sulfide (H₂S), a toxic and corrosive substance, are attracting attention among new hydrogen sources.

In recent years, parallel to the studies on solid oxide fuel cells (SOFCs) (Mori et al, 1997; Zha et al, 2005; Jiang et al, 2008; Fabbri et al, 2010) studies on electrocatalysts applicable to biogas fueled carbon fuel cells (CFCs) (Giddey et al, 2012; Gur, 2013; Coa et al, 2017) and H₂S fueled electrochemical reactors (Athanasios, 2007; Petrov et al, 2011; Ipsakis et al, 2015) have been in progress. Next generation of SOFCs, operating below 900 K may be available in the near future (Wachsman and Lee, 2011; Fabbri et al, 2012; Gao et al, 2016).

Blocking of active sites due to sulfur (S) adsorption and development of surface reactions leading to sulfidation of oxides appear to be the main reasons causing deterioration of catalytic electrodes, Gong et al (2007). Electrocatalysts that are used as electrode materials are expected to have chemical activity, electrical conductivity; chemical and thermal stability. These properties are found in mixed oxides, generally termed as perovskites.

After CaTiO₃ has been the first compound identified as 'perovskite', all compounds with the ABO₃ structure have been referred to as such. The general structure of perovskites is ABX₃. A is a larger cation and B is a transition ion; X is an anion, Tejuca et al (1989). Since X is often oxygen, the representation ABO₃ is widely accepted. When one of the earth alkali elements is in position A, and a first row transition metal of the periodic table is in position B; catalytic activity is defined by the transition metal.

CFCs operating with biogas obtained from terrestrial biomass can be effective in CO₂ capture. Electrochemical reactors (Uzun et al, 2015; Kraia et al, 2017) and SOFCs (Vincent et al, 2011; Li et al, 2012; Afshar et al, 2015; Uzun et al, 2016; Wachowski et al, 2018) fueled with H₂S render hydrogen or electricity production possible from a hazardous industrial byproduct.

In the present study, ABO₃ and A_xA'_(1-x)B_yB'_(1-y)O₃ type perovskite electrocatalysts, developed for electrodes of electrochemical reactors fueled with H₂S containing feed streams, have been investigated in terms of electrical conductivity.

The electrocatalysts may also be used as electrode materials in CFCs fueled by H₂S containing product gas obtained by gasification of biomass.

2. Materials and Method

Details about methods of synthesis, characterization, and chemical performance testing of the catalysts are given elsewhere (Guldal et al, 2015; Guldal et al, 2017; Guldal et al, 2018).

For studying electrical conductivity of the catalysts, pellets of 0.02 m diameter and 0.0005 m thickness were prepared.

Variation in the conductivity of the samples versus temperature was studied with the four point probe (FPPT) approach using the acquisition system described by Evcin et al, (2014).

3. Results and Discussion

Electrical conductivity measurements of the perovskite electrocatalysts were carried out covering the temperature range T: 425-1100 K approximately. Significant increase was observed in conductivity of electrocatalysts, proportional to increase in temperature (Figure 1, Table 1).

Table 1. Measured Values of Conductivity (σ) of Electrocatalysts

| Formulation | σ (S/cm) at | |
|--|------------------------|------------------------|
| | Tmin (425 K) | Tmax (1100 K) |
| Parametre Ad1 | | |
| LaVO ₃ | 5.3 x 10 ⁻⁶ | 1.6 x 10 ⁻² |
| LaSr _{0.5} V _{0.5} O ₃ | 2.0 x 10 ⁻⁶ | 6.0 x 10 ⁻³ |
| LaCrO ₃ | 1.2 x 10 ⁻⁵ | 1.3 x 10 ⁻³ |
| La _{0.9} Sr _{0.1} CrO ₃ | 4.1 x 10 ⁻³ | 1.5 x 10 ⁻² |
| La _{0.9} Sr _{0.1} Cr _{0.5} Mo _{0.5} O ₃ | 2.6 x 10 ⁻⁵ | 9.5 x 10 ⁻³ |
| La _{0.9} Sr _{0.1} Cr _{0.25} Co _{0.75} O ₃ | 6.1 x 10 ⁻⁷ | 2.2 x 10 ⁻³ |
| La _{0.9} Sr _{0.1} Cr _{0.75} Co _{0.25} O ₃ | 1.8 x 10 ⁻⁴ | 3.3 x 10 ⁻² |
| La _{0.9} Sr _{0.1} Cr _{0.5} V _{0.5} O ₃ | 1.0 x 10 ⁻¹ | 1.2 x 10 ⁻¹ |

S: Siemens

Physical properties of the catalysts such as crystal phases, particle sizes (μ m), elemental composition (%), specific surface area (m²/g); and chemical conversion performance (% H₂S) are available elsewhere (Guldal et al, 2015; Guldal et al, 2017; Guldal et al, 2018).

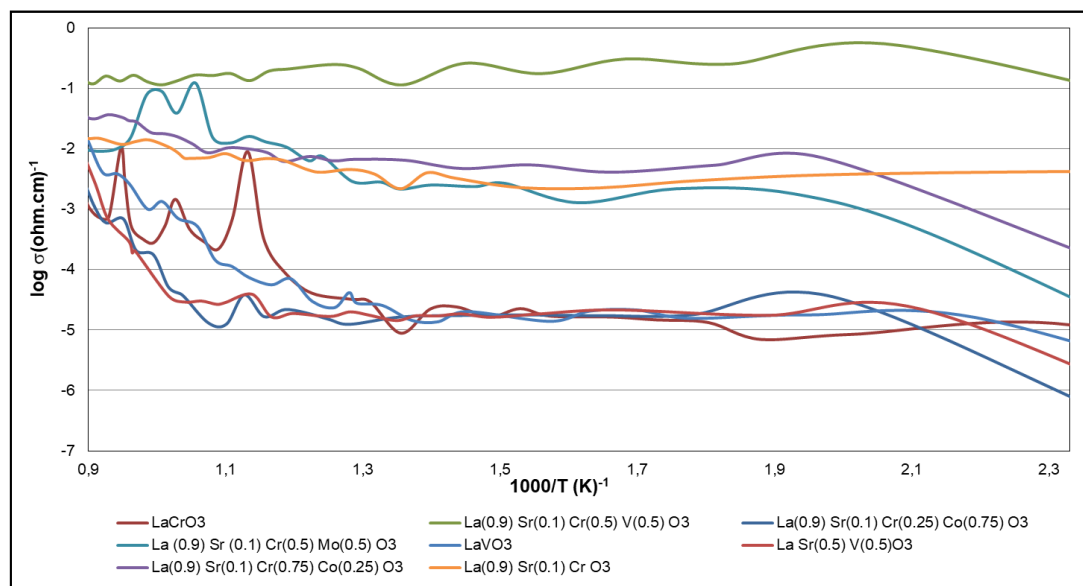


Figure 1: Electrical conductivity of LaVO_3 , $\text{LaSr}_{0.5}\text{V}_{0.5}\text{O}_3$, LaCrO_3 , $\text{La}_{0.9}\text{Sr}_{0.1}\text{CrO}_3$, $\text{La}_{0.9}\text{Sr}_{0.1}\text{Cr}_{0.5}\text{Mo}_{0.5}\text{O}_3$, $\text{La}_{0.9}\text{Sr}_{0.1}\text{Cr}_{0.25}\text{Co}_{0.75}\text{O}_3$, $\text{La}_{0.9}\text{Sr}_{0.1}\text{Cr}_{0.75}\text{Co}_{0.25}\text{O}_3$, $\text{La}_{0.9}\text{Sr}_{0.1}\text{Cr}_{0.5}\text{V}_{0.5}\text{O}_3$

In all perovskite electrocatalyst samples La was chosen as element A. For A', Sr was used. Cr was added as element B and B' was Co or Mo or V (Table 1).

Conductivity of samples $\text{LaSr}_{0.5}\text{V}_{0.5}\text{O}_3$, LaVO_3 , $\text{La}_{0.9}\text{Sr}_{0.1}\text{Cr}_{0.5}\text{Mo}_{0.5}\text{O}_3$, $\text{La}_{0.9}\text{Sr}_{0.1}\text{Cr}_{0.5}\text{V}_{0.5}\text{O}_3$, $\text{La}_{0.9}\text{Sr}_{0.1}\text{Cr}_{0.75}\text{Co}_{0.25}\text{O}_3$ and $\text{La}_{0.9}\text{Sr}_{0.1}\text{Cr}_{0.25}\text{Co}_{0.75}\text{O}_3$ kept increasing up to approximately 500 K (Figure 1).

Between 500 K and 700 K conductivity appeared to be quite stabilized for almost all samples.

Afterwards, curves of samples $\text{LaSr}_{0.5}\text{V}_{0.5}\text{O}_3$, LaVO_3 and $\text{La}_{0.9}\text{Sr}_{0.1}\text{Cr}_{0.25}\text{Co}_{0.75}\text{O}_3$ started climbing again.

Conductivity of sample $\text{La}_{0.9}\text{Sr}_{0.1}\text{Cr}_{0.5}\text{V}_{0.5}\text{O}_3$ has been higher than those of the rest throughout the temperature range, displaying a gradual decline with temperature.

Conductivity curves of $\text{La}_{0.9}\text{Sr}_{0.1}\text{CrO}_3$ and $\text{La}_{0.9}\text{Sr}_{0.1}\text{Cr}_{0.75}\text{Co}_{0.25}\text{O}_3$ displayed similar trend, climbing gradually at temperatures greater than 600 K.

Fluctuations were observed in curves of LaCrO_3 and $\text{La}_{0.9}\text{Sr}_{0.1}\text{Cr}_{0.5}\text{Mo}_{0.5}\text{O}_3$ after 700 K and 900 K.

Reduced system costs are anticipated with low temperature ($T \leq 900$ K) SOFCs owing to wider material choices, Wachsmann and Lee (2011).

Conductivity curves of the perovskite catalysts studied in the present work (Figure 1) appear to be quite stabilized at the mentioned low temperature range ($T \leq 900$ K).

Catalysts containing Cr and V had higher conductivity both at room temperature and at the highest measurement temperature. Best results were obtained with $\text{La}_{0.9}\text{Sr}_{0.1}\text{Cr}_{0.5}\text{V}_{0.5}\text{O}_3$, followed by $\text{LaSr}_{0.5}\text{V}_{0.5}\text{O}_3$ and $\text{La}_{0.9}\text{Sr}_{0.1}\text{Cr}_{0.75}\text{Co}_{0.25}\text{O}_3$.

The effect of V addition has been observed by comparing the conductivity values, at low and high temperatures, of $\text{La}_{0.9}\text{Sr}_{0.1}\text{Cr}_{0.5}\text{V}_{0.5}\text{O}_3$ and $\text{La}_{0.9}\text{Sr}_{0.1}\text{CrO}_3$. Throughout the temperature range of measurement superior conductivity of the V containing perovskite has been demonstrated.

The effect of Cr addition has been studied through comparison of conductivity performance of Co containing perovskites $\text{La}_{0.9}\text{Sr}_{0.1}\text{Cr}_{0.75}\text{Co}_{0.25}\text{O}_3$ and $\text{La}_{0.9}\text{Sr}_{0.1}\text{Cr}_{0.25}\text{Co}_{0.75}\text{O}_3$. The sample with higher Cr content had higher conductivity. However, addition of V has been found to be more effective on conductivity. Although the sample $\text{La}_{0.9}\text{Sr}_{0.1}\text{Cr}_{0.75}\text{Co}_{0.25}\text{O}_3$ contained 1.45 times more Cr compared to $\text{La}_{0.9}\text{Sr}_{0.1}\text{Cr}_{0.5}\text{V}_{0.5}\text{O}_3$, the latter sample displayed higher conductivity, owing to presence of V.

Considering perovskites of the type $\text{La}_x\text{Sr}_y\text{Cr}_z(\text{M}_z)\text{O}_3$, electrical conductivity (σ) at high temperatures varied with respect to M in the order $M : \text{V} > \text{Co} > \text{Mo}$ (Table 1).

For the electrocatalysts $\text{LaSr}_{0.5}\text{V}_{0.5}\text{O}_3$, $\text{La}_{0.9}\text{Sr}_{0.1}\text{Cr}_{0.5}\text{V}_{0.5}\text{O}_3$ and $\text{La}_{0.9}\text{Sr}_{0.1}\text{Cr}_{0.75}\text{Co}_{0.25}\text{O}_3$ the conductivity values were within similar range for those obtained with La and Cr containing catalysts reported in the literature (Mori et al, 1997; Jiang et al, 2008; Wachowski et al, 2018) (Table 2).

A correspondence between electrical conductivity and chemical activity (Guldal et al, 2015; Guldal et al, 2017; Guldal et al, 2018) of the perovskite electrocatalysts was not observed.

For example, although LaCrO_3 , and its versions obtained by adding Sr and Co have shown highest chemical activity at high temperatures (Guldal et al, 2015; Guldal et al, 2017; Guldal et al, 2018); V containing perovskites had superior electrical conductivity.

Similarly, properties of the catalyst such as particle size and specific surface area (Guldal et al, 2015; Guldal et al, 2017; Guldal et al, 2018) did not seem to affect chemical activity or electrical conductivity.

Table 2: Electrical Conductivity Values of Similar Ceramic Materials

| Material | T (K) | σ (S/cm) |
|---|-------|-----------------|
| LaCrO ₃ (Mori et al, 1997) | 373 | 0.6-1.0 |
| LaCrO ₃ (Jiang et al, 2008) | 1073 | 0.33 |
| La _{0.7} Mg _{0.3} CrO ₃ (Jiang et al, 2008) | 1073 | 2.21 |
| La _{0.7} Ba _{0.3} CrO ₃ (Jiang et al, 2008) | 1073 | 2.26 |
| SrFe _{0.75} Mo _{0.25} O ₃ (Wachowski et al, 2018) | 1073 | 0.005 |

4. Conclusion

In the present work, sulfur resistant and chemically active perovskite electrocatalysts, developed for hydrogen and/or electricity production from H₂S or biogas, have been studied in terms of electrical conductivity.

Among the samples, La_{0.9}Sr_{0.1}Cr_{0.5}V_{0.5}O₃, LaSr_{0.5}V_{0.5}O₃ and La_{0.9}Sr_{0.1}Cr_{0.75}Co_{0.25}O₃ were found to be the samples with higher chemical activity and electrical conductivity.

All samples have been quite stable at temperatures below 900 K.

5. Acknowledgements

This publication has been prepared within the scope of ERA.NET projects registered as 111M801 and 217M139 by TÜBİTAK.

6. References

Afshar MR, Yan N, Zahiri B, Mitlin D, Chuang KT, Luo J. 2015. Impregnation of La_{0.4}Ce_{0.6}O_{1.8}-La_{0.4}Sr_{0.6}TiO₃ as solid oxide fuel cell anode in H₂S-containing fuels. *Journal of Power Sources* 274, 211-218.

Athanassiou C, Pekridis G, Naklidis N, Kalimeri K, Vartzoka S, Marnellos G. 2007. Hydrogen production in solid electrolyte membrane reactors (SEMRs). *International Journal of Hydrogen Energy* 32, 38-54.

Baykara SZ. 2005. Hydrogen as fuel: a critical technology? *International Journal of Hydrogen Energy* 30(5), 545-553.

Baykara, S.Z. 2018. "Hydrogen: A brief overview on its sources, production and environmental impact". *International Journal of Hydrogen Energy* 43, 10605-10614.

Coa T, Huang K, Shi Y, Cai N. 2017. Recent advances in high-temperature carbon-air fuel cells. *Energy Environ Science* 10, 460-490.

Evcin A, Çiçek Bezir N, Kayalı R, Arı M, Kepekçi DB. 2014. Indium phosphide nanofibers prepared by electrospinning method: Synthesis and characterization. *Crystal Research and Technology* 49(5), 303-308.

Fabbri E., Bi L, Pergolesi D, Traversa E. 2012. Towards the next generation of solid oxide fuel cells operating below 600 C with chemically stable proton-conducting electrolytes. *Advanced Materials* 24, 195-208.

Fabbri E., Pergolesi D, Traversa E. 2010. Materials challenges toward proton-conducting oxide fuel cells: a critical review. *Chemical Society Reviews* 39, 4355-4369.

Figueres C., Schellnhuber HJ, Whiteman G, Rockström J, Hobley A, Rahmstorf S. 2017. Three years to safeguard our climate. *Nature* 546, 593-595.

Gao Z, Mogni LV, Miller EC, Railsback JG, Barnett SA. 2016. A perspective on low-temperature solid oxide fuel cells. *Energy & Environmental Science* 9, 1602-1644.

Giddey, S, Badwal SPS; Kulkarni A, Munnings C. 2012. A comprehensive review of direct carbon fuel cell technology. *Progress in Energy and Combustion Science* 38(3), 360-399.

Gong M, Liu X, Tremblay J, Johnson J. 2007. Sulfur-tolerant anode materials for solid oxide cell application. *Journal of Power Sources* 168, 289-298.

Guldal NO, Figen HE, Baykara SZ. 2017. Production of hydrogen from hydrogen sulfide with perovskite type catalysts: LaMO₃. *Chemical Engineering Journal* 313, 1354-1363.

Guldal NO, Figen HE, Baykara SZ. 2015. New catalysts for hydrogen production from H₂S: preliminary results. *International Journal of Hydrogen Energy* 40(24), 7452-7458.

Guldal NO, Figen HE, Baykara SZ. 2018. Perovskite catalysts for hydrogen production from hydrogen sulfide. *International Journal of Hydrogen Energy* 43(2), 1038-1046.

Gur TM. 2013. Critical review of carbon conversion in "carbon fuel cells". *Chemical Reviews* 113, 6179-6206.

International Energy Agency (IEA), Key world energy statistics. Technical Report 2017. http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/keyworld2017_FINAL_WEB.pdf.

Ipsakis D, Kraia TZ, Marnellos G, Ouzounidou M, Voutdetakis SS, Dittmeyer R, Dubbe A, Haas-Santo K, Konsolakis M, Figen HE, Guldal NO, Baykara SZ. 2015. An electrocatalytic membrane-assisted process for hydrogen production from H₂S in Black Sea: preliminary results, *International Journal of Hydrogen Energy* 40(24), 7530-7538.

Jiang S.P., Liu L., Ong K.P., Wu P., Li J., Pu J. 2008. Electrical conductivity and performance of doped LaCrO₃ perovskite oxides for solid oxide fuel cells, *Journal of Power Sources* 176, 82-89.

Kraia, T., Wachowski, S., Vøllestad, E., Strandbakke, R., Konsolakis, M., Norby, T., Marnellos, G.E. 2017. Electrochemical performance of Co₃O₄/CeO₂ electrodes in H₂S/H₂O atmospheres in a proton-conducting ceramic symmetrical cell with BaZr_{0.7}Ce_{0.2}Y_{0.1}O₃ solid electrolyte. *Solid State Ionics* 306, 31-37.

Li JH, Fu XZ, Luo JL, Chuang KT, Sanger AR. 2012. Application of BaTiO₃ as anode materials for H₂S-containing CH₄ fueled solid oxide fuel cells. *Journal of Power Sources* 213, 69-77.

Mori M, Yamamoto T., Itoh H., Watanabe T. 1997. Compatibility of alkaline earth metal (Mg, Ca, Sr)-doped lanthanum chromites as separators in planar-type high-temperature solid oxide fuel cells. *Journal of Material Science* 32, 2423-2431.

- Newton-Cross G. and Gammer D. 2016. The evidence for deploying bioenergy with CCS (BECCS) in the UK, Bioenergy Programme Insight Report. Energy Technologies Institute, Loughborough, UK.
- Petrov K, Baykara SZ, Ebrasu D, Gulin M, Veziroglu A. 2011. An assessment of electrolytic hydrogen production from H₂S in Black Sea waters. *International Journal of Hydrogen Energy* 36(15), 8936-8942.
- Tejuca LG, Fierro JS, Tascon JMD. 1989. Structure and Reactivity of Perovskite-Type Oxides. *Advances in Catalysis*, 36, 237-328.
- Thraen D., Witt J., Schaubach K., Kiel J., Carbo M., Maier J., Ndibe C., Koppejan J., Alakangas E., Majer S. and Schipfer F. 2016. Moving torrefaction towards market introduction-Technical improvements and economic-environmental assessment along the overall torrefaction supply chain through the SECTOR project. *Biomass and Bioenergy* 89, 184-200.
- Uzun, D., Razkazova-Velkova, E., Petrov, K., Beschkov, V. 2015. Electrochemical method for energy production from hydrogen sulfide in the Black sea waters in sulfide-driven fuel cell. *Bulgarian Chemical Communications* 47(3), 859-866.
- Uzun, D., Razkazova-Velkova, E., Petrov, K., Beschkov, V. 2016. H₂S/O₂ fuel cells using hydrogen sulfide from Black Sea waters. *Journal of Applied Electrochemistry* 46(9), 943-949.
- Veziroglu TN, Gurkan I, Padki MM. 1989. Remediation of greenhouse problem through replacement of fossil fuels by hydrogen. *International Journal of Hydrogen Energy* 14(4), 256-266.
- Vincent AL, Luo J, Chuang KT, Sanger AR., 2011. Promotion of activation of CH₄ by H₂S in oxidation of sour gas over sulfur tolerant SOFC anode catalysts. *Applied Catalysis B: Environmental* 106(1-2), 114-122.
- Wachowski S, Li Z., Polfus JM, Norby T. 2018. Performance and stability in H₂S of SrFe_{0.75}Mo_{0.25}O_{3-δ} as electrode in proton ceramic fuel cells. *Journal of The European Ceramic Society* 38, 163-171.
- Wachsman E.D., Lee K.T. 2011. Lowering the temperature of solid oxide fuel cells. *Science* 334, 935-939.
- Zha S., Tsang P., Cheng Z., Liu M., 2005. Electrical properties and sulfur tolerance of La_{0.75}Sr_{0.25}Cr_{1-x}Mn_xO₃ under anodic conditions. *Journal of Solid State Chemistry* 178, 1844-1850.



Source-to-detector Distance Dependence of Efficiency and Energy Resolution of a 3"x3" NaI(Tl) Detector

Urkiye Akar Tarim^{1*}, Orhan Gurler¹

¹Physics Department, Faculty of Arts and Sciences, Uludag University, Gorukle Campus, 16059, Bursa, Turkey, uakar@uludag.edu.tr

(First received 13 July 2018 and in final form 14 August 2018)

(DOI: 10.31590/ejosat.443565)

Abstract

NaI(Tl) scintillation detectors are widely used in measurements of environmental radioactivity, low level radioactive waste, prompt gamma ray neutron activation analysis, some nuclear physics experiments, geology, etc. This paper reports the results of the energy calibration, resolution and full energy peak efficiency and total efficiency calculations for a 3"x3" NaI(Tl) detector (Canberra Inc.) that are essential to specify the quality of the results of gamma spectrometry measurements. To investigate the effects of the gamma ray energy and the distance from source to detector center on detector efficiency, measurements were performed at different six axial distances for four point sources (Am-241, Cs-137, Co-60 and Na-22). Thus, fundamental data for further works with this detector system were obtained.

Keywords: Gamma ray, NaI(Tl), Full energy peak efficiency, Total efficiency, Resolution.

1. Introduction

With the start of using radioactive sources in a variety of different fields such as health physics, industry, energy, and environmental application, nuclear radiation detectors become the most fundamental instruments as radiation is hazardous for health. Scintillation detectors, in especial the NaI(Tl) detectors, have been widely used in various applications in several fields over the last 50 years (Casanovas et al., 2012). In radiation measurement studies an accurate knowledge of the detector spectral performance is essential (Akkurt et al., 2014). The quality of the results of gamma ray spectrometry measurements depends directly on the accuracy of the detection efficiency of the detector in the specific measurement conditions (Hassan Ali et al., 2014), and energy resolution is also one of the important parameters to be determined (Akkurt et al., 2014). The efficiency of a detection system strongly depends on the parameters such as the energy of gamma rays, detector dimensions, source dimensions, geometric arrangement of the detector and source, and density of the sample. Therefore, the efficiency calibration developed for one detector may not valid for another one (Karadeniz and Vurmaz, 2017). The most reliable method for all detectors is to determine the efficiency calibration by means of experimental methods in their natural conditions of use (Karadeniz and Vurmaz, 2017). Many studies for the determination of detector efficiency were

performed experimentally (Akkurt et al., 2014; Perez-Andujar and Pibida, 2004; Alexiev et al., 2008; Demir et al., 2008; Guss et al., 2010; Abd-Elzaher et al., 2012; Günay et al., 2018) or by using analytical method (Selim and Abbas, 1996; Selim et al., 1998; Abbas, 2010; Hamzawy, 2014; Badawi et al., 2013a; Badawi et al., 2013b) and Monte Carlo simulation (Casanovas et al., 2012; Ayaz-Maierhafer and DeVoi, 2007; Salgado et al., 2012; Anil Kumar et al., 2009; Jehouani et al., 2000; Rehman et al., 2009) by several authors in the literature. Furthermore, the non-proportional light response in scintillation detectors makes it essential to carry out a calibration based on peak width, which establishes the conformity between the peak width and energy that corresponds to peak channel, because it is the main source causing the energy resolution. Resolution calibrations are necessary for both the peak-analysis software to separate different gamma ray emissions in a narrow energy range and the Monte Carlo simulations to obtain desired, idealised spectral responses. Because the width of peak is often given by the full energy width at half the intensity maximum (FWHM) of the gamma peak at the gamma energy, this calibration establishes a function to describe the dependence of FWHM values on the gamma ray energy (Casanovas et al., 2012), the peak width versus the spectral energy.

This work is focused on assessment the detection efficiency and energy resolution of the studied NaI(Tl) detector that have great importance in nuclear investigations and in all experimental studies that measure radiation. Moreover, these characteristics of

detectors are the most important parameters used to determine the numerical results of a study (Karadeniz and Vurmaz, 2017). The effect of source-to-detector distance and energy on the full energy peak and total efficiencies for the studied gamma ray energies has also been investigated.

2. Material and Methods

2.1. Experiment

The detector used in this study the 3x3 inch NaI(Tl) detector was an ORTECs Model 905-4. The MAESTRO-32 multichannel analyzer emulation software (Ortec, South Illinois Ave., USA) was used for the spectrum analysis; auto- matic peak searching, peak evaluation, peak area calculations, energy calculation, along with changes in fitting the peak using the interactive peak fit interface when necessary to reduce the errors in the values of peak area.

The four different radiation sources, ^{137}Cs , ^{60}Co , ^{22}Na and ^{241}Am , that give 59.5, 511, 661.6, 1173.2, 1274.5, and 1332.5 keV gamma ray energy were placed at axial locations with respect to the detector axis, at six different distances from the face of the detector and the measurement has been performed for each source. The same radionuclides used also in the calibration process of the detector. The sources' activities, reference date and the half-life values of the studied radioisotopes and gamma ray emission probabilities per decay for all radioisotopes used in the work are listed in Table 1. The data related to the decay, the energies, half-life values and the emission probabilities were taken from International Atomic Energy Agency (IAEA) Nuclear Data Services.

Table 1. Information data of the radionuclides used for the determination of the NaI(Tl) detector efficiency for point source geometry

| Nuclide | Energy (keV) | Emission probability (%) | Activity (kBq) | Half-life (year) | Reference Date |
|---------|--------------|--------------------------|----------------|------------------|----------------|
| Am-241 | 59.5 | 35.92 | 74 | 432.6 | |
| Cs-137 | 661.6 | 85.1 | 333 | 30.08 | |
| Na-22 | 1274.5 | 99.94 | 74 | 2.6018 | 19/12/2006 |
| Co-60 | 1173.2 | 99.85 | 74 | 5.2711 | |
| | 1332.5 | 99.9826 | | | |

The styrofoam holder is used to measure these sources at six different axial distances starts from 2 cm up to 12 cm with step 2 cm from the detector surface. In order to reduce the background level of the system, the detector is shielded using 5 cm lead on all sides. Two of photographs of the experimental system have been displayed in Figure 1.

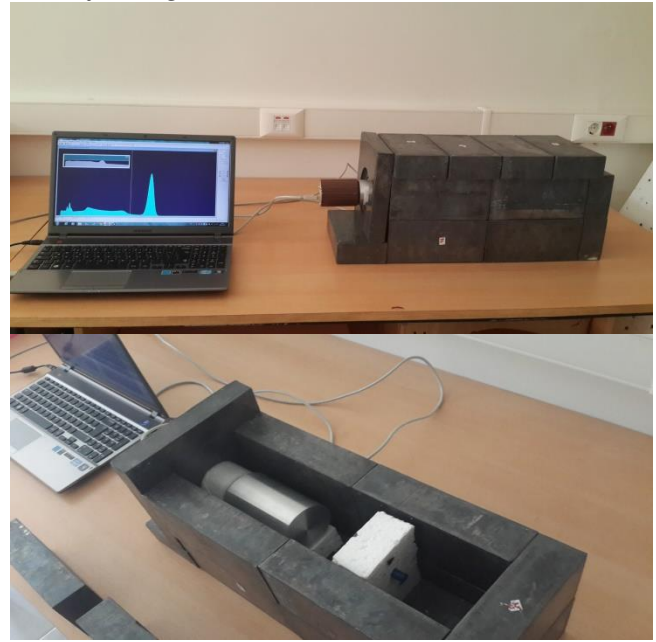


Figure 1. Photographs of the experimental setup designed to obtain data for efficiency calculation

Each measurement has been done for a 60-minute time period to achieve good statistics in the evaluation of each gamma peak of each spectrum. Typical gamma ray spectrum for ^{137}Cs and ^{60}Co sources measured using the NaI(Tl) detector is shown in Figures 2(a) and (b).

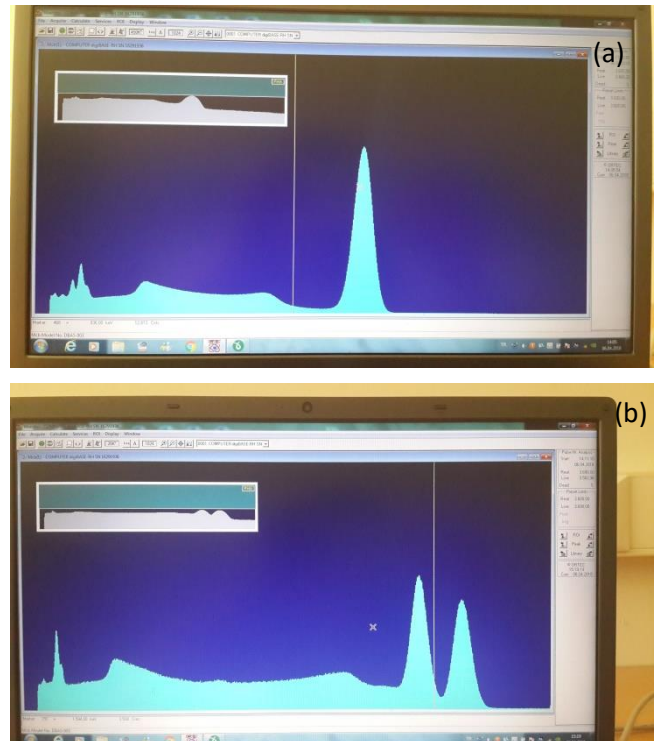


Figure 2. Measured spectra of the radionuclides (a) Cs-137 and (b) Co-60

2.2. Calculation

It is possible to divide the calibrating procedure of NaI(Tl) scintillation detectors before their usage for spectroscopy of gamma rays into three sub-calibrations, namely the energy calibration, the resolution calibration and the efficiency calibration. This complex calibration provides more accurate assessment; allow correctly identifying the isotopes and determining the activity of the involved ones (Casanovas et al., 2012).

The detector system used in this work was calibrated before using in radiation detection in order to convert channel number to energy scale. ¹³⁷Cs, ⁶⁰Co, ²²Na and ²⁴¹Am radioactive sources, six different energy peaks, were used to get certain peak to see channel number. All the sources were counted for 3600 seconds.

The energy resolution, as another important characteristic of a detector system is obtained from the full width of a single peak (at a specific energy) at half its maximum height (FWHM) of a single using the following equation:

$$R = \frac{FWHM}{E_0} \times 100 \quad (1)$$

here R is energy resolution and E_0 is the related energy.

The experimental full energy peak efficiency at energy E was computed by the equation below,

$$\varepsilon_{fep}(E) = \frac{N(E)}{A \cdot t \cdot p(E)} \quad (2)$$

where $N(E)$ is the number of net counts recorded in the photopeak for that energy, A is the known activity of radionuclide, t is the preset counting time (in second) and $p(E)$ is the gamma ray emission probability for each of applied radionuclides. And the experimental total efficiency was computed by

$$\varepsilon_T(E) = \frac{N_T(E)}{A \cdot t \cdot p(E)} \quad (3)$$

where $N_T(E)$ is the total number of counts in the spectrum, and as mentioned above, A is the known activity of radionuclide, t is the preset counting time (in second) and $p(E)$ is the gamma ray emission probability for each of applied radionuclides.

3. Results and Discussion

In this study, firstly the detector system was calibrated before using in radiation detection in order to convert channel number to energy scale. Detector response functions were obtained for four radioactive sources, six different energy peaks, to get certain peak to see channel number. This was done by using ¹³⁷Cs, ⁶⁰Co, ²²Na and ²⁴¹Am radioactive sources as they produce gamma ray energy of 661.6, 1173.2 and 1332.5, 511 and 1274.5, and 59.5 keV, respectively. In Figure 3, related calibration fit obtained for the source to detector distance of 6 cm is displayed.

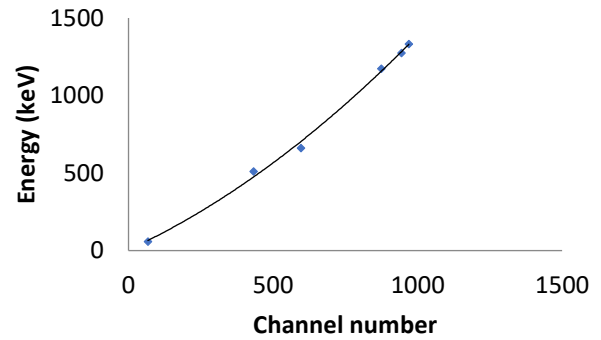


Figure 3. Energy calibration curve for the studied NaI(Tl) detector at the source-to-detector distance of 6 cm

Resolution provides the separation for two adjacent energy peaks which leads to identification of different nuclide in spectrum. The measured energy resolution of the NaI(Tl) detector for each of source-to-detector distance values is displayed in Figure 4 as a function of gamma ray energy. It can be seen from this figure that the energy resolution of the NaI(Tl) detector decreased with the FWHM with the increase in gamma ray energy. This result is confirmed by the results available in literature (Casanovas et al., 2012; Akkurt et al., 2014; Salgado et al., 2012).

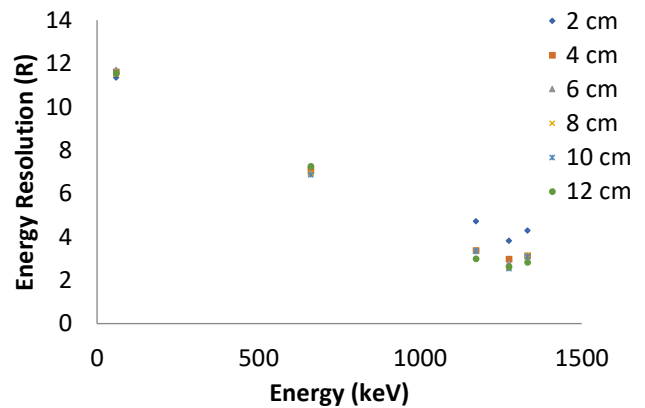


Figure 4. Energy resolution of the NaI(Tl) detector for several source-to-detector distances versus gamma ray energy

Full energy peak efficiency and total efficiency values of the NaI(Tl) detector used in measurements were obtained experimentally for five different gamma ray energies at six different positions (source-to-detector distance) and results were listed in Table 2.

Table 2. Experimental results for total and full energy peak efficiencies (FEPE) of 3"x3" NaI(Tl) detector

| Energy (keV) | | Source-to-detector distance (cm) | | | | | |
|--------------|------------------|----------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 |
| 59.5 | Total efficiency | 0.1400 | 0.0765 | 0.0471 | 0.0311 | 0.0213 | 0.0156 |
| | FEPE | 0.1266 | 0.0685 | 0.0418 | 0.0277 | 0.0189 | 0.0137 |
| 661.6 | Total efficiency | 0.0835 | 0.0343 | 0.0311 | 0.0225 | 0.0166 | 0.0128 |
| | FEPE | 0.0402 | 0.0228 | 0.0150 | 0.0108 | 0.0077 | 0.0059 |
| 1173.5 | Total efficiency | 0.1213 | 0.0786 | 0.0526 | 0.0381 | 0.0291 | 0.0264 |
| | FEPE | 0.0175 | 0.0128 | 0.0081 | 0.0057 | 0.0042 | 0.0024 |
| 1274.5 | Total efficiency | 0.2260 | 0.1073 | 0.1050 | 0.0780 | 0.0610 | 0.0476 |
| | FEPE | 0.0196 | 0.0125 | 0.0081 | 0.0060 | 0.0045 | 0.0033 |
| 1332.5 | Total efficiency | 0.1211 | 0.0785 | 0.0525 | 0.0380 | 0.0290 | 0.0263 |
| | FEPE | 0.0148 | 0.0121 | 0.0078 | 0.0054 | 0.0039 | 0.0022 |

Whereas the energy and resolution calibrations only depended on the energy of gamma ray, the efficiency calibration depends on several factors, such as the position of the source relative to the detector, size and shape of the source, and the materials that surrounding the setup (Casanovas et al., 2012), i.e. efficiency is not a characteristic of the detector only. Calculating the energy dependent variation of the total efficiency and full energy peak efficiency of 3"x3" cylindrical NaI(Tl) detector for various source-to-detector distances and the corresponding results have been shown in Figures 5 and 6, respectively.

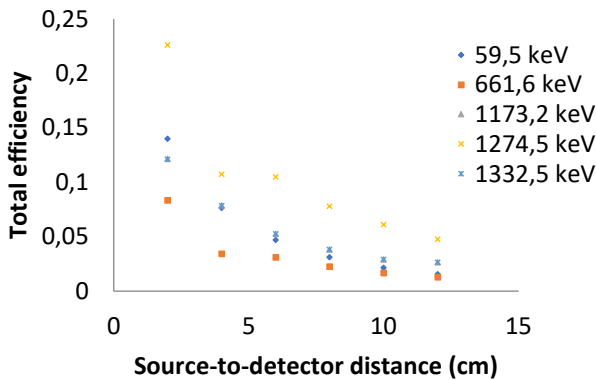


Figure 5. Variation of total efficiency values of the detector for several gamma ray energies versus source-to-detector distance

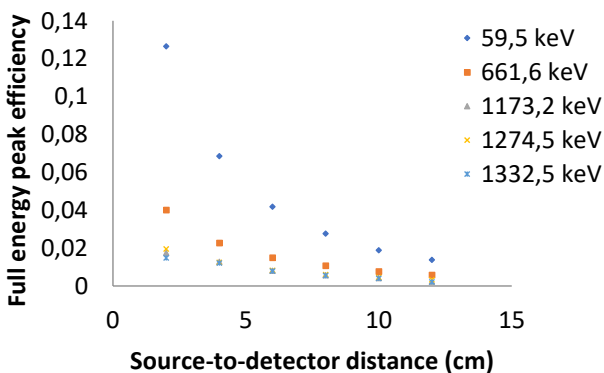


Figure 6. Variation of full energy peak efficiency values of the detector for several gamma ray energies versus source-to-detector distance

It can be seen from Figures 5 and 6 that the efficiencies have decreased exponentially with the increasing distance from detector face, this result is congruent with the previously presented results for the same size detector by Akkurt et al. (2014). This observed and expected variation may be attributed to change in the solid angle and as well as the change in a number of interactions possible due to oblique to nearly normal incidence of photons, as previously reported by Rehman et al. (2009). In Figure 5 and also in Table 2, some improper data points for the distance of 4 cm at energy 661,6 and 1274,5 keV draw the attention. This result specifies that the 4 cm distance of source-to-detector is not very suitable for gamma rays with these energies. On the other hand, these discrepancies can be expounded by some as the result of experimental errors.

When the results of this study are compared with those belonging to other workers (Casanovas et al., 2012; Hamzawy, 2014; Rehman et al., 2009), the observed differences between the values of this work and others' due to the parameters such as detector and the source dimensions, geometric arrangement of the detector and source, etc., that are effective on detector efficiency as mentioned in Introduction section.

4. Conclusions

This paper presents the results for a complete calibration procedure of a NaI(Tl) detector (7.62 cm diameter and 7.62 cm long) to be used in gamma spectrometry. For energy calibration, resolution and efficiency calculations, measurements were performed by four radioactive sources positioned at six different distances to the detector. These parameters report the performance of the experimental set up. The variation of efficiency values with the gamma ray energy and detection distance was also investigated. This work provides important and fundamental data for further works with this system.

Acknowledgement

This work was supported by The Commission of Scientific Research Projects of Uludag University, Project number: OUAP(F)-2016/10.

References

Abbas, M. I. (2010). Analytical approach to calculate the efficiency of 4π NaI(Tl) gamma-ray detectors for extended sources. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A*, 615, 48–52.

Abd-Elzaher, M., Badawi, M. S., El-Khatib, A., Thabet, A. A. (2012). Determination of full energy peak efficiency of NaI(Tl) detector depending on efficiency transfer principle for conversion form experimental values. *World Journal of Nuclear Science and Technology*, 2, 65–72.

Akkurt, I., Gunoglu, K., and Arda, S. S. (2014). Detection efficiency of NaI(Tl) detector in 511–1332 keV energy range. *Science and Technology of Nuclear Installations*, 2014, 1–5.

Alexiev, D., Mo, L., Prokopovich, D. A., Smith, M. L., and Matuchova, M. (2008). Comparison of LaBr₃:Ce and LaCl₃:Ce with NaI(Tl) and Cadmium Zinc Telluride (CZT)

- Detectors. IIE Transactions (Institute of Industrial Engineers) IEEE Transactions on Nuclear Science, 55(3), 1174–1177.
- Anil Kumar, G., Mazumdar, I., and Gothe, D. A. (2009). Efficiency calibration and coincidence summing correction for large arrays of NaI(Tl) detectors in soccer-ball and castle geometries. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A*, 611, 76-83.
- Ayaz-Maierhafer, B. and DeVol, T. A. (2007). Determination of absolute detection efficiencies for detectors of interest in homeland security. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A*, 579, 410-413.
- Badawi, M. S., Abd-Elzaher, M., Thabet, A. A., El-khatib, A. M. (2013a). An empirical formula to calculate the full energy peak efficiency of scintillation detectors. *Applied Radiation and Isotopes*, 74, 46–49.
- Badawi, M. S., Krar, M. E., El-Khatib, A. M., Jovanovic, S. I., Dlabac, A. D., and Mihaljevic, N. N. (2013b). A new mathematical model for determining full-energy peak efficiency of an array of two gamma detectors counting rectangular parallelepiped sources. *Nuclear Technology & Radiation Protection*, vol. 28(4), 370-380.
- Casanovas, R., Morant, J. J., and Salvado, M. (2012). Energy and resolution calibration of NaI(Tl) and LaBr₃(Ce) scintillators and validation of an EGS5 Monte Carlo user code for efficiency calculations. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A*, 675, 78–83.
- Demir, D., Un, A., and Sahin, Y. (2008). Efficiency determination for NaI (Tl) detectors in the 23 keV to 1333 keV energy range. *Instrumentation Science and Technology*, 36, 291–301.
- Guss, P., Reed, M., Yuan, D., Cutler, M., Contreras, C., and Beller, D. (2010) Comparison of CeBr₃ with LaBr₃:Ce, LaCl₃:Ce, and NaI:Tl Detectors. in *Proceedings of SPIE*, 7805 78050L-1-78050L. SPIE, pp. 1–16.
- Günay, O., Saç, M. M., İçhedef, M., and Taşköprü, C. (2018) Natural radioactivity analysis of soil samples from Ganos fault (GF). *International Journal of Environmental Science and Technology*, DOI: 10.1007/s13762-018-1793-9.
- Hamzawy, A. (2014). New analytical approach to calculate the detector efficiencies of NaI(Tl) using coaxial and off-axis rectangular and parallelepiped sources. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A*, 768, 164–169.
- Hassan Ali, A., Khalaf Mheemeed, A., and Ihsan Hassan H. (2014). Efficiency calibration study of NaI(TL) detector for radioactivity measurements in soils from Ain Zalah Oil Field. *World Applied Sciences Journal*, 32(3), 359–367.
- International Atomic Energy Agency (IAEA) Nuclear Data Services <https://www-nds.iaea.org/relnsd/vcharthtml/VChartHTML.html> (available April 4, 2018)
- Jehouani, A., Ichaoui, R., and Boulkheir, M. (2000). Study of the NaI(Tl) efficiency by Monte Carlo method. *Applied Radiation and Isotopes*, 53, 887-891.
- Karadeniz, Ö. and Vurmaz, S. (2017). Experimental investigation on the photopeak efficiency of a coaxial High Purity Germanium Detector for different geometries. *Journal of Basic and Clinical Health Sciences*, 1, 18–22.
- Perez-Andujar, A. and Pibida, L. (2004). Performance of CdTe, HPGe and NaI(Tl) detectors for radioactivity measurements. *Applied Radiation and Isotopes*, 60, 41–47.
- Rehman, S. U., Mirza, S. M., and Mirza, N. M. (2009). A fast, primary-interaction Monte Carlo methodology for determination of total efficiency of cylindrical scintillation gamma-ray detectors. *Nuclear Technology & Radiation Protection*, 3, 195-203.
- Salgado, C. M., Brandão, L. E. B., Schirru, R., Pereira, C. M. N. A., and Conti, C. C. (2012). Validation of a NaI(Tl) detector's model developed with MCNP-X code. *Progress in Nuclear Energy*, 59, 19-25.
- Selim, Y. S. and Abbas, M. I. (1996). Direct calculation of the total efficiency of cylindrical scintillation detectors for extended circular sources. *Radiation Physics and Chemistry*, vol. 48(1), pp. 23–27.
- Selim, Y. S., Abbas, M. I., and Fawzy, M. A. (1998). Analytical calculation of the efficiencies of gamma scintillators. Part I: Total efficiency for coaxial disk sources. *Radiation Physics and Chemistry*, 53, 589–592.



Simultaneous determination of alachlor, bifenoxy and nitrofen as herbicides in lake, municipal wastewater and soil samples by gas chromatography mass spectrometry

Emine Gülhan Bakırdere^{1*}

¹Department of Science Education, Yıldız Technical University, Faculty of Education, 34210, İstanbul, Turkey, bgulhan@yildiz.edu.tr

(First received 19 August 2018 and in final form 31 August 2018)

(DOI: 10.31590/ejosat.ejosat.455827)

Abstract

The benefits derived from pesticide usage are a worldwide phenomenon which has helped prevent food shortages and prevented deadly diseases. However, negative effects that have resulted from these very same chemicals has led to regulations and bans on some of them. This study was aimed at simultaneously determining three herbicides in lake, wastewater and soil samples by gas chromatography mass spectrometry. The samples selected are very commonly contaminated by pesticide production and application, and they are important environmental resources that need to be preserved. The figures of merits determined for the analytes were appreciable. None of the analytes were detected in the samples (according to limits of detection) and spiked recovery tests were therefore performed to ascertain the amount of analytes that can be determined when present in the samples. The percent recoveries calculated for lake and wastewater spiked at two concentrations ranged between 90 – 104%. The spiked soil sample was extracted with acetonitrile and a blank soil extract was used to prepare matrix matched calibration standards. The percent recovery obtained using the matrix matching standards ranged between 92% and 99% for the three analytes.

Keywords: Herbicides; GC-MS; Wastewater; Lake water; Soil.

1. Introduction

For many years, pesticides have been used to control, prevent or terminate pests that pose a threat to human beings and other organisms [1, 2]. Pesticide usage has led to the prevention of diseases that were major plagues in the past, and prevention of faming by the production of quality food crops that can also be stored very long periods of time [3]. Pesticides include natural extracts from plants and chemically synthesized compounds that target pests. Mass production of synthetic pesticides begun after dichloro-diphenyl-trichloroethane (DDT) was successfully used to eradicate pests during the 1940s but the risks associated with some chemical class of pesticides (e.g. organochlorines) drew the attention of environmentalists and regulatory authorities [4, 5]. Herbicides are a group of pesticides classified according to their target organism, which are unwanted plants/weeds. Weeds have the tendency to grow over any land or field viable for plant life and herbicides are therefore used to suppress their growth or to destroy them [6]. According to the mode of action, herbicides are classified into contact and translocated herbicides. Contact herbicides only affect the part of the plant where it comes into contact with, while translocated pesticides move through different parts of the plant to disrupt its regular function. Herbicides are usually less toxic when applied in the right way and appropriate concentration [7].

Alachlor is a chloroacetamide herbicide which is widely used in controlling broad leaf weeds mostly on corn farms. It has high water solubility and is therefore a very mobile chemical with the capability to leach down soil into ground water, and also get

absorbed by non-target plants [8]. This makes it a very toxic chemical and it is classified as a B-2 carcinogen and a potential endocrine disruptive compound [9]. Alachlor is a regulated pesticide and must therefore be purchased with license and applied according to specifications on the label. Bifenoxy is a nitroaromatic herbicide which is used in photobleaching unwanted broad leaf weeds on farms, gardens and recreational parks [10]. It has the tendency to enter environmental water systems and residues can be found on consumable food products. Exposure to high concentrations and accumulation in body tissues over time can lead to severe health effects. Bifenoxy is included in the list of priority substances stated by the European Union's Water Framework Directive [11]. Nitrofen is a diphenyl ether structured herbicide which was widely used for the control of weeds. Its mode of action is inhibition of photosynthesis and respiration through plant organelles (mitochondria). It was however banned about three decades ago due to its potential to cause cancer and movement through the placenta to cause malformation of embryos [12]. Nitrofen as an endocrine disruptor chemical exhibits both estrogenic and androgenic effects, while its accumulation in the fetus causes kidney and lung defects, but mainly cardiac defect [12-14]. Determination of pesticide residues in environmental samples and food products is therefore very important to ensure that humans and other organisms are protected from these negative effects.

The most widely used technique for the determination of pesticides and other organic contaminants is instrumental chromatography [15]. Instrumental chromatography can be broadly classified into liquid chromatography (LC) and gas

chromatography (GC) based on the physical state of the mobile phase being used [16]. LC is applicable to a greater percentage of organic compounds in comparison GC due to the latter being suitable for only compounds with high vapor pressures (volatile compounds) [4]. There are several detectors available coupled with GC and these include flame ionization detector (FID), thermal conductivity detector (TCD), electron capture detector (ECD), nitrogen phosphorus detector (NPD) and flame photometric detector (PID) [17]. GC coupled with mass spectrometry (GC-MS) is a very sensitive, accurate and precise technique which can also be used to characterize unknown compounds [18].

The aim of this study was to determine three herbicides (alachlor, bifenoxy and nitrofen) by GC-MS in lake, wastewater and soil samples with high accuracy and precision.

2. Materials and methods

2.1 Instrumentation

Simultaneous determination of the analytes in this study was performed using a gas chromatograph mass spectrometry (Agilent 6890 GC-MS). Separation of analytes before transferring to the mass spectrometer was achieved with a non-polar 30 m long HP-5MS column with 250 μm internal diameter and 0.25 μm film size. The quantifier/qualifier ions used for alachlor, bifenoxy and nitrofen were 160/188, 341/343 and 283/285 (m/z), respectively. The oven containing the column was programmed to increase from 70 $^{\circ}\text{C}$ – 180 $^{\circ}\text{C}$ and 180 $^{\circ}\text{C}$ – 300 $^{\circ}\text{C}$ at ramp rates of 60 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ and 40 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$, respectively. Helium served as both carrier and make-up gas at 1.5 mL/min constant flow. The injection port was heated to 250 $^{\circ}\text{C}$ and 1.0 μL of samples and standards were injected in the splitless mode. The MS transfer line temperature was 280 $^{\circ}\text{C}$ and ionization energy was 70 eV.

2.2 Reagents

Alachlor (15972-60-8), bifenoxy (42576-02-3) and nitrofen (1836-75-5) were purchased from Dr. Erhrensorfer (Augsburg – Germany) and each standard was dissolved in acetonitrile (Merck – Germany) to prepare approximately 1000 mg/L solutions. Aliquots from the three standard solutions were diluted with acetonitrile to prepare a 100 mg/L mixed standard solution, which was subsequently diluted to prepare working and calibration standard solutions. Analytical grade ethanol and methanol (Merck – Germany) were used for pre- and post-injection washing of the 10 μL GC syringe. Ultrapure deionized water was used to prepare aqueous standard solutions and rinsing of washed glassware.

2.3 Samples

Municipal wastewater was sampled from an open air aeration tank at a treatment facility and kept between 4 – 5 $^{\circ}\text{C}$. Before using for analysis, the wastewater was filtered through a paper with 125 mm pore size and then through a syringe filter with 0.45 μm pore size. Lake water was sampled into clean plastic bottles and stored under room conditions. Soil was sampled from different units of a field and grinded after homogenization. Very fine soil particles were obtained by sieving through a 100 mm pore sized sieve.

3. Results

All instrumental measurements were performed at least three times and the average of these measurements used to either plot calibration graphs or calculate percent recoveries of analytes from spiked samples.

3.1 Separation and determination of analytes

The temperature program specified in Section 2.1 was tested on 50 mg/L mixed standard solution and a well separated chromatogram of the three analytes was obtained as shown in Figure 1. The five largest peaks (m/z) of each analyte was taken from the National Institute of Science and Technology (NIST) mass spectrum search program and extracted from the total ion chromatogram to determine their respective retention times. The ChemStation mass spectrum database of compounds was also used to confirm the analytes and their retention times. The retention times for alachlor, nitrofen and bifenoxy were 4.11 min, 4.89 min and 5.55 min, respectively. Calibration standards were prepared between 0.10 mg/L and 100 mg/L and each calibration point measured three times. The lowest concentration of each analyte (0.20 mg/L for alachlor, 0.50 mg/L for nitrofen and bifenoxy) was determined at the point where the signal-to-noise ratio (S/N) was equal to or more than 3. The standard deviation (StdDev) calculated from 6 measurements of the lowest calibration concentration was used to determine the limits of detection (LOD) and quantification (LOQ), and the percent relative standard deviation (%RSD) using the expressions below:

$$\text{LOD: } 3 \times \text{StdDev/slope}$$

$$\text{LOQ: } 10 \times \text{StdDev/slope}$$

$$\% \text{RSD: } (\text{StdDev/Average}) \times 100$$

Table 1 summarizes the figures of merit calculated for the analytes. The calibration plots were linear ($R^2 > 0.9995$) over a broad concentration range and the low %RSDs obtained established good repeatability for replicate instrumental measurements.

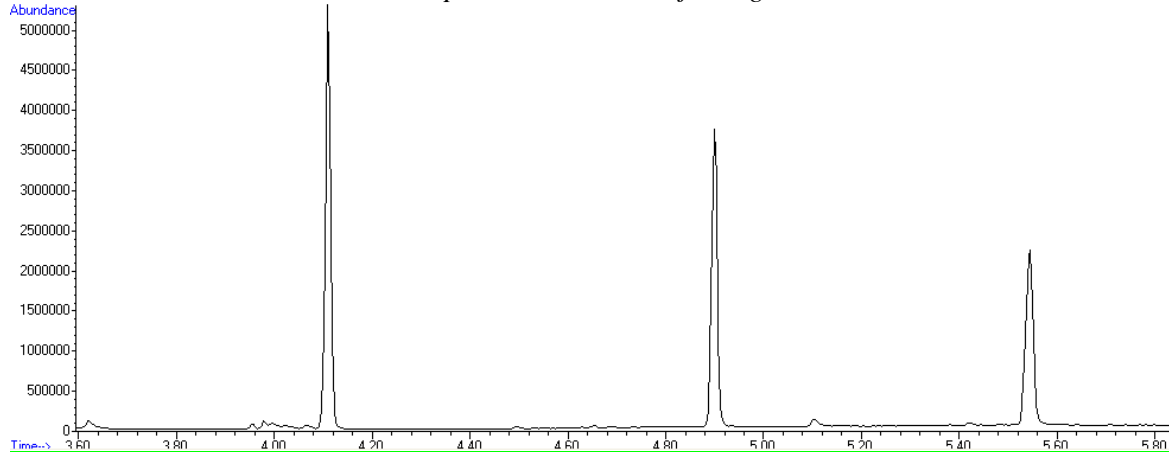


Figure 1. Total ion chromatogram of 50 µg/mL mixed standard solution.

Table 1. Analytical figures of merit for alachlor, nitrofen and bifenoxy by GC-MS.

| Analyte | Dynamic Range, mg/L | R ² | %RSD | LOD, mg/L | LOQ, mg/L |
|----------|---------------------|----------------|------|-----------|-----------|
| Alachlor | 0.20 – 50 | 0.9998 | 8.6 | 0.05 | 0.17 |
| Bifenoxy | 0.50 – 50 | 0.9996 | 6.1 | 0.18 | 0.59 |
| Nitrofen | 0.50 – 50 | 0.9997 | 2.9 | 0.15 | 0.50 |

3.2 Lake and wastewater recovery

Most farm lands are located next to lakes as a constant source of irrigation, and this makes contamination due to pesticide application common. Wastewater could also contain pesticides and other environmental contaminants which require removal before the treated water can be released into the environment. The purpose of the recovery study was to determine the amount of these analyte that can be determined when present in wastewater and lake water. Each sample was directly filled into vials and analyzed according to instrumental parameters in section 2.1 but

none of the analytes was detected in the blank measurements. The samples were then spiked to 2.0 mg/L and 10 mg/L final concentrations and analyzed alongside calibration standards prepared in acetonitrile. Integrated peak areas of the standard solutions at the same concentration as the spiked samples were more than twice the samples' peak area values, resulting in less than 50% recovery. The calibration standards were therefore prepared in deionized water and the peak areas obtained were similar to the spiked samples, giving percent recoveries close to 100% as shown in Table 2.

Table 2. Percent recoveries for lake and wastewater spiked at 2.0 mg/L and 10 mg/L (N=3).

| Analyte | Lake water | | Wastewater | |
|----------|--------------|--------------|-------------|--------------|
| | 2.0 mg/L | 10 mg/L | 2.0 mg/L | 10 mg/L |
| Alachlor | 101.1 ± 4.9% | 96.9 ± 2.6% | 95.4 ± 6.5% | 93.4 ± 1.7% |
| Bifenoxy | 90.6 ± 3.3% | 104.9 ± 4.9% | 98.3 ± 8.2% | 102.5 ± 5.4% |
| Nitrofen | 93.0 ± 3.9% | 103.9 ± 4.2% | 90.2 ± 7.1% | 104.0 ± 4.5% |

N = 3 to calculate %RSD.

3.3 Soil recovery

Unlike the water samples which were directly analyzed, the soil sample had to be extracted before sending to the instrument. Since the analytes showed good solubility in acetonitrile (standard

solution solvent), it was used as extractant for the spiked soil sample. The soil sample was sieved as written in section 2.3 to ensure that the finest particles gave a large surface area for extraction. The soil sample was dried at about 70 °C for 2.0 h before spiking with the standards. Two 0.50 g samples were

spiked to a final concentration of 2.0 mg/L and extracted with 4.0 mL acetonitrile on a mechanical shaker for 10 min. The supernatants were filtered through 0.45 µm syringe filters into vials for GC-MS injections together with a blank soil extract and calibration standards. The percent recovery recorded for the

analytes were appreciable, but the blank soil extract was used to prepare calibration standards with the aim of matching the soil matrix. The percent recovery obtained with the matrix matched standards showed an improvement over the regular standard solutions as given in Table 3.

Table 3. Percent recoveries for soil sample spiked at 2.0 mg/L.

| Analyte | Conventional Standards | Matrix Matched Standards |
|----------|------------------------|--------------------------|
| Alachlor | 87.0 ± 5.2% | 92.7 ± 0.9% |
| Bifenox | 91.9 ± 7.7% | 98.8 ± 2.2% |
| Nitrofen | 89.4 ± 1.7% | 96.6 ± 5.3% |

4. Conclusions

This study presents a direct GC-MS analysis method for the determination of alachlor, bifenox and nitrofen in environmental samples. The analytes were well separated from each other using an optimum temperature program and the figures of merit determined for each analyte were appreciable. Suitability of the method to real samples was tested on lake, wastewater and soil samples which tend to have complex matrices. The water samples were directly spiked and analyzed, yielding close to 100% recovery results. The soil sample was spiked and extracted with acetonitrile, and a blank soil extract was used to prepare matrix matching standards to improve the accuracy of the results.

References

[1] C.D. Selali, K. Yeşim, K. Sena, Ö. Çağla, B.A. Emin, B. Sezgin, Multivariate optimization of dispersive liquid-liquid microextraction for the determination of paclobutrazol and triflumizole in water by GC-MS, *Journal of Separation Science*, 40 (2017) 4541-4548.

[2] E.A. Songa, J.O. Okonkwo, Recent approaches to improving selectivity and sensitivity of enzyme-based biosensors for organophosphorus pesticides: A review, *Talanta*, 155 (2016) 289-304.

[3] J. Cooper, H. Dobson, The benefits of pesticides to mankind and the environment, *Crop Protection*, 26 (2007) 1337-1348.

[4] A.E. Bulgurcuoğlu, B. Yılmaz, D.S. Chormey, S. Bakırdere, Simultaneous determination of estrone and selected pesticides in water medium by GC-MS after multivariate optimization of microextraction strategy, *Environmental Monitoring and Assessment*, 190 (2018) 252.

[5] R.L. Zimdahl, Chapter 7 - DDT: An Insecticide, *Six Chemicals That Changed Agriculture*, Academic Press, San Diego, 2015, pp. 115-133.

[6] P.K. Gupta, Chapter 39 - Herbicides and fungicides, *Reproductive and Developmental Toxicology*, Academic Press, San Diego, 2011, pp. 503-521.

[7] A.M. Au, PESTICIDES AND HERBICIDES | Types, Uses, and Determination of Herbicides A2 - Caballero, Benjamin, *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition (Second Edition)*, Academic Press, Oxford, 2003, pp. 4483-4487.

[8] L. Durães Sette, L.A. Mendonça Alves da Costa, A.J. Marsaioli, G.P. Manfio, Biodegradation of alachlor by soil

streptomycetes, *Applied Microbiology and Biotechnology*, 64 (2004) 712-717.

[9] M. Dehghani, S. Nasserli, Z. Zamanian, Biodegradation of alachlor in liquid and soil cultures under variable carbon and nitrogen sources by bacterial consortium isolated from corn field soil, *Iranian Journal of Environmental Health Science & Engineering*, 10 (2013) 21-21.

[10] Y. Jeon, J. Kim, S. Cho, T.H. Kim, Bifenox: methyl 5-(2,4-di-chloro-phen-oxy)-2-nitro-benzoate, *Acta Crystallographica Section E: Structure Reports Online*, 69 (2013) o1206-o1206.

[11] K. Vorkamp, R. Bossi, K. Bester, U.E. Bollmann, S. Boutrup, New priority substances of the European Water Framework Directive: Biocides, pesticides and brominated flame retardants in the aquatic environment of Denmark, *Science of The Total Environment*, 470-471 (2014) 459-468.

[12] S.M. Smith, 6.23 - Environmentally Induced Heart Malformations A2 - McQueen, Charlene A, *Comprehensive Toxicology (Second Edition)*, Elsevier, Oxford, 2010, pp. 429-446.

[13] W. Mnif, A.I.H. Hassine, A. Bouaziz, A. Bartegi, O. Thomas, B. Roig, Effect of Endocrine Disruptor Pesticides: A Review, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 8 (2011) 2265-2303.

[14] R. Keijzer, J. Liu, J. Deimling, D. Tibboel, M. Post, Dual-Hit Hypothesis Explains Pulmonary Hypoplasia in the Nitrofen Model of Congenital Diaphragmatic Hernia, *The American Journal of Pathology*, 156 (2000) 1299-1306.

[15] A. Stachniuk, E. Fornal, *Liquid Chromatography-Mass Spectrometry in the Analysis of Pesticide Residues in Food, Food Analytical Methods*, 9 (2016) 1654-1665.

[16] O. Coskun, Separation techniques: Chromatography, *Northern Clinics of Istanbul*, 3 (2016) 156-160.

[17] E. Forgács, T. Cserhádi, CHROMATOGRAPHY | Principles A2 - Caballero, Benjamin, *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition (Second Edition)*, Academic Press, Oxford, 2003, pp. 1259-1267.

[18] X. Cao, P.A. Limbach, *Mass Spectrometry: Nucleic Acids and Nucleotides Studied Using MS* A2 - Lindon, John C, in: G.E. Tranter, D.W. Koppenaal (Eds.) *Encyclopedia of Spectroscopy and Spectrometry (Third Edition)*, Academic Press, Oxford, 2017, pp. 764-771.



Küçük Güçlü Rüzgâr Santrallerinin Kurulumu ve Şebekeye Etkilerinin Teknik ve Ekonomik Açından Değerlendirilmesi: Uygulama Çalışması

Ali Erduman¹, Ali Durusu^{2*}, Bedri Kekezoğlu²

¹Hakkari Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, 30000, Hakkâri, Türkiye

²Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, 34220, İstanbul, Türkiye
*adurusu@yildiz.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 1 Mayıs 2018 ve Kabul Tarihi 5 Ağustos 2018)

(DOI: 10.31590/ejosat.420155)

Öz

Fosil enerji kaynakların çevreye vermiş olduğu olumsuz etkiler gün geçtikçe artmaktadır. Bu zararların azaltılması amacıyla yenilenebilir enerji kullanımının artırılmasına yönelik çalışmalarda hız kazanmıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının şebeke içerisinde kullanımının artması, teknik ve ekonomik açıdan nerede ve nasıl konumlandırılması gerektiği sorusunu beraberinde getirmiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan küçük güçlü rüzgâr enerji sistemlerinin dağıtım şebekesi içerisinde ve insanların yaşam alanlarında nasıl konumlandırılacağı da güncel problemlerden bir tanesidir. Yapılan bu çalışmada dağıtım sistemlerinde tüketicinin kendi iç ihtiyaçları için kullandıkları rüzgâr santrallerinin teknik ve ekonomik kurulumu amacıyla örnek bir bölge incelenmiştir. Bununla birlikte kurulan küçük güçlü rüzgâr enerji sistemi üzerinden şebekeye olan etkileri incelenmiş ve elde edilen sonuçlar yönetmeliklerde belirtilen değerler ile karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Rüzgâr enerjisi, küçük güçlü rüzgâr türbinleri, enerji dağıtım şebekesi

Installation and Grid Effect Evaluation of Small-Power Wind Power Plant Considering Technical and Economic Criteria: A Case Study

Abstract

The adverse effect of fossil energy sources on the environment is increasing every day. In order to decrease the adverse effect, expanding the use of renewable energy resources are encouraged. The increasing use of renewable energy resources in the electrical network has brought together the question of where and how to technically and economically positioned of these plant. It is a current problem that how to integrate the small-power wind power plant to the grid and how to install in the people's living area. In this study, a small-power wind power plant which is used for self-electricity consumption is examined considering technical and economic criteria. Also, grid effect of small-power wind power plant is examined and obtained results are compared with values indicated in the current regulations.

Keywords: Wind power, small-power wind power plant, electricity distribution network

1. Giriş

Konvansiyonel enerji üretim sistemleri üzerinde kullanılan fosil bazlı yakıtlı çevresel etkilerinin yanında ülkelerin ekonomik ilerlemelerinin önünde de engel oluşturmaktadır (Akella ve ark, 2009). Fosil enerji kaynaklarının oluşturduğu bu problemlerin azaltılması amacıyla insanoğlu yeni enerji üretim araçları üzerine odaklanmış ve özellikle temiz enerji kaynağı olmaları sebebiyle yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmiştir. N.L. Panwar ve arkadaşları tarafından sunulan gelecek enerji üretim senaryolarına göre yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının 2040 yılına kadar %47,7 değerine ulaşabileceği ifade edilmektedir (Panwar ve ark, 2011). Önemli yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan rüzgâr enerjisi sistemlerinin bu artışta önemli bir payı bulunmaktadır. Dünya Rüzgâr Enerjisi Birliği verilerine göre 2016 yılı sonunda dünyada toplam

rüzgâr enerjisi kurulu gücü 486,790 GW'a ulaşmış olup 2018-2021 yılları için yapılan tahminlere göre de 230,2 MW'lık rüzgâr santralının kurulması öngörülmektedir (Council, 2017).

Rüzgâr enerjisi kullanımı lisanslı ve lisanssız olmak üzere iki şekilde gerçekleştirilmektedir. Lisanslı kullanım bağlantılı büyük güçlü enerji santrallerinde ön plana çıkarken, lisanssız kullanım ise sıklıkla dağıtım şebekesi üzerinden bağlı olan tüketicilerin kendi ihtiyaçları için kullanılmaktadır. Dağıtım sisteminde lisansız santrallerin sayısı gün geçtikçe artmaktadır. 2020 yılına kadar 270 MW kurulum değeri ile birlikte lisanssız kullanımın toplamda 1,9 GW değerine ulaşması beklenmektedir (Gsanger, 2017). Lisanssız rüzgâr santrallerin kurulumunda artışın en önemli sebebi ülkelerin bu konuda yapmış oldukları destekleme mekanizmalarıdır. Küçük güçlü rüzgâr santrallerin elektrik üretiminde ülkelere göre destek miktarları Tablo1'de sunulmuştur.

Tablo 1. Küçük güçlü rüzgâr santrallerin ülkelere göre desteklenme fiyatları (Gsanger, 2017)

| Ülke/Bölge | Limit Güç | Destek [€/kWh] | Ülke/Bölge | Limit Güç | Destek [€/kWh] |
|--------------------|-----------|----------------|-------------|-----------|----------------|
| Kanada/Nova Scotia | <50 kW | 0,34 | Japonya | <20 kW | 0,464 |
| | >50kW | 0,089 | | >20 kW | 0,185 |
| Çin | | 0,134-0,201 | Lüksemburg | | 0,091 |
| | | | Portekiz | <3,68 kW | 0,432 |
| Çin Taipei | 1-20 kW | 0,237 | Sırbistan | | 0,092 |
| | >20 kW | 0,078 | Slovenya | <1 MW | 0,095 |
| Çek Cumhuriyeti | | 0,071 | İsviçre | <10 MW | 0,179 |
| Danimarka | <10 kW | 0,33 | İngiltere | <50 kW | 0,097 |
| | 10-25 kW | 0,2 | | <100 MW | 0,0635 |
| Yunanistan | < 50 kW | 0,25 | ABD-Hawaii | <100 MW | 0,11 |
| İtalya | < 1 MW | 0,3 | ABD-Vermont | <15 MW | 0,2 |
| İsrail | < 15 kW | 0,25 | İsrail | 15-50 kW | 0,32 |

Tablo 2. Türkiye’de rüzgâr enerjisi üretim tesislerinde yerli ürün kullanılması durumunda verilecek destek miktarları

| Parça | Destek [\$cent/kWh] |
|--|---------------------|
| Kanat | 0,8 |
| Jeneratör ve güç elektroniği | 1 |
| Türbin kulesi | 0,6 |
| Rotor ve nasele gruplarındaki mekanik aksamın tamamı | 1,3 |

Rüzgâr santrallerin kurulumun ve yerli üretiminin artmasını teşvik eden bazı ülkeler aynı zamanda rüzgâr santrallerinde kullanılan bileşenleri de parça başına desteklemektedir. Türkiye’de parça başına destek miktarları Tablo 2’de verilmiştir (Resmi Gazete, 2005).

Dağıtım sistemi içerisindeki küçük güçlü rüzgâr santralleri sayısındaki artışla birlikte şebeke üzerinde güç kalitesi, gerilim kararlılığı ve gerilim seviyesinin düzenlenmesi, kayıpları, şebeke kapasitesinin verimli kullanılması, güvenilirlik vb. konuların yeniden analiz edilmesi gerekmektedir (Barker ve De Mello, 2000). Analizlerin doğru yapılmadığı durumlarda gerilim düşümü, gerilim dengesizliği, gerilim yükselmesi, harmonikler ve fliker gibi istenmeyen durumlar ortaya çıkabilmektedir (Taşçıkaraoğlu, 2008; Zehir ve ark, 2017). Lisanssız elektrik üretim sürecinin Türkiye’de yeni yaygınlaşmaya başlaması ile ileride bu muhtemel sorunların ortaya çıkması öngörülmektedir. Dağıtım şebekesi içerisinde bu sorunların oluşmaması amacıyla rüzgâr enerji kaynaklı lisanssız elektrik üretiminin incelenmesi zorunlu kılınmıştır. Öngörülen problemlerin azaltılması amacıyla dağıtım sistemlerinin yapısı ve kurulacak test sistemlerinden elde edilecek sonuçların değerlendirilmesi gerekmektedir (Durusu ve Erduman, 2017).

Küçük güçlü rüzgâr santralleri sıklıkla tüketicinin kendi iç ihtiyaçlarını karşılaması amacıyla kurulmaktadır. Bu durum türbinlerin kuruldukları konumlarını da dikkate almayı gerektirmektedir. Özellikle kurulum yapılması planlanan alanda yaşayan insanların rüzgâr türbinlerinin kurulmasından kaynaklı bir risk taşıyıp taşımadığı, rüzgâr türbinlerinin kurulacağı bölgenin toprak yapısının kurulumu uygun olup olmadığı, rüzgâr türbinlerinin kurulduğu bölgelerin kuşların göç yolu veya konaklama yolu üzerinde olup olmadığı, rüzgâr türbinlerinin askeri veya

sivil anten sistemlerine olan uzaklığı, rüzgâr türbinlerinin çevresinde oluşturacağı gürültü değeri vb. bileşenlerin değerlendirilmesi gerekmektedir (Teschner ve Alterman, 2018).

Bu çalışmanın ikinci kısmında rüzgâr santrallerinin teknik ve ekonomik fizibilite analizine yönelik matematiksel altyapı sunulmuştur. Üçüncü kısımda Bakırköy Belediyesi Botanik Parkı içerisinde rüzgâr türbinleri için fizibilite analizi yapılmış ve en uygun türbin tipi belirlenmiştir. Dördüncü bölümde kurulumu tamamlanan sistem üzerinden alınan veriler analizi edilmiş ve standartlar ışığında yorumlanmıştır. Çalışma sonuç bölümü ile sonlandırılmıştır.

2. Rüzgâr Santrallerinin Fizibilite Analizi

Rüzgâr türbinlerinin kurulum aşamasından önce teknik ve ekonomik analizlerin gerçekleştirilmesi ve uygun görülmesi durumunda projenin kurulum safhasına geçilmesi, mali kayıpların önlenmesi ile birlikte enerji sisteminin işletiminin kolaylaştırılması açısından önem taşımaktadır. Bu bölümde rüzgâr santrallerinin kurulum öncesi çalışmalarına ait teorik altyapı sunulmuştur.

2.1 Rüzgâr santrallerinin teknik analizi

Rüzgâr santrallerinin teknik fizibilitesinin yapılabilmesi amacıyla ilk olarak türbinlere ait çıkış gücünün belirlenmesi gerekmektedir. Bir rüzgâr türbininden elde edilecek güç miktarı türbinin kurulduğu bölgenin rüzgâr rejimi ile doğrudan ilişkilidir. Bu bağlamda rüzgâr türbinine rüzgâr hızına bağlı çıkış gücü ifadesi denklem (1)’de gösterilmiştir.

$$P = \frac{1}{2} \rho A v^3 C_p \quad (1)$$

Burada, ρ hava yoğunluğu (kg/m^3), A rüzgâr türbininin süpürme alanını (m^2), v is rüzgâr hızını (m/s) ve C_p kullanılan rüzgâr türbininin verimini ifade etmektedir. Yatay eksenli rüzgâr türbinlerinde A rüzgâr türbininin süpürme alanı ifadesi denklem (2) yardımıyla elde edilmektedir.

$$A = \frac{\pi}{4} D^2 \quad (2)$$

Bu ifade de D rotor çapının m cinsinden ifadesidir. Dolayısı ile süpürme alanın, rotor çapının karesiyle orantılı olarak artmaktadır. Rotor çapı mekanik tasarımın bir sonucu olduğu için güç hesabında önemli bir

parametredir. Rüzgâr türbinlerin verimi (C_p) rüzgâr türbinlerin yapısına göre değişmekte ve türbinlere göre farklılık göstermektedir. Bu ifadeler türbin üreticileri tarafından her bir rüzgâr hızı için belirlenmekte ve sunulmaktadır.

Rüzgâr türbinlerinin teknik fizibilite analizi gerçekleştirilirken türbinin kurulması planlanan bölgeye ait rüzgâr rejiminden yararlanılmaktadır. Bu amaçla bölgeye ait rüzgâr hızı ölçüm yolu ile ya da hazır veri setleri kullanılarak elde edilmektedir. Buna karşın mevcut veri setinin elde edildiği ölçüm yüksekliği ile incelenen rüzgâr türbinin kule yüksekliği farklılıklar gösterebilmektedir. Yüksekliğe bağlı olarak rüzgâr hızının değişeceği dikkate alındığında yeni yükseklik değeri için rüzgâr hızının yeniden tanımlanması bir zorunluluk halini almaktadır. Buna göre farklı yüksek değerleri için rüzgâr hızı değeri Denklem 3 yardımı ile hesaplanmaktadır.

$$\frac{V_h}{V} = \left(\frac{H_h}{H}\right)^\alpha \quad (1)$$

Burada, verilen V anemometrenin ölçüm yaptığı H yüksekliğindeki rüzgâr hızı (m/s), V_h rüzgâr türbinin kurulum yapıldığı H_h yükseklikteki rüzgâr hızı (m/s) ve α sürtünme katsayısını göstermektedir. Sürtünme katsayısı rüzgâr tribünün kurulduğu bölgede yapılan ölçümler ile elde edilebildiği gibi uzun süreli ölçümlerle de elde edilebilmektedir. Genel olarak Tablo 3'deki değerler kullanılabilir.

Rüzgâr santrali üzerindeki güç çıkışının elde edilmesinden sonra türbinlere ait enerji üretimi Denklem 4 gösterildiği şekilde P ortalama rüzgâr gücü (W) ve h zaman (saat) ifadeleri kullanılarak hesaplanabilmektedir.

$$E_w = Ph \quad (4)$$

Tablo 3. Yeryüzü Karakteristiklerine göre sürtünme katsayıları (Masters, 2013)

| Yeryüzü Karakteristiği | Sürtünme Katsayısı (α) |
|--|---------------------------------|
| Pürüzsüz sert toprak, durgun su | 0,10 |
| Toprak seviyesinde uzun çimenli bölge | 0,15 |
| Toprak seviyesinin üzerinde daha uzun mahsul | 0,20 |
| Kırsal orman alanları, birçok ağaç | 0,25 |
| Ağaçlık ufak kasabalar | 0,30 |
| Uzun binalarla dolu büyük şehirler | 0,40 |

Rüzgâr santrallerinde bölgesel verim kapasite faktörü ile ifade edilmektedir. Türbinden elde edilecek yıllık enerji miktarı kullanarak kapasite faktörü ifadesi Denklem 5 ile elde edilmektedir (Masters, 2013).

$$KF = \frac{E_w}{P_R \times 8760} \quad (5)$$

Burada P_R rüzgâr türbini üreticinin beyan etmiş olduğu nominal türbin gücünü ifade etmektedir.

2.2 Rüzgâr santrallerinin ekonomik analizi

Rüzgâr türbinlerinin ekonomik analizi noktasında en önemli parametre yapılan yatırımın geri dönüş süresidir. Yatırım maliyeti C , ve üretilen enerjinin satış bedeli C_E kullanılarak projeye ait geri dönüş süresi Denklem 6'da gösterildiği şekilde hesaplanabilmektedir.

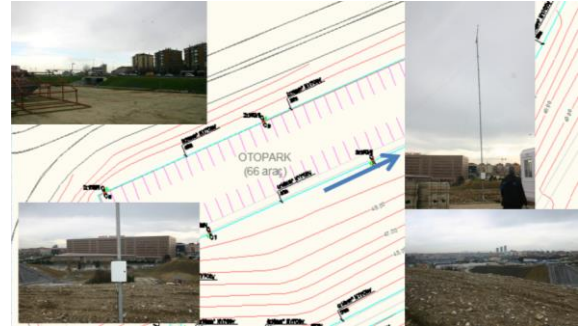
$$GDS = \frac{C}{E_w \cdot C_E} \quad (6)$$

3. Küçük Güçlü Rüzgâr Enerji Sistemi Fizibilite Analizi

Gerçekleştirilen çalışma kapsamında İstanbul'a kurulacak küçük güçlü rüzgâr türbinlerine ait fizibilite analizi gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda ilk olarak gölge özellikleri irdelenmiş, buna bağlı olarak farklı rüzgâr türbini seçenekleri değerlendirilmiştir.

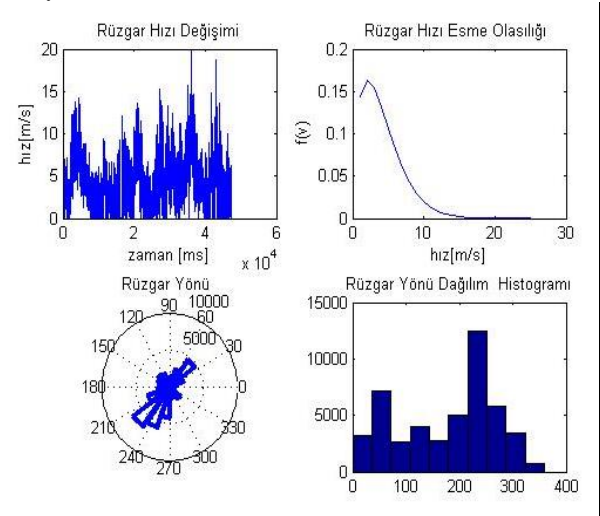
3.1 Bölge özellikleri

Bu çalışmada Marmara bölgesi İstanbul ili Bakırköy ilçesi sınırları içerisindeki Bakırköy Botanik Parkı ele alınmış ve rüzgâr potansiyeli incelenmiştir. Şekil 1'de, 40,9983 K, 28,87707 D koordinatlarında ve deniz seviyesinden 49 m yükseklikte bulunan Bakırköy Botanik Parkın yerleşimi verilmiştir.



Şekil 1. Bakırköy Botanik parkı rüzgâr türbini kurulum alanı

Fizibilite analizinin gerçekleştirilebilmesi amacıyla ile olarak bölgenin rüzgâr profilinin tespit edilmesi için rekreasyon alanının en yüksek noktasına direk yüksekliği 12 m olan ATLANTIS RHY08 marka bir rüzgâr ölçüm sistemi kurulmuştur. Bölgenin rüzgâr verileri ölçülmüş ve ölçüm sonucunda hâkim rüzgâr yönünün kuzeydoğu, ortalama rüzgâr hızının 12 metre yükseklikte 3,8 m/s olduğu tespit edilmiştir. Şekil 2'de bölgenin rüzgâr dağılımı histogramı, rüzgâr yönü ve rüzgâr hızı esme olasılığı gösterilmiştir.



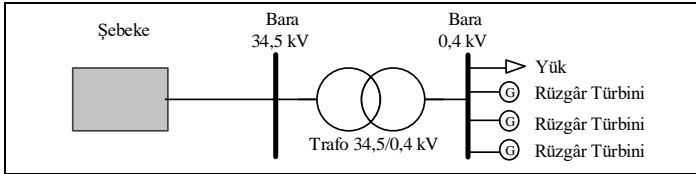
Şekil 2. Bakırköy Botanik Park alanının genel rüzgâr dağılım bilgileri

Bölgenin pürüzlülük oranı LUTRON marka El anemometresi ve ATLANTIS RHY08 marka bir rüzgâr ölçüm sistemi ile eş zamanlı yapılan ölçümler ile 0,365673 olarak tespit edilmiştir. Elde edilen değerler literatürde tanımlanan değerlere yakınsadığı görülmüştür. Kurulum yapılacak bölge konum itibarıyla yoğun yerleşim alanıdır. Rekreasyon alanı bir fazlı ve üç fazlı yüklerden oluşmaktadır. Rekreasyon alanındaki elektriksel yük profili Tablo 4’de verilmiştir.

Tablo 4. Bakırköy Botanik Parkı elektriksel yük dağılımı

| Tip | Adet | Güç [W/adet] | Toplam Güç [W] |
|------------|------|--------------|-----------------|
| Aydınlatma | 66 | 35 | 2310 |
| Aydınlatma | 26 | 150 | 3900 |
| Aydınlatma | 33 | 300 | 9900 |
| Aydınlatma | 70 | 440 | 30800 |
| Aydınlatma | 7 | 1600 | 11200 |
| Motor | 18 | 4097 | 73746 |

Rüzgâr türbinlerinin kurulması planlanan bölgeye ait basitleştirilmiş tek hat diyagramı Şekil 3’de sunulmuştur. Tablo 4 ‘deki yükler tek hat şeması üzerinde tek bir yük olarak gösterilmiştir. Dağıtım şebekesine 1 MVA ve 34,5/0,4 kV’luk transformator üzerinden bağlantının yapılması öngörülmüştür.



Şekil 3. Parka ait elektrik tek hat şeması

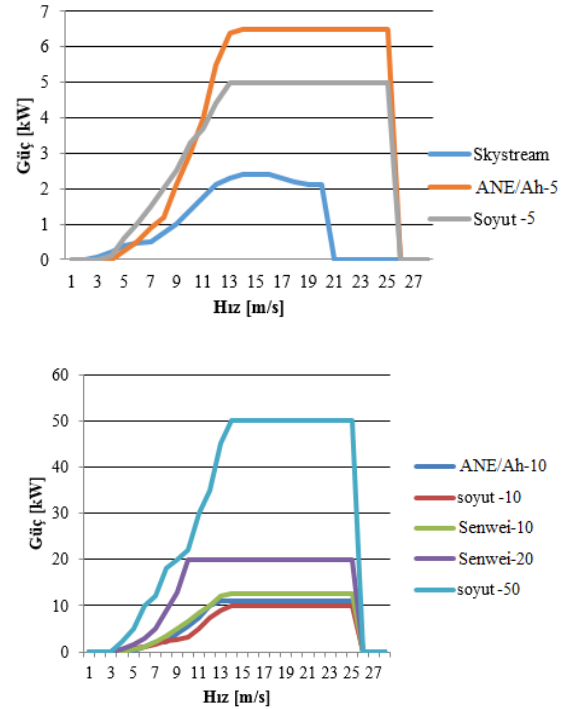
3.2 Rüzgâr Türbinlerin Şebekeye Paralel Bağlantı Şartları

Rüzgâr santrallerinin güçlerine göre şebekeye bağlantı noktaları ve şebekeye etkileri farklılık göstermektedir. Bu etkilerin minimize edilmesi için şebekeye paralel bağlantı, elektriksel koruma ve kontrolü ile şebekeye paralel çalışma durumu TS EN 50438 standardında belirtilen şartlarla düzenlenmiştir (TS EN 50438, 2015). Ayrıca, küçük güçlü rüzgâr türbinlerin lisansız elektrik üretimi amacıyla kullanımı, 10 Mart 2012 tarihinde 8229 Sayı ile yayınlanan Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmeliğin Uygulanmasına Dair Tebliğin Bağlantı Kriterlerinin 14. maddesinde ve 15. maddesinde tanımlanan özelliklere göre tanımlanmıştır. Gerçekleştirilen bu çalışmada da yukarıda sıralanan yasal düzenlemeler dikkate alınmış ve analizler bu çerçevede gerçekleştirilmiştir.

3.3 Rüzgâr Türbinlerinin Seçimi ve Yerleşimi

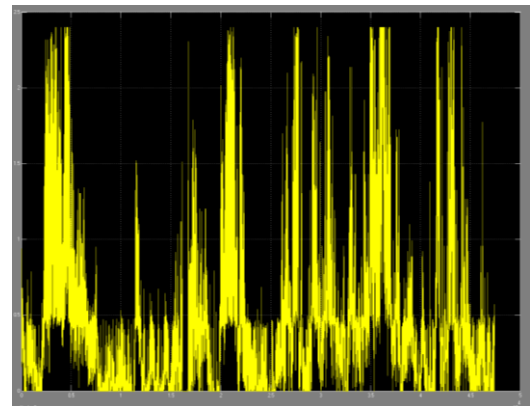
Çalışma kapsamında incelenen bölge üzerine kurulabilecek 2,4 -50 kW güç aralığında 8 farklı rüzgâr türbine ait teknik ve ekonomik analizler gerçekleştirilmiştir. Rüzgâr türbini seçimi amacı ile türbinlerinin mekanik yapısı, şebeke bağlantısı tipi, üretim kapasitesi, kurulum maliyeti, kapasite

faktörü, temin süresi ve görsel yapısı gibi özellikleri dikkate alınmıştır (Bahaj ve ark, 2007). Çalışma kapsamında dikkate alınan rüzgâr türbinlerinin üretim eğrileri Şekil 4’te ve teknik özellikleri Tablo 5’de gösterilmiştir.



Şekil 4. Rüzgâr türbinlerin güç üretim eğrileri

Çalışma kapsamında ele alınan rüzgâr türbinlerine ait çıkış güçleri bölge üzerinden elde edilen rüzgâr verileri kullanılarak elde edilmiştir. 12 m’de ölçülen rüzgâr hızları çalışmada kullanılan ticari rüzgâr türbinlerinin kule yüksekliklerine göre yeniden düzenlenmiştir. Rüzgâr hızlarına göre rüzgâr türbinlerinin üretebilecekleri güç değerlerini hesaplamak amacıyla Matlab Paket Programı kullanılmıştır. Buna göre örnek olarak Skystream rüzgâr türbinine ait hesaplan güç çıkış eğrisi Şekil 5’te gösterilmiştir.



Şekil 5. Skystream rüzgâr türbininin güç çıkışı değişimi

Tablo 5. 2,4 -50 kW arasında sekiz farklı ticari rüzgâr türbinin teknik özelliklerinin karşılaştırılması

| Model | Skystream | ANE/Ah-5 | ANE/Ah-10 | Soyut-5 | Soyut-10 | Soyut-50 | Senwei-10 | Senwei-20 |
|--|-----------|-------------------------|-----------|-----------------|------------------|----------|--------------------------------------|-----------------|
| Rotor çapı [m] | 3,72 | 5,4 | 7,6 | 5,82 | 8,23 | 8,12 | 8 | 12,35 |
| Nominal güç (P_{max}) [W] | 2400 | 5000 | 1000 | 5000 | 10000 | 50000 | 10000 | 20000 |
| Nominal rüzgâr hızı [m/s] | 13 | 11 | 12 | 12 | 12 | 12 | 10,8 | 9 |
| Çalışma rüzgâr hızı aralığı [m/s] | 3-25 | 3-30 | 3-30 | 3-25 | 3.25 | 3-35 | 3-35 | 3-35 |
| Devreye girme hızı [m/s] | 2 | 2 | 2,5 | 3 | 3 | | 2 | 3 |
| Çalışma gerilimi [V] | 220VAC | DC500V/DC 240V/AC220 | AC380 | 12-24-48V DC | 12-24- 48V DC | AC380 | DC240V/5 00 V, AC220V/3 80V | AC220V/3 80V |
| Kule yüksekliği [m] | 24 | 8 | 12 | 12-15 | 12-15 | 20-25 | 16 | 16 |

Hesaplanan güç eğrileri kullanılarak elde edilen enerji üretim miktarlarının nominal üretilebilecek enerjiye oranlanması yapılarak rüzgâr türbinlerine ait kapasite faktörü tespit edilmiştir. Yapılan ekonomik analizde geri dönüş süresinin hesaplanması amacıyla enerji satış fiyatı 0,3 kWh/TL olarak alınmıştır. Rüzgâr türbinlerinin maliyet, kapasite faktörü ve geri dönüşüm süresi karşılaştırılmasına ilişkin elde edilen sonuçlar Tablo 6'da sunulmuştur.

Yapılan analizler sonucunda, geri dönüşüm yılı en kısa olan seçenek Senwei 20 kW rüzgâr türbini olurken geri dönüşümü en uzun olan seçenek Soyut 10 kW rüzgâr türbini olarak tespit edilmiştir. TS EN 50438 standardında belirtilen şartlara ve enerji üretimi kısıtları birlikte dikkate alındığında bölgeye büyük güçlü rüzgâr türbinleri yerine gücü 3,5 kW altında bir türbinin bağlanması daha uygun olacağı görülmüştür. Buna göre bölge üzerine Skystream 2,4 kW rüzgâr türbinlerinin kurulması kararlaştırılmıştır. Bölgede görsel etki ve farkındalık yaratması amacıyla her bir faza bir adet olmak üzere üç adet rüzgâr türbini kurulumu yapılmıştır.

4. Kurulum Sonrası Şebekeye Etkilerin Analizi

Çalışma kapsamında fizibilitesi gerçekleştirilen rüzgâr türbinlerinin kurulumu tamamlanmış ve kurulum sonrası türbinlerin şebekeye etkileri ilgili yönetmelikler kapsamında değerlendirilmiştir. Bu amaçla türbinlerin bağlantı noktalarından güç analizörleri yardımıyla TS EN 50160/AC (2013) standardına göre bir hafta boyunca 10 dk. aralıklarla eş zamanlı olarak ölçümler yapılmıştır. Ölçümlerde eş zamanlı akım gerilim, güç, enerji, fliker, ana ve ara harmonikler, gerilim dengesizlikleri, vb. güç kalite parametrelerinin tamamı incelenmiş ve elde edilen ölçüm sonuçları Tablo 7'de verilmiştir. Yapılan ölçümler sırasında 1. ve 3. faza bağlı olan rüzgâr türbinler üzerinden gerçekleştirilmiştir.

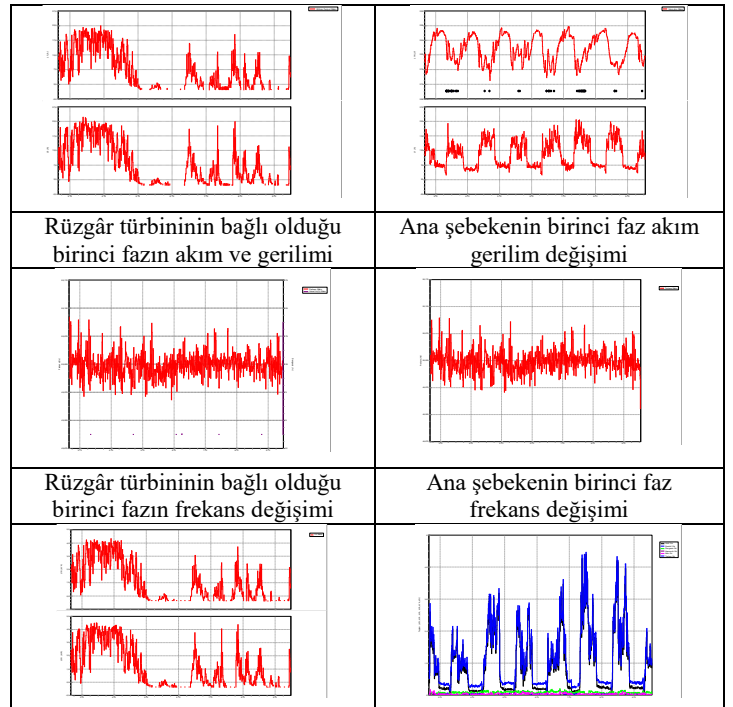
Tablo 6. Farklı Ticari rüzgâr türbinlerin maliyet ve geri dönüşüm yılları bazında karşılaştırılması

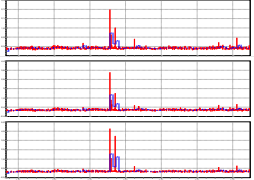
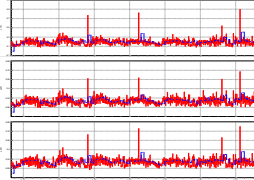
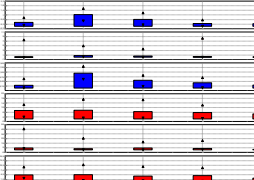
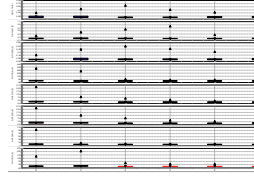
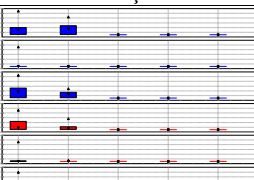
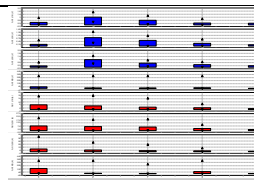
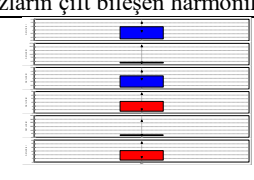
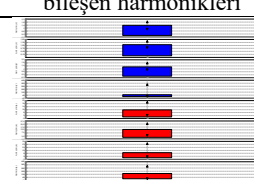

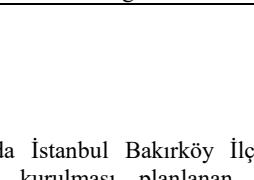
| Türbin Tipi | Güç [kW] | Kule yüksek. [m] | Maliyet | KF | GDS [yıl] |
|-------------|----------|------------------|------------|------|-----------|
| Skystream | 2,4 | 30 | 7300 [€] | 0,18 | 11 |
| ANE/Ah-5 | 5 | 30 | 25000 [\$] | 0,14 | 19 |
| ANE/Ah-10 | 10 | 30 | 40000 [\$] | 0,13 | 20 |

| | | | | | |
|------------------|----|----|-------------|------|----|
| Soyut-5 | 5 | 12 | 15500 [\$] | 0,10 | 23 |
| Soyut-10 | 10 | 15 | 21000 [\$] | 0,06 | 25 |
| Soyut-50 | 50 | 25 | 120000 [\$] | 0,16 | 13 |
| Senwei-10 | 10 | 30 | 40000 [\$] | 0,23 | 11 |
| Senwei-20 | 20 | 30 | 52000 [\$] | 0,29 | 10 |

Kurulumu tamamlanan ve işletmeye alınan sistem üzerinden alınan ölçüm sonuçları TS EN 50438 çerçevesinde değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre sistem üzerinde harmonik ve fliker değerlerinin limitler dahilinde kaldığı, benzer şekilde gerilim değişiminin de izin verilen sınırlar dahilinde olduğu gözlemlenmiştir.

Tablo 6. Bakırköy parkında 02.12.2013 ve 09.12.2013 tarihleri arasında yapılan ölçümler



| | |
|---|---|
| Rüzgâr türbininin bağlı olduğu birinci fazın güç değişimi | Ana şebekenin birinci faz güç değişimi |
|  |  |
| Rüzgâr türbininin bağlı olduğu fazların fliker değişimi | Ana şebekenin birinci faz fliker değişimi |
|  |  |
| Rüzgâr türbininin bağlı olduğu fazların tek bileşen harmonikleri | Ana şebeke fazlarının tek bileşen harmonikleri |
|  |  |
| Rüzgâr türbininin bağlı olduğu fazların çift bileşen harmonikleri | Ana şebeke fazlarının çift bileşen harmonikleri |
|  |  |
| Rüzgâr türbininin bağlı olduğu fazların THD değerleri | Ana şebeke fazlarının THD değerleri |
|  |  |

5. Sonuç ve Öneriler

Gerçekleştirilen çalışma kapsamında İstanbul Bakırköy İlçesinde bulunan Bakırköy Botanik Parkı'na kurulması planlanan rüzgâr türbinlerine ait teknik ve ekonomik fizibilite çalışması gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda ilk olarak bölgenin rüzgâr potansiyeli irdelenmiş ve rüzgâr hızının düşük olmasına bağlı olarak büyük güçlü rüzgâr türbini kurulumuna uygun olmadığı gözlemlenmiştir. Buna bağlı olarak belirlenen 8 farklı rüzgâr türbini içerisinde bölgeye en uygun olanına yapılan teknik ve ekonomik analizler neticesinden karar verilmiştir. Belirlenen türbinin kurulum safhasından sonra sisteme olan etkisi yapılan ölçümler ile gözlemlenmiştir. İlgili standartlar çerçevesinden ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesi ile tüm limit değerlerin sağlandığı görülmüştür. Gerçekleştirilen proje ile ilgili bölgedeki enerji ihtiyacının bir kısmının sağlanmasının yanında toplumun yenilenebilir enerji kaynakları konusunda bilinçlendirilmesine de katkı sağlanmıştır.

Kaynaklar

Akella, A.K., Saini, R.P. ve Sharma, M.P., *Social, economical and environmental impacts of renewable energy systems*. Renewable Energy, 2009. 34(2): p. 390-396.

Panwar, N.L., Kaushik, S.C. ve Kothari, S., *Role of renewable energy sources in environmental protection: A review*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2011. 15(3): p. 1513-1524.

Council, G.W.E., *Global Wind Report Annual Market Update 2016*. 2017.

Gsänger, J.-D.P.A.S., *2017 Small Wind World Report Summary*. 2017.

Resmi Gazete, Kanun No: 5346, *Yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimi amaçlı kullanımına ilişkin kanun*. 2005.

Barker, P.P. ve De Mello, R.W., *Determining the impact of distributed generation on power systems. I. Radial distribution systems*. in *Power Engineering Society Summer Meeting, 2000. IEEE*. 2000. IEEE.

Taşcıkaraoğlu, A., *Rüzgâr türbinlerinin güç kalitesi üzerine etkilerinin modellenmesi*. Y.Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, 2008.

Zehir, M.A., et al., *Impacts of microgrids with renewables on secondary distribution networks*. Applied Energy, 2017. 201(Supplement C): p. 308-319.

Durusu, A. ve Erduman, A., *Feasibility Analysis, Installation and Grid Effect of Small Size Wind Energy Plant: A Case Study of Bakırköy Botanical*. in *IV. International Multidisciplinary Eurasian Congress, Rome, 2017*.

Teschner, N.A. ve Alterman, R., *Preparing the ground: Regulatory challenges in siting small-scale wind turbines in urban areas*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2018. 81(Part 2): p. 1660-1668.

Masters, G.M., *Renewable and efficient electric power systems*. 2013: John Wiley & Sons.

Türk Standartları Enstitüsü, TS EN 50438, *Mikro jeneratörlerin alçak gerilim dağıtım şebekelerinde paralel olarak bağlanması için kurallar*, 2015.

Bahaj, A.S., Myers, L. ve James, P.A.B., *Urban energy generation: Influence of micro-wind turbine output on electricity consumption in buildings*. Energy and Buildings, 2007. 39(2): p. 154-165.

Türk Standartları Enstitüsü, TS EN 50160, *Genel elektrik şebekeleri tarafından sağlanan elektriğin gerilim karakteristikleri*, 2013.



Ağlayankaya plaj kumlarında doğal radyoaktivite düzeylerinin ve radyolojik tehlike indekslerinin değerlendirilmesi

Kadir Günoğlu^{1*}

¹ Süleyman Demirel Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Isparta-TÜRKİYE, kadirgunoglu@sdu.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 10 Ağustos 2018 ve Kabul Tarihi 31 Ağustos 2018)

(DOI: 10.31590/ejosat.452831)

Öz

Bu çalışmada, Şile-İstanbul'da bulunan Ağlayankaya plajından toplanan kumların doğal radyoaktivite seviyelerini belirlemek için ²²⁶Ra, ²³²Th ve ⁴⁰K konsantrasyonları gama spektrometre sistemi ile ölçülmüştür. Kum numunelerindeki ²²⁶Ra, ²³²Th ve ⁴⁰K aktivite konsantrasyonları, sırasıyla 35.170, 31.637 ve 382.284 Bq / kg ortalamaları ile 27.368 ile 41.773, 22.147 ile 40.125 ve 293.667 ile 463.582 Bq / kg arasındadır. Ölçümler sonucunda elde edilen ²²⁶Ra, ²³²Th ve ⁴⁰K aktivite konsantrasyonları kullanılarak soğurulan gama doz hızı, yıllık etkin doz eşdeğeri, radyum eşdeğer aktivitesi, iç tehlike endeksi ve dış tehlike endeksi değerleri hesaplanmıştır. Bunların yanı sıra, radyasyon maruziyetinin bir sonucu olan yaşam boyu kanser riski (LCR) hesaplanmıştır. Elde edilen tüm sonuçlar uluslararası kuruluşlar tarafından önerilen limit değerler ile karşılaştırılmıştır. Bu sonuçlara göre, hem radyolojik zarar indeksleri açısından hem de doz parametreleri açısından hiç bir zarar teşkil etmediği sonucuna varılabilir.

Anahtar Kelimeler: Doğal radyoaktivite, kum, radyolojik tehlike indeksleri, Ağlayankaya plajı

Assessments of natural radioactivity levels and radiological hazard indices in Ağlayankaya beach sands

Abstarct

In this study, ²²⁶Ra, ²³²Th and ⁴⁰K concentrations were measured by gamma spectrometry system to determine the natural radioactivity levels of sand collected from Ağlayankaya beach in Şile-Istanbul. The activity concentrations of ²²⁶Ra, ²³²Th and ⁴⁰K in the sand samples are between 27.368 and 41.773, 22.147 to 40.125 and 293.667 to 463.582 Bq / kg, respectively, with averages of 35.170, 31.637 and 382.284 Bq / kg. The absorbed dose rate, annual effective dose equivalent, radium equivalent activity, internal hazard index and external hazard index values were calculated using the ²²⁶Ra, ²³²Th, ⁴⁰K activity concentrations obtained as a result of the measurements. In addition, lifetime cancer risk (LCR), which is a consequence of radiation exposure, has been calculated. All the results obtained are compared with the limit values recommended by international organizations. According to these results, it can be concluded that there is no harm in terms of both radiological damage indices and dose parameters.

Keywords: Natural radioactivity, sand, radiological hazard indices, Ağlayankaya beach

1. Giriş

Dünyanın oluşumundan bu yana yer kabuğundaki kozmojenik ve primordial radyonüklidlerin varlığından dolayı insanlar ve diğer organizmalar radyasyona maruz kalmaktadır. Kozmik radyonüklidler, kozmik ışınların atmosferdeki atom çekirdeği ile etkileşimi ile üretilirken, nükleo-sentez işlemiyle primordial olanlar (karasal arka plan radyasyonu) oluşmuştur. Sadece Dünya'nın yaşı ile karşılaştırılabilir yarı ömürlü, örneğin ^{40}K , uranyum ve toryum serilerinin üyeleri olan radyonüklidler, günümüzde farklı jeolojik materyallerde bulunabilir. Bu radyonüklidlerden gelen gama ışınması, insan vücudunun ana ışınlama dış kaynağını temsil eder ve dünyanın nüfusu tarafından emilen dış doza en büyük katkı maddesi olarak kabul edilebilir. Bu radyonüklidler özellikle taş, toprak ve kum gibi oluşumlarda homojen olarak dağılmadığından dolayı jeolojik ve coğrafi koşullara bağlı olarak her bölgede farklılık göstermektedir [1,2]. Bu nedenle, genellikle yapı malzemesi olarak geniş bir kullanım alanına sahip olan taş, toprak ve kum gibi çevresel oluşumlar içerisindeki radyonüklid aktivitelerinin belirlenmesi özellikle insan sağlığı için önem kazanmıştır.

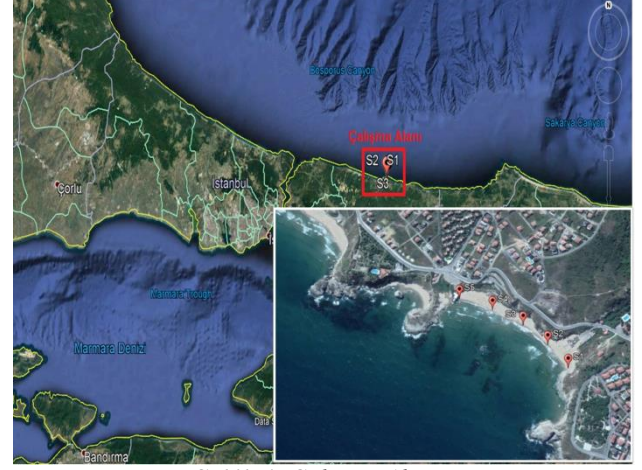
Öte yandan, özellikle sahil kumu içindeki karasal doğal radyasyon, doğal radyoaktivite açısından önemlidir. Örneğin, plaj kumları sanayi ve inşaat alanlarında kullanılmaktadır. Böylece, radyoaktivite seviyeleri izin verilen aralıkta olmalıdır. Plaj kumunun maden yatakları hava ve erozyon ile oluşur. Bu maden yataklarının ana kaynağı metamorfik ve magmatik kayalardan gelmektedir. Bazı metamorfik ve magmatik kayalar, çevreye radyasyon yayan doğal radyonüklidler içermektedir [3].

Dünya genelinde taş, toprak gibi çevresel örneklerdeki ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları Bq/kg birimlerinde ölçülmüştür. Bu çalışmalarda elde edilen aktivite sonuçları kullanılarak sağlık risklerini belirlemek amacıyla gerekli doz ve radyolojik zarar indeksleri hesaplanmıştır [4-12].

Şile-İstanbul' da bulunan Ağlayankaya plajından toplanan kumların doğal radyoaktivite seviyelerini belirlemek için ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K konsantrasyonları gama spektrometre sistemi ile ölçülmüştür. Bu çalışmanın diğer bir amacı, ölçülen aktivite konsantrasyonlarından yararlanarak soğrulan gama doz hızını (D), Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri (YEDE), radyum eşdeğer aktivitesini (R_{eq}), iç tehlike indeksi (H_i) ve dış tehlike indeksi (H_d) parametreleri hesaplayarak radyolojik tehlikelerin araştırılmasıdır. Ayrıca, doğal olarak maruz kalınan radyasyonun sebep olduğu yaşam boyu kanser riski tespit edilmesi de amaçlanmıştır. Bu çalışmada üretilen veriler, bu bölge için doğal radyoaktivite düzeyi veri tabanına katkıda bulunabilir.

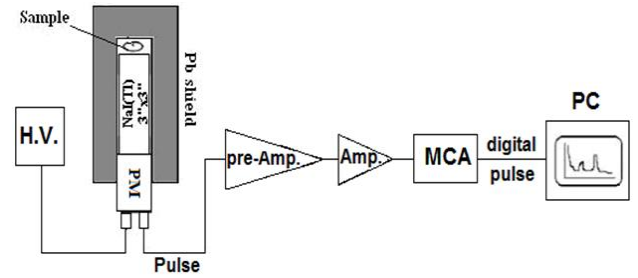
2. Materyal ve Yöntem

Şile-İstanbul' da bulunan Ağlayankaya plajının 5 farklı noktasından kumlar toplanmıştır. Çalışma alanı Şekil 1' de gösterilmiştir. Toplanan örnekler ölçüm öncesinde bir dizi hazırlık aşamasından geçirilmiştir. Öncelikle örnekler öğütülerek toz haline getirilmiştir. Toz haline getirilen örnekler neminden arındırılmak amacıyla 24 saat boyunca $100\text{ }^\circ\text{C}$ ' de kurutulmuştur. Kurutulmuş numuneler, herhangi bir gaz kaçağını engellemek için kapakları sıkıca kapatılmış kaplar içerisine doldurulmuştur. ^{238}U ' un bozunum zincirindeki uzak ürün radyonüklitleri ^{214}Pb , ^{214}Bi vb. ile kalıcı (seküler) dengede olması gerekmektedir. Bunun için ^{226}Ra (1620 yıl)'nın, kendisine göre yarı-ömrü çok kısa olan ^{222}Rn (3,8 gün) ile kalıcı dengede olması gerekir. Analiz edilecek örnekler, bu kalıcı dengenin sağlanabilmesi için sızdırmaz kaplar içinde 1 ay süreyle bekletilmiştir.



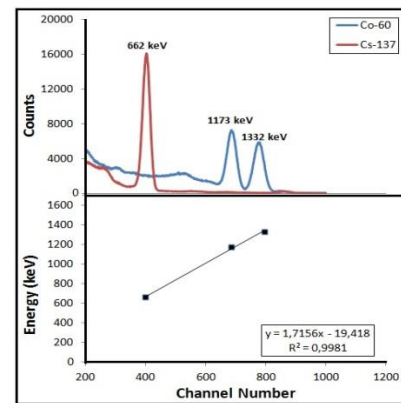
Şekil 1. Çalışma Alanı

Kum numunelerindeki ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K radyoaktivite konsantrasyonları Süleyman Demirel Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik bölümünde bulunan Gama Spektroskopi laboratuvarında bulunan Çok-Kanallı Analizöre (MCA) bağlı $3''\times 3''$ NaI (TI) detektöründen oluşan bir gama spektrometresi kullanılarak ölçülmüştür. Ölçümler sonucunda elde edilen spektrumlar MAESTRO32 yazılımı kullanılarak analiz edilmiştir. Ölçüm sisteminin şematik görünümü Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Gama Spektrometre sistemi ve elektronik birimlerin şematik görünümü

Ölçümlerden önce sistemin enerji kalibrasyonunu ve algılama verimliliği kalibrasyonunu gerçekleştirmek gerekir. Enerji kalibrasyonu için 662 keV enerjili γ -ışını yayımlayan ^{137}Cs ve 1173 ve 1332 keV enerjili γ -ışını yayımlayan ^{60}Co radyoaktif kaynakları kullanılmıştır. Söz konusu kaynaklardan elde edilen gama ışını spektrumu Şekil 3'de gösterilmektedir.



Şekil 3. ^{137}Cs ve ^{60}Co kaynaklarından elde edilen γ -ışını enerji spektrumu (üst) ve enerjiye (keV) karşılık gelen uygun kanal.

Dedektörün algılama verimliliği kalibrasyonu için 6 farklı gama enerjisi kullanılarak yapılmıştır [13]. Elde edilen algılama verimliliği değerleri Şekil 4'te gösterilmiştir.

- [16]. Al-Trabulsi, H., Khater, A., Habbani, F., 2011. Radioactivity levels and radiological hazard indices at the Saudi coastline of the Gulf of Aqaba. *Radiat. Phys. Chem.* 80, 343–348.
- [17]. Beretka, J., Mathew, P.J., 1985. Natural radioactivity of Australian building materials, industrial wastes and by-products. *Health Phys.* 48, 87–95.
- [18]. ICRP, 1990. Publication 60. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, in ICRP Publication 60. Pergamon Press Annals of ICRP, Oxford, UK.
- [19]. Gandhi, S.M., Ravisankar, R., Rajalakshmi, A., Sivakumar, S., Chandrasekaran, A., Anand, P.D., 2014. Measurements of natural gamma radiation in beach sediments of North east coast of Tamilnadu, India by gamma ray spectrometry with multivariate statistical approach. *J. Radiat. Res. Appl. Sci.* 7 (1), 7–17.
- [20]. Huang, Y., Lu, Xinwei, Ding, X.W., Feng, T., 2015. Natural radioactivity level in beach sand along the coast of Xiamen Island, China. *Mar. Pollut. Bull.* 91, 357–361.
- [21]. Tari, M., Zarandi, S.A.M., Mohammadi, K., Zare, M.R., 2013. The measurement of gammaemitting radionuclides in beach sand cores of coastal regions of Ramsar, Iran using HPGe detectors. *Mar. Pollut. Bull.* 74, 425–434.
- [22]. Malain, D., Regan, P.H., Bradley, D.A., Matthews, M., Al-Sulaiti, H.A., Santawamaitre, T., 2012. An evaluation of the natural radioactivity in Andaman beach sand samples of Thailand after the 2004 tsunami. *Appl. Radiat. Isot.* 70 (8), 1467–1474.
- [23]. Almayahi, B.A., Tajuddin, A.A., Jaafar, M.S., 2012. Effect of the natural radioactivity concentrations and $^{226}\text{Ra}/^{238}\text{U}$ disequilibrium on cancer diseases in Penang, Malaysia. *Radiat. Phys. Chem.* 81, 1547–1558.
- [24]. Al-Ghamdi, H., Al-Muqrin, A., El-Sharkawy, A., 2016. Assessment of natural radioactivity and ^{137}Cs in some coastal areas of the Saudi Arabian gulf. *Mar. Pollut. Bull.* 104, 29–33.
- [25]. Zare, M.R., Mostajaboddavati, M., Kamali, M., Abdi, M.R., Mortazavi, M.S., 2012. ^{235}U , ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K and ^{137}Cs activity concentrations in marine sediments along the northern coast of Oman Sea using high-resolution gamma-ray spectrometry. *Mar. Pollut. Bull.* 64 (9), 1956–1961.
- [26]. Özmen, S.F., Cesur, A., Boztosun, I., Yavuz, M., 2014. Distribution of natural and anthropogenic radionuclides in beach sand samples from Mediterranean Coast of Turkey. *Radiat. Phys. Chem.* 103, 37–44.
- [27]. Harb, S., 2008. Natural radioactivity and external gamma radiation exposure at the coastal Red Sea in Egypt. *Radiat. Prot. Dosimetry* 130 (3), 376–384.



Band-gap Control of Nanostructured CuO Thin Films using PEG as a Surfactant

Halit ÇAVUŞOĞLU^{1*}

¹Selcuk University, Faculty of Science, Department of Physics, 42075, Konya/TURKEY, E-mail: hcavusoglu@selcuk.edu.tr

(First received 24 April 2018 and in final form 31 August 2018)

(DOI: 10.31590/ejosat.417941)

Abstract

Nanostructured copper oxide thin films were fabricated on glass substrates at room temperature by a facile and cost-efficient Successive Ionic Layer Adsorption and Reaction (SILAR) method with varied amounts of polyethylene glycol (PEG). The effects of PEG on the optical properties of the CuO thin films were investigated by means of ultraviolet-visible (UV-Vis) spectroscopy analysis. By UV-Vis analysis at the room temperature, it was seen that the optical band gap values and transmission characteristics of the CuO thin films vary with the increasing PEG concentration in the growth solution. The optical band gap energy of the CuO thin films was found to increase from 1.30 eV to 1.42 eV with the increasing PEG concentration. The thickness of the CuO thin films was also found to vary in between 137 nm and 680 nm depending on the PEG concentration. Other significant parameters including refractive index (n), high frequency dielectric constant (ϵ_{∞}) and optical static (ϵ_0) values of the thin films were calculated by using the optical band gap energy values as a function of the film thickness. The investigations revealed that the PEG concentration has a remarkable impact on the optical properties of SILAR grown CuO thin films.

Keywords: CuO thin films; SILAR method; PEG; Optical properties

1. Introduction

During the past few decades, scientists have drawn attention to the transition metal oxide thin films due to their unique properties which enable promising applications in the field of nanotechnology. Among different transition metal oxide thin films, cupric oxide (CuO) is a significant p-type transition-metal-oxide semiconductor, which has a narrow bandgap (optical band gap energy $E_g = 1.2-1.8$ eV) (Sun et al., 2013). It has monoclinic structure and exhibits many properties such as high thermal conductivity, stability, and photovoltaic performance. Owing to these versatile properties, CuO can be used in several diverse applications, including fabrication of optoelectronic devices (Yu et al., 2016), heterogeneous catalysts (Chary et al., 2005), selective gas sensors (Samarasekara et al., 2006, Nayan et al., 2016), and solar cells (Chang et al., 2011, Shabu et al., 2015, Kidowaki et al., 2012). Up to now, CuO thin films have been synthesized using a variety of

deposition techniques (Morales et al., 2005, Lim et al., 2014, Koh et al., 2013, Chen et al., 2009, Nair et al., 1999, Balamurugan et al., 2001, Mageshwari et al., 2013). Among these techniques, SILAR has a number of advantages, does not require vacuum at any step, can be performed at room temperature, have no restrictions on substrate materials, deposition equipment is simple and cheap (Pathan et al., 2004).

Physical characteristics of the thin films can be improved by the addition of surfactant materials to the growth solution in the solution-phase deposition techniques. Surfactants in solutions are also known to reduce the surface activity and modify the growth kinetics of the films (Zhang et al., 2006). Polyethylene glycol (PEG) is one of the important surfactant material. It has recently attracted much attention because of non-toxicity, nonflammability, and easy-to-handle. It also prevents the aggregation of particles (Jozefczak et al., 2011). In the

literature, PEG has been widely used in the deposition processes of the several metal oxide thin films (Inamdar et al., 2008, Bertus et al., 2013, Deng et al., 2014).

To the best of my knowledge, the impact of the PEG on the optical properties of the CuO thin films has not been investigated yet. Herein, the role of PEG content on the optical band gap values and other optical parameters of the CuO nanostructured thin films obtained by SILAR method was investigated comprehensively.

2. Materials and Experimental Procedure

All reagents used in the study were analytical grade and purchased from Merck KGaA, Darmstadt, Germany. All glassware was cleaned with hydrochloric and chromic acids followed by rinsing with ultrapure water and dried in an oven before use. Four series of nanostructured CuO thin films were deposited on glass substrates by using the SILAR technique at room temperature. To synthesize the nanostructured CuO thin films, aqueous copper-ammonia complex ions ($[Cu(NH_3)_4]^{2+}$) were chosen for the cationic precursor, in which using analytical reagents of $CuCl_2 \cdot 2H_2O$ (99.999%) and concentrated ammonia (NH_3) (25%) were used. 0.1 M copper (II) chloride solution was prepared with $CuCl_2 \cdot 2H_2O$. The molar ratio of Cu: NH_3 is 1:10 obtained following the several experimental findings. The anionic precursor was hot deionized water maintained at 90 °C. The temperature was kept constant in both reactions. CuO thin films were deposited on glass slides by alternate immersion in $[Cu(NH_3)_4]^{2+}$ complex and hot water. The substrates were immersed in the solution vertically for the 30 s and then into hot water (90 °C) for 30 s. This deposition cycle was repeated for 10 times. To investigate the effect of PEG as a surfactant, different volume percentages (1%, 2%, and 4%) of PEG were added to the growth solutions. Before characterization process, the deposited films were annealed at 623 K (350 °C) for an hour in an air atmosphere. Characterizations of the CuO thin films were carried out at room temperature. Optical band gap and spectral transmittance measurements were performed using a JASCO V-670 spectrophotometer in the wavelength range of 190–1100 nm. The thickness of films was measured with a NanoMap-500LS contact surface profilometer.

3. Results and Arguments

To determine the optical band gap energies and examine the transmittance properties of the produced films, a UV-Vis spectrophotometer (JASCO V-670) was used. The optical transmittance spectra of the CuO thin films as a function of PEG concentration recorded in the wavelength range of 400-1100 nm was shown in Figure 1. As clearly seen in Figure 1, the average transmittance values of the films were less than about 5%. The CuO thin film without PEG content has the lowest transmittance. The average transmittance of the thin films increased gradually with the increasing PEG concentration. The materials with low transmittance value may be applicable in photovoltaic applications (Roblesa et al., 2014).

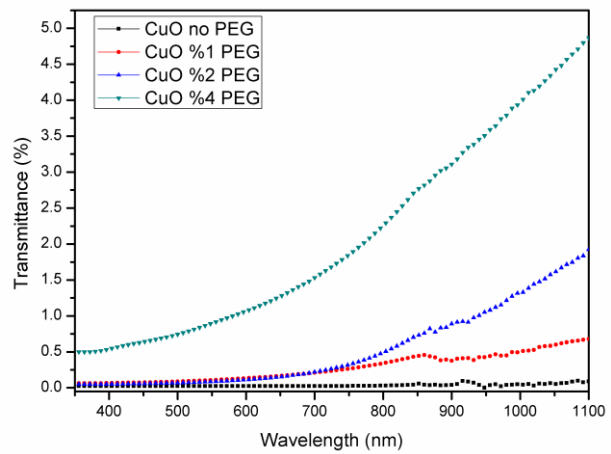


Figure 1. Transmission spectra of the CuO thin films as a function of PEG concentration.

The optical energy band gap values of the CuO thin films were determined by using the relationship between the absorption coefficient (α) and the photon energy ($h\nu$) given by the following equation (Shinde et al., 2006),

$$\alpha h\nu = A (h\nu - E_g)^m \tag{1}$$

where A is an energy-independent constant. It is well known that the exponent m is equal to 1/2, 2, 3/2 and 3 for the allowed direct, allowed indirect, forbidden direct and forbidden indirect transitions, respectively (Maity et al., 2006). The allowed transitions occurred in CuO, which corresponds to 1/2. Thus, in order to observe the effect of the PEG concentration on the optical band gap energies, Figure 2 was plotted with $(\alpha h\nu)^2$ versus $h\nu$ as a function of the PEG concentration. E_g values were found to be 1.30, 1.32, 1.34 and 1.42 eV for the CuO thin films which were grown in the growth solution having 0, 1%, 2% and 4% volume percentages of the PEG, respectively. The obtained E_g values of the CuO thin films were presented in Table 1.

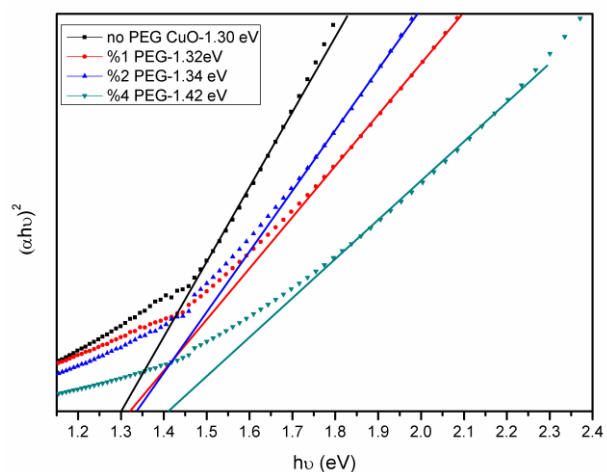


Figure 2. Comparison of $(\alpha h\nu)^2$ versus $h\nu$ plots of the CuO thin films as a function of PEG concentration.

It was also observed that increasing the PEG concentration resulted in a decrease in film thickness of the CuO thin films from 680 nm (0% PEG) to 137 nm (4% PEG) as shown in Table 1. Moreover, as can be clearly seen from the Table 1 and Figure 3, the band gap values of the

CuO thin films decreased from 1.42 to 1.30 eV with increasing the film thickness. The decrease in the band gap value with increasing the film thickness can be ascribed to the morphological alteration of the films, improvement in crystallization and changes in interatomic distances of the films (Ateş et al., 2007, Akaltun et al., 2011, Yıldırım et al., 2010, Akaltun et al., 2015).

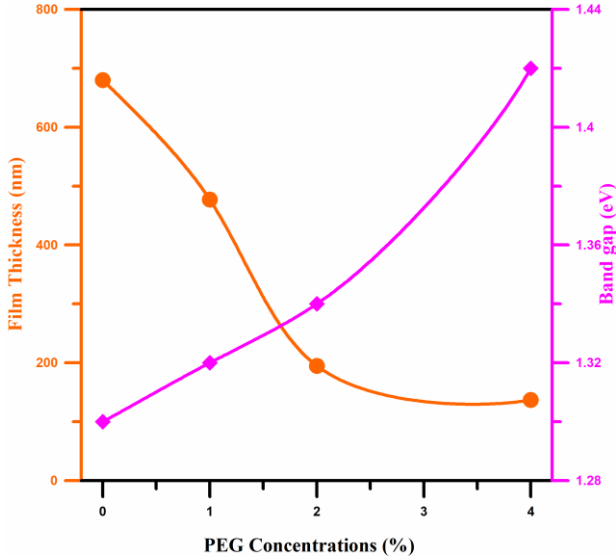


Figure 3. Film thickness and band gap variation of the CuO thin films with different PEG concentrations.

The refractive index of the thin films was determined according to the Moss relation (Hannachi et al., 2009) which is directly associated with the fundamental energy band gap,

$$E_g n^4 = k \quad (2)$$

where k is a constant which corresponds to 108 eV. Another relevance between the band gap energy and the refractive index was introduced by Herve and Vandamme in the following equation (Herve et al., 1994),

$$n = \sqrt{1 + \left(\frac{A}{E_g + B}\right)^2} \quad (3)$$

where A and B are numerical constants which are equal 13.6 and 3.4 eV, respectively. The alteration of refractive index (n) as a function of the film thickness of the CuO thin films was also shown in Table 1 for these two models.

Table 1. Optical parameters for the CuO films having different PEG concentrations.

| PEG Concentration CuO Film | Film Thickness (nm) | Moss relation | | Herve & Vandamme | | Band gap (eV) | Static Dielectric Constant ϵ_0 |
|-------------------------------|------------------------|---------------|-------------------|------------------|-------------------|------------------|--|
| | | n | ϵ_∞ | n | ϵ_∞ | | |
| % 0 | 680 | 3.02 | 9.12 | 3.06 | 9.36 | 1.30 | 14.52 |
| % 1 | 477 | 3.00 | 9.00 | 3.04 | 9.24 | 1.32 | 14.45 |
| % 2 | 195 | 2.99 | 8.94 | 3.03 | 9.18 | 1.34 | 14.39 |
| % 4 | 137 | 2.95 | 8.70 | 2.99 | 8.94 | 1.42 | 14.15 |

One can see clearly from the Table 1, values of the refractive index increased from 2.95 to 3.06 with increasing the film thickness. Nevertheless, the increase rate appears to be related to the used models. It may be remarked that refractive index of the materials strongly depends on the band gap energy.

Identification of the dielectric characteristics of the metal oxide semiconductors is very crucial for various electron-device properties. Either static or high-frequency dielectric constants were calculated for all the films. The high-frequency dielectric constant (ϵ_0) value was obtained from the following relation (Hannachi et al., 2009),

$$\epsilon_\infty = n^2 \quad (4)$$

where n is refractive index. The static dielectric constant (ϵ_0) of the CuO thin films was obtained by using an equation which states the energy band gap dependence of ϵ_0 for semiconductors compounds in the following form (Mezrag et al., 2010, Adachi 2010);

$$\epsilon_0 = 18.52 - 3.08E_g \quad (5)$$

The calculated n, ϵ_∞ and ϵ_0 values of the CuO thin films which correspond to the different film thicknesses were given in Table 1. As can be seen from the Figure 4, the refractive index values of the CuO thin films increased with increasing the film thicknesses.

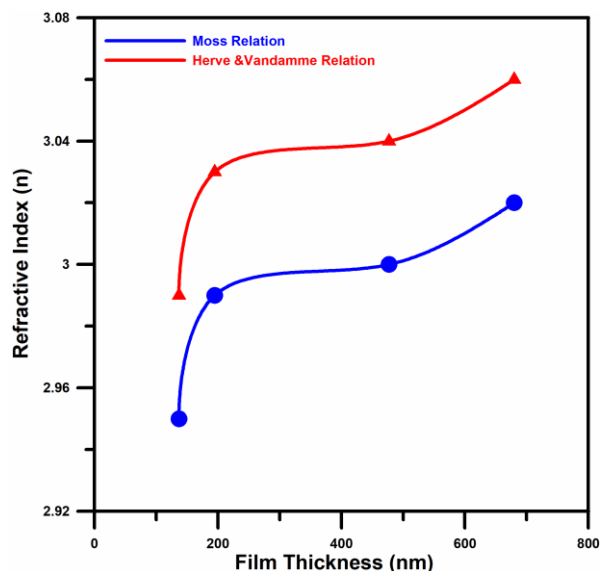


Figure 4. Comparison of $(\alpha h\nu)^2$ versus $h\nu$ plots of the CuO thin films as a function of PEG concentration.

4. Conclusion

In summary, nanocrystalline thin films of CuO have been synthesized using a relatively simple and cheap SILAR method using the PEG as a surfactant. The effect of the PEG on the band gap energies and other optical characteristics of the CuO thin films were broadly investigated. Optical band gap energy values of the thin films were found to be increasing from 1.30 eV to 1.42 eV by the addition of PEG concentration. It was also observed that the PEG added CuO thin films were more transparent than the CuO thin films without PEG, which points out that they are feasible for optoelectronic device applications. As a result, the PEG concentration plays an essential role on the characteristic parameters of the CuO thin films, and the SILAR is a convenient technique for depositing CuO thin films. It is anticipated that one can easily use the PEG as a surfactant to adjust the band gap of a semiconductor.

Acknowledgements

This work was partially supported by the Scientific Research and Project Council of Selcuk University (BAP) project no: 17401035. The author would like to thank Prof. Dr. Haluk Safak for his helpful advice on the optical part of this paper.

References

- Adachi, S., 2005. Properties of Group IV, III-V and II- VI Semiconductors, Wiley, Chishester.
- Akaltun, Y., Yildırım, M.A., Ateş, A., Yildırım, M. 2011. The Relationship between Refractive Index-Energy Gap and the Film Thickness Effect on the Characteristic Parameters of CdSe Thin Films. Optics Communications 284, 2307-2311.
- Akaltun, Y., Çayır, T. 2015. Fabrication and characterization of NiO thin films prepared by SILAR method. Journal of Alloys and Compounds 625, 144-148.
- Ateş, A., Yildırım, M.A., Kundakçı, M., Astam, A. 2007. Annealing and light effect on optical and electrical properties of ZnS thin films grown with the SILAR method. Materials Science in Semiconductor Processing 10, 281-286.
- Balamurugan, B., Mehta, B.R. 2001. Optical and structural properties of nanocrystalline copper oxide thin films prepared by activated reactive evaporation. Thin Solid Films 396 (1-2) 90-96.
- Bertus, L.M., Faure, C., Danine, A., Labrugere, C., Campet, G., Rougier, A., Duta, A. 2013. Synthesis and characterization of WO₃ thin films by surfactant assisted spray pyrolysis for electrochromic applications. Materials Chemistry and Physics 140, 49-59.
- Chang, H., Kao, M.-J., Cho, K.-C., Chen, S.-L., Chu, K.-H., Chen, C.-C. 2011. Integration of CuO thin films and dye-sensitized solar cells for thermoelectric generators. Current Applied Physics 11 (4), S19-S22.
- Chary, K.V.R., Sagar, G.V., Naresh, D., Seela, K.K., Sridhar, B. 2005. Characterization and Reactivity of Copper Oxide Catalysts Supported on TiO₂-ZrO₂. Journal of Physical Chemistry B 109 (19), 9437-9444.
- Chen, A., Long, H., Li, X., Li, Y., Yang, G., Lu, P. 2009. Controlled growth and characteristics of single-phase Cu₂O and CuO films by pulsed laser deposition. Vacuum 83 (6), 927-930.
- Deng, Z., Fang, X., Wu, S., Dong, W., Shao, J., Wang, S., Lei, M. 2014. The morphologies and optoelectronic properties of delafossite CuFeO₂ thin films prepared by PEG assisted sol-gel method. Journal of Sol-Gel Science and Technology 71, 297-302.
- Hannachi, L., Bouarissa, N. 2009. Band parameters for cadmium and zinc chalcogenide compounds. Physica B 404, 3650-3654.
- Herve, P., Vandamme, L.K.J. 1994. General relation between refractive index and energy gap in semiconductors. Infrared Physics & Technology 35, 609-615.
- Inamdar, A.I., Mujawar, S.H., Ganesan V., Patil, P.S. 2008. Surfactant-mediated growth of nanostructured zinc oxide thin films via electrodeposition and their photoelectrochemical performance. Nanotechnology 19, 325706.
- Jozefczak, A., Skumiel, A. 2011. Ultrasonic investigation of magnetic nanoparticles suspension with PEG biocompatible coating. Journal of Magnetism and Magnetic Materials 323, 1509-1516.
- Kidowaki, H., Oku, T., Akiyama, T. 2012. Fabrication and characterization of CuO/ZnO solar cells. Journal of Physics: Conference Series 352 (1), 012022-012025.
- Koh, T., O'Hara, E., Gordon, M.J. 2013. Growth of nanostructured CuO thin films via microplasma-assisted, reactive chemical vapor deposition at high pressures. Journal of Crystal Growth 363, 69-75.
- Lim, Y.-F., Chua, C.S., Lee, C.J.J., Chi, D. 2014. Sol-gel deposited Cu₂O and CuO thin films for photocatalytic water splitting. Physical Chemistry Chemical Physics 16, 25928-25934.
- Mageshwari, K., Sathyamoorthy, R. 2013. Physical properties of nanocrystalline CuO thin films prepared

- by the SILAR method. *Materials Science in Semiconductor Processing* 16 (2) 337-343.
- Maity, R., Chattopadhyay, K.K. 2006. Synthesis and characterization of aluminum-doped CdO thin films by sol-gel process. *Solar Energy Materials & Solar Cells* 90 (5), 597-606.
- Mezrag, F., Mohamed, W.K., Bouarissa, N. 2010. The effect of zinc concentration upon optical and dielectric properties of $Cd_{1-x}Zn_xSe$. *Physica B* 405, 2272-2276.
- Morales, J., Sánchez, L., Martín, F., Ramos-Barrado, J.R., Sánchez, M. 2005. Use of low-temperature nanostructured CuO thin films deposited by spray-pyrolysis in lithium cells. *Thin Solid Films* 474 (1-2), 133-140.
- Nair, M.T.S., Guerrero, L., Arenas, O.L., Nair, P.K. 1999. Chemically deposited copper oxide thin films: structural, optical and electrical characteristics. *Applied Surface Science* 150 (1-4), 143-151.
- Nayan, N., Sahdan, M.Z., Wei, L.J., Ahmad, M.K., Lias, J., Phong, S.C., Md Shakaff, A.Y., Zakaria, A., Zain, A.F.M. 2016. Correlation between microstructure of copper oxide thin films and its gas sensing performance at room temperature. *Procedia Chemistry* 20, 45-51.
- Pathan, H.M., Lokhande, C.D. 2004. Deposition of metal chalcogenide thin films by successive ionic layer adsorption and reaction (SILAR) method. *Bulletin of Materials Science* 27, 85-111.
- Roblesa, V., Trigoa, J.F., Guilléna, C., Herrero, J. 2014. Co-evaporated Tin Sulfide thin films on bare and Mo-coated glass substrates as photovoltaic absorber layers. *Energy Procedia* 44, 96-104.
- Samarasekara, P., Kumara, N.T.R.N., Yapa, N.U.S. 2006. Sputtered copper oxide (CuO) thin films for gas sensor devices. *Journal of Physics: Condensed Matter* 18 (8), 2417-2420.
- Shabu, R., Raj, A.M.E., Sanjeeviraja, C., Ravidhas, C. 2015. Assessment of CuO thin films for its suitability as window absorbing layer in solar cell fabrications. *Materials Research Bulletin* 68, 1-8.
- Shinde, V.R., Gujar, T.P., Lokhande, C.D., Mane, R.S., Han, S.H. 2006. Mn doped and undoped ZnO films: A comparative structural, optical and electrical properties study. *Materials Chemistry and Physics* 96, 326-330.
- Sun, S., Zhang, X., Sun, Y., Yang, S., Song, X., Yang, Z. 2013. Hierarchical CuO nanoflowers: water-required synthesis and their application in a nonenzymatic glucose biosensor. *Physical Chemistry Chemical Physics* 15, 10904-10913.
- Yıldırım, M.A., Ateş, A. 2010. Influence of films thickness and structure on the photo-response of ZnO films. *Optics Communications* 283, 1370-1377.
- Yu, X., Marks, T.J., Facchetti, A. 2016. Metal oxides for optoelectronic applications. *Nature Materials* 15, 383-396.
- Zhang, H., Yang, D., Ma, X., Du, N., Wu, J., Que, D. 2006. Straight and thin ZnO nanorods: hectogram-scale synthesis at low temperature and cathodoluminescence. *Journal of Physical Chemistry B* 110, 827-830.