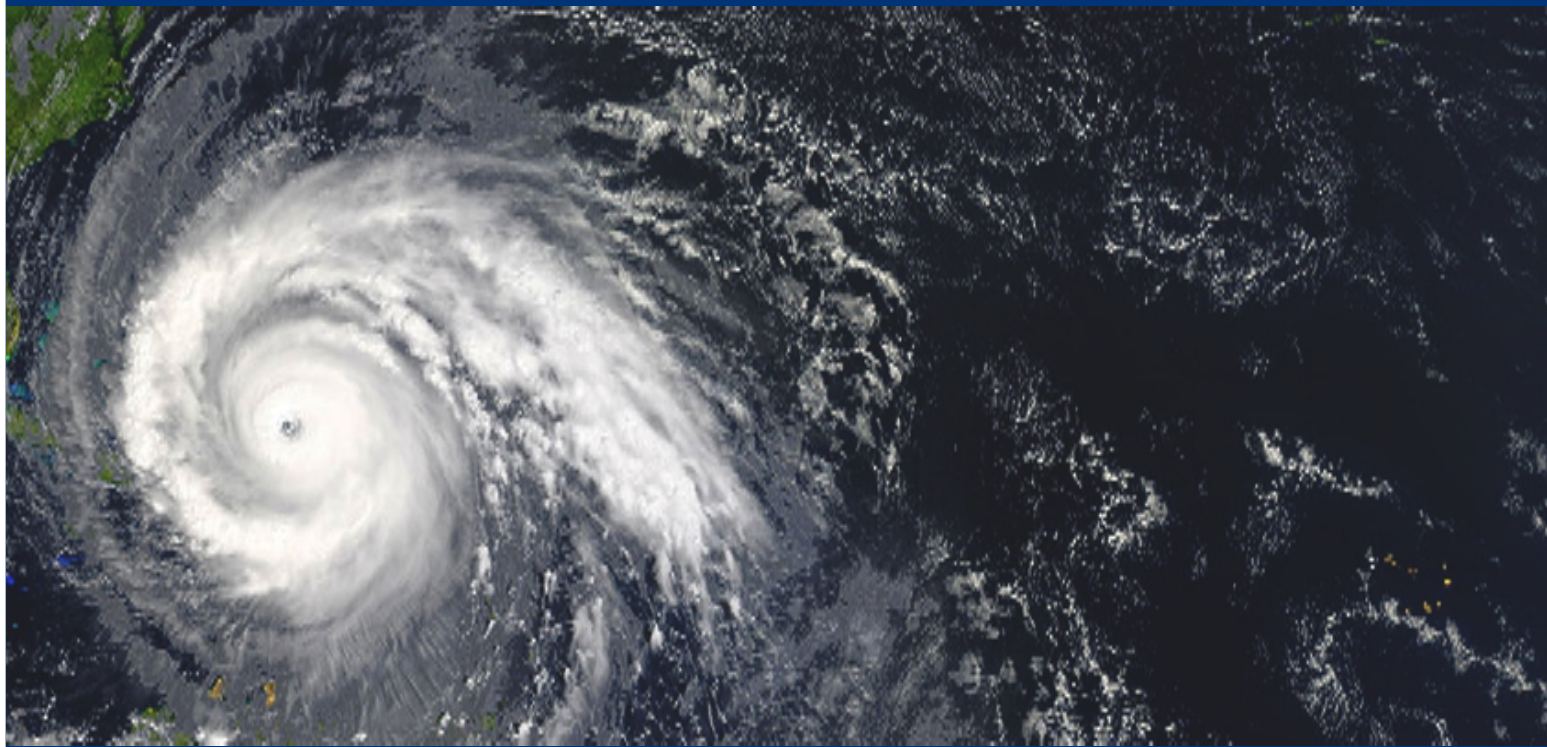


DISASTER SCIENCE AND ENGINEERING



VOL: 9, NO:1, 2023

ISSN: 2149-7249

For more info, you may visit
www.disasterengineering.com



DISASTER SCIENCE AND ENGINEERING
EDITORIAL BOARD
Volume: 9, Issue 1, December 2023

Editor-in-Chief

İnan KESKİN, inankeskin@karabuk.edu.tr

Editors

Emrah DOĞAN, emrahd@sakarya.edu.tr
Tülay EKEMEN KESKİN, tulayekemen@karabuk.edu.tr
Veysel Harun ŞAHİN, vsahin@sakarya.edu.tr
Hüseyin GÖKÇEKUŞ, huseyin.gokcekus@neu.edu.tr
Mehmet İnanç ONUR, mionur@eskisehir.edu.tr
Aydın BÜYÜKSARAÇ absarac@comu.edu.tr
Halil İbrahim YUMRUTAŞ iyumrutas@karabuk.edu.tr

Editorial Board

Abolfazl Nazari GİGLOU, abolfazl@uidaho.edu
Adem AKPINAR, ademakpinar@uludag.edu.tr
Ali ATEŞ, atesali2000@gmail.com
Ayşe ÇAĞLAYAN, ayse.caglayan@csb.gov.tr
Ayhan KOCAMAN ayhankocaman@karabuk.edu.tr
Cem KIRLANGIÇOĞLU, kirlangicoglu@sakarya.edu.tr
Erkan ÇELEBİ, ecelebi@sakarya.edu.tr
Eren BALABAN, erenb@eskisehir.edu.tr
Fatih GÖKTEPE, fgoktepe@sakarya.edu.tr
Gökhan ÇOŞKUN, gcoskun@sakarya.edu.tr
Haluk AKGÜN, hakgun@metu.edu.tr
Isık YILMAZ, iyilmaz@cumhuriyet.edu.tr
İsmail Hakkı DEMİR, idemir@sakarya.edu.tr
Mehmet Fatih DÖKER, fdoker@sakarya.edu.tr
Mehmet Fethi ERTENLİ, m.fethiertenli@karabuk.edu.tr
Murat UTKUCU, mutkucu@sakarya.edu.tr
Mustafa Kerem KOÇKAR, mkoçkar@gazi.edu.tr
Osman SÖNMEZ, osonmez@sakarya.edu.tr
Selim DOĞAN, sdogan@selcuk.edu.tr
Shivam TRİPATHİ, shiva@iitk.ac.in
Soydan SERTTAŞ, soydan.serttas@dpu.edu.tr
Sima POUYA, sima.pouya@inonu.edu.tr
Packialakshmi SHMI bagyaram@gmail.com



Evaluation of Effective Parameters in Disaster Risk Reduction Plans with Multi Criteria Decision Making Method: An Analysis on Selected Country Samples

Şenay Yıldırım ¹, Burcu Ertaş Deniz ²

¹ Disaster and Emergency Management Authority, Ankara, Turkey; senay.yildirim@afad.gov.tr; ORCID

² Disaster and Emergency Management Authority, Ankara, Turkey; burcu.deniz@afad.gov.tr; <https://orcid.org/0000-0003-4666-7292>

Abstract

The occurrence of natural and man-made disasters in the world is increasing day by day. In addition to causing physical, economic, social and environmental losses, these disasters stop or disrupt normal life and human activities. Disaster risk reduction is defined as analyzing and managing the factors that cause disasters with systematic efforts. Disaster risk reduction studies have an important place in increasing the resilience of individuals, society, cities and sectors against disasters. Countries have a national plan that will provide roadmap for them to be resilience to disaster risks is a critical in terms of the applicability of risk reduction studies and their contribution to sustainable development process. For this reason, every country should have strategic plans that determine priorities in order to ensure that measures are taken and implemented to eliminate or minimize risks. National strategic plans designed to provide optimum benefit with limited resources according to the determined priorities bring success in disaster risk reduction. In disaster risk reduction studies, there are multi-perspective approaches, including deterministic and statistical methods, in evaluations that determine the success of countries in this field and reveal the state of the country. Multi-criteria decision making method rather than statistical methods; in cases where there are more than one criteria in the decision-making process, it provides an approach to decision-makers to solve problems. Multi-criteria decision making method which is one of the statistical methods; in cases where there are more than one criteria in the decision-making process, it provides an approach to decision makers to solve problems. In disaster risk reduction plans each country has its own characteristics. These features make countries different from one another. Seven key parameters, such as Risk Identification (B1), Risk Reduction (B2), Response and Recovery (B3), Economic Disaster Risk Management (B4), Disaster Preparedness (B5), Governance (B6) and Compliance of Policies and Plans (B7), were selected as the main criteria. 36 important components of the main criteria have been selected as sub-criteria. Then, these effective parameters have then been weighted using one of the methods of the multi-criteria decision-making process called the "Analytical Hierarchy Process. As a result of weighting, the importance degrees of the parameters were determined as B2, B1, B3, B4, B5, B6 and B7, respectively. Within the scope of the study high risk of disasters in Japan, Turkey, the Philippines and New Zealand country samples were selected. The disaster management systems of these countries and their disaster risk reduction plans have been examined in detail. The country's performance rankings were made for these four country after an assessment of the existence of the main criteria and sub-criteria weighted with the "AHP" methodology by the country's experts. At the end of the analysis, Japan was determined as the country with the best DRR plan and implementation, while our country was ranked 2nd, New Zealand ranked 3rd and Philippines ranked 4th. As a result, this study will provide a resource that will contribute to theoretical knowledge systems on disaster risk reduction. As well as, it is also aimed to examine the results of the applications in the country plans by assessing the order of importance of the effective criteria that will bring countries successful in reducing the risk of disasters.

Keywords: Disaster, Disaster Risk Reduction, Disaster Risk Reduction Plan, Analytical Hierarchy Process (AHP)

1. Introduction

Disaster management can be defined as the management of resources in line with these common goals with a multidisciplinary approach in order to plan, coordinate and implement the activities that should be done before, during and after the disaster in order to prevent disasters and reduce their negative effects (Kadiođlı 2012). Disaster management includes many levels. It is a comprehensive, multi-phase, multidisciplinary management style that starts from the individual and extends to the international level. Disaster management is the discipline of dealing with and avoiding risks, including usually four phases: Mitigation, Preparedness, Response and Recovery. The circular model for disaster management is generated to reduce the complexity of non-linear nature of disaster events (Kelly 1998).

Cyganik (2003) defines mitigation, preparation, response and recovery as four phases of disaster management. This model portrays response as the biggest and most visible phase of disaster management. In this study, the phase of disaster risk reduction is studied. Identification and analysis of hazards, risks and vulnerabilities, determination of resources and priorities to prevent or reduce risks, preparation and implementation of policies, strategies and action plans include key elements in disaster risk reduction (Taştan and Aydınoglu 2015). Disaster Risk Reduction (DRR) is the discipline that deals with reducing our risks from disasters. DRR studies, which require a multidisciplinary approach, consist of activities that need to be planned and implemented before, during and after the disaster (Charlotte, John, and Rossetto 2007).

Therefore, DRR's activities are "identification, analysis and evaluation of hazards and risks, establishment of early warning systems, spatial planning, education, information and awareness of the society, development of disaster insurance, strengthening of critical infrastructures, institutional structuring, development and supervision of legal documents such as laws and regulations, and eliminating inequality between regions, creating a perception of DRR in society" (IPCU 2014).

Although we intuitively know that the impact of disasters is much greater than the direct economic cost, it is only when the economic cost of these indirect and intangible effects is taken into account that it can be seen what these events really cost the country's economy. DRR activities to be carried out will reduce the economic losses that countries will experience after disasters. On average, every euro spent on DRR activities saves between four and seven euros in disaster response (ECHO 2017). Investments without considering disaster risks cause socio-economic damage in the long run after disasters. If we are not prepared for disasters, the material and moral gains that countries have achieved for many years are destroyed in a short time due to disasters (Doroteo 2015).

Studies on DRR are carried out on a country basis in order to minimize the resources spent and the work done to compensate for the damage and economic losses caused by disasters, to increase the effectiveness of disaster management and to strengthen the capacity. In this context, one of the ways to cope with disasters is to make DRR plans according to each country's own dynamics. The DRR plan is defined as "the plan of project work managed by risk management, which forms the basis for the implementation of the objectives and specific objectives of institutions and organizations for disaster risk reduction and the short, medium and long-term policies, strategies and actions to achieve them"

DRR plans help countries build their capacities by identifying the underlying causes of their vulnerabilities. The need to develop up-to-date action plans for existing and new DRR with the gains from past disasters also clearly demonstrates the importance of DRR plans. The scope and complexity of disasters, existing and new risks, and the evolving and changing world strengthen the dynamic nature of DRR plans.

Within the scope of the study, under the title of "Country Examples", the disaster management systems of Japan, Turkey, the Philippines and New Zealand, which are among the countries with high disaster risk, and their plans and documents related to DRR were examined. Then, criteria selections were made by examining the criteria in the DRR strategies and plans of the countries examined. The weights of the criteria were determined by using the opinions of the experts who worked on DRR through a questionnaire. In the conclusion part of the study, 4 countries were ranked by scoring with a holistic approach in line with the main criteria and sub-criteria determined by the plans and strategies of the selected countries for DRR. In line with the results, suggestions were made to improve our draft DRR plan.

2. Country Samples

2.1 Japan

Japan is a country located on islands in the western Pacific Ocean. Japan has been exposed to natural disasters (earthquake, volcanic activity, heavy rain, snowfalls and typhoons) from past to present due to its geographical

location, topography, geological structure, climate and other factors, (Akyel, 2007). Although the country covers only 0.25% of the planet's land area, the number of earthquakes and the distribution of active volcanoes are quite high due to its location in the “Pacific Ring of Fire”. 110 active volcanoes in the region constitute about 10% of all active volcanoes in the world. Japan is one of the countries with the highest natural disaster risk in the world due to its susceptibility to earthquakes and tsunamis (Jimee, Meguro, and Dixit Mani 2019).

Disasters in Japan are generally categorized into two groups, natural disasters and accident-type disasters. earthquake, tsunami, storm, flood, volcanic eruptions, heavy snowfall have been Natural disasters; accident disasters include marine, aviation, railroad, road, nuclear, hazardous materials, large-scale fire and forest fire (Cabinet Office 2015).

As a result of frequent earthquakes and typhoons in the 1940s and 1950s in Japan, the necessity of increasing the capacity of the society to respond to disasters and developing disaster risk management systems emerged. There have been changes in the systematic approaches adopted in disaster management, and the changes have also been reflected in the laws. The necessity of taking measures before disasters has been put into practice by law, and the country's disaster management system has been strengthened within the scope of the experiences gained after the disasters. Especially; the Ise-wan Typhoon that occurred in 1959 was a critical development in the country's disaster management approach, after which the Basic Law on Disaster Measures (1961), which had a comprehensive and strategic structure, was enacted. Roles and responsibilities related to disaster management within the scope of the law; clearly defined at the national, state and municipal as well as community level. The law has been constantly reviewed and updated since its first entry into force.

Japan's disaster management system covers all stages of disaster management (prevention, mitigation, preparedness, response and recovery), and the public and private sector, whose duties and responsibilities at the national and local level are clearly defined, and the relevant stakeholders are based on cooperation and solidarity in taking measures against disasters. In Japan, the system of distribution of authorities and responsibilities is implemented, and there are many stakeholders at the national and local level in the administration of disaster management.

A well-structured disaster management system has been developed in Japan. As part of the government reform in 2001, the State Ministry of Disaster Management was established in the Council of Ministers to integrate and coordinate disaster risk management policies. In the Cabinet Office (Figure. 1), the Director General of Disaster Management, who is responsible for ensuring wide-ranging cooperation between relevant government agencies, is responsible for planning basic disaster management policies and carrying out overall coordination as well as large-scale disaster response (Saya 2017).

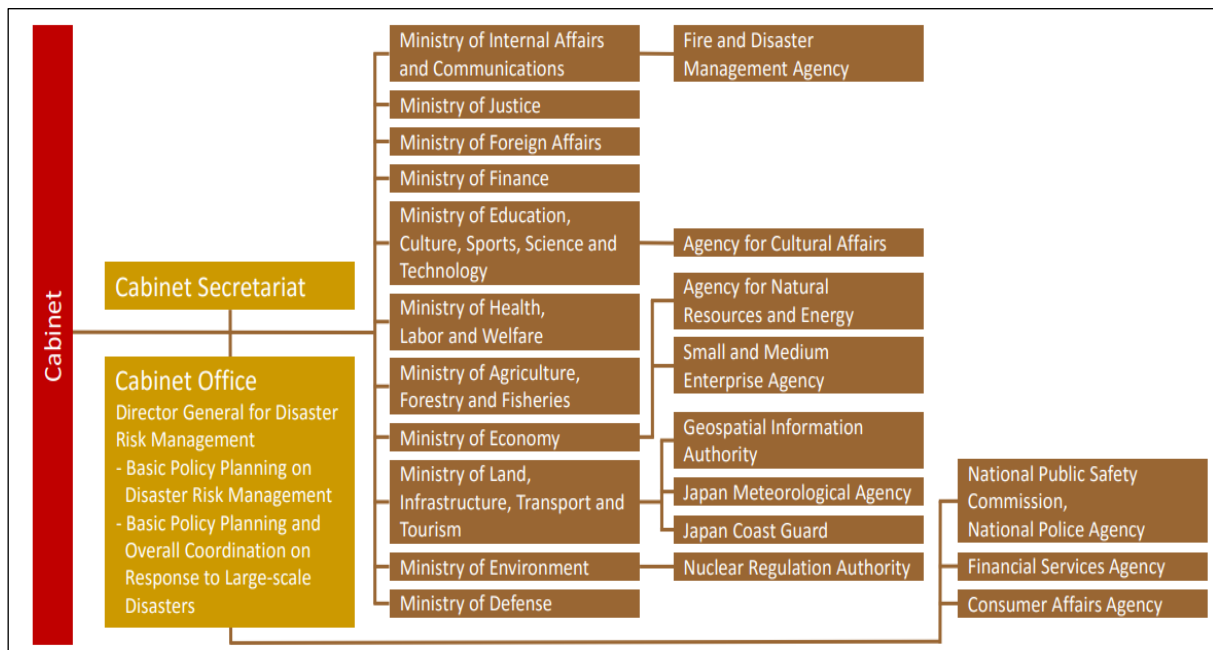


Figure 1. The relationship of Japan ministries and agencies related to Disaster Risk Management (Baba 2013).

2.2 New Zealand

New Zealand is exposed to geological hazards such as earthquakes, landslides, volcanic activity and tsunamis, as it extends along the boundary of the Australian and Pacific tectonic plates. While flooding is the most common hazard, earthquakes and tsunamis are potentially the most damaging and devastating threats New Zealand faces. While volcanic eruptions have been rare and relatively minor since human settlement, the effects of eruptions have been significant (Britton and Clark 2000).

In addition to being a geologically active country, New Zealand is a coastal country affected by weather conditions from Antarctica, Australia and the tropics. Climate change; cause extreme weather events and sea level rise. Drought is one of the most common and costly hazards in the country as a result of the dry period that usually lasts for 3-4 months. Drought is an alarming danger for the country, as the country's electricity generation is largely supplied by rivers and lakes. These natural hazards occurring in the country often damage land and buildings, as well as important infrastructure systems of the country, including energy and communication networks, roads and water systems. In the last 10 years, natural hazard events in the country have cost the insurance industry \$28,333 billion (Saunders et al. 2020). These disasters in New Zealand in the last ten years have shown the magnitude of the damage and the costs to the country. It is important to note that the reported costs are usually only direct costs. According to a recent study, when the indirect and intangible costs of disasters were calculated, it more than doubled the total reported cost of each of the three events examined ((MCDEM 2019) . New Zealand's disaster management system is based on sound disaster management principles and one of international best practices. There are many strengths in the country's emergency management system. The system was established to deal with "all dangers and risks" (Ulutürk 2006).

As a result of a series of conferences, workshops, reports and researches that questioned the effectiveness of New Zealand's disaster management practice since the early 1990s, it was decided that a transformation from a rigid and reactive model to a coordinated proactive disaster management (Britton and Clark 2000).

- In 1996, endorsement of a set of principles as the basis for a comprehensive disaster management framework
- Redefining the principles, roles and responsibilities of all institutions in the sector
- Establishment of a new ministry called the Ministry of Civil Defense and Emergency Management (MCDEM) in 1997
- Adoption of the Civil Defense Emergency Management (CDEM) Law in 2002, which replaced the 1983 Civil Defense Law Transformations began with the MCDEM established in 1999 and the CDEM Law enacted in 2002, which redefined the duties of central and local governments? The primary purpose of the law is to promote the sustainable management of hazards and risks towards building a resilient and self-reliant society.

The law transferred most of the authority and responsibility to local units by giving priority to local interventions and administrations (Ulutürk 2006).

The following diagrammatically (Figure. 2) represents the structure at regional and local level. Powerfully the CDEM Group, that is the governing body is composed of all the elected Mayors of the region and the Coordinating Executive Group responsible for Group Plan and the implementation of the plan is composed of the Chief Executives of district local government and the senior executives of the regional emergency services. Groups all have a working party structure under the CEG, supported by the Group CDEM office, which covers, variously: Reduction (linked into other local government accountabilities); preparedness and response, and recovery (linked into central government and Non-Government Agency welfare and other agencies).

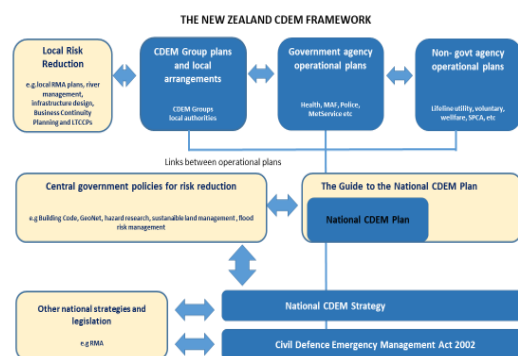


Figure 2. The New Zealand CDEM framework (MCDEM 2008).

2.3 Philippines

Located in Southeast Asia, the Philippines is one of the largest island groups in the world, comprising more than 7,000 islands. Located at the edge of two tectonic plates, the Philippines ranks 4th in the list of countries most prone to natural disasters based on UNISDR's 20-year assessment. Philippines; It is exposed to various natural disasters such as earthquakes, volcanic eruptions, landslides, floods, droughts and typhoons.

The country has a tropical climate. The country is vulnerable to extreme weather events as it is located in the Pacific Typhoon Belt. Some of the devastating floods and landslides are triggered by typhoons that occur. Other factors triggering landslides are volcanic eruptions, earthquakes and increased monsoon precipitation. Wide coastlines also cause disasters such as tsunamis, flood, landslide and drought. Since the country is located in the Pacific Earthquake Belt, it is frequently exposed to earthquakes and volcanic activities (Doroteo 2015). 8 of the 10 cities in the world most exposed to natural disasters are located in the Philippines. This is evident in the estimated \$23 billion in damage and the loss of 70,000 Filipinos in 565 natural disasters. Total losses from natural disasters are estimated to cost the Philippines \$6.5 billion each year (World Economic Forum 2016). The National Disaster Risk Reduction and Management Council of New Zealand (NDRRMC), formerly known as the National Disaster Coordinating Council, has expanded its membership and functions to deal with the complexities of today's disasters. Philippine disaster risk reduction and management structure is shown in Figure 3.

NDRRMC; The highest coordinator of disaster management is the national council, according to the law numbered RA 10121, strengthened with the functions of policy making, coordination, supervision, monitoring and evaluation for disasters or emergencies. The law designated the NDRRMC as the top policy-making body for coordination, integration, supervision, monitoring and evaluation (Azuela et al. 2020).

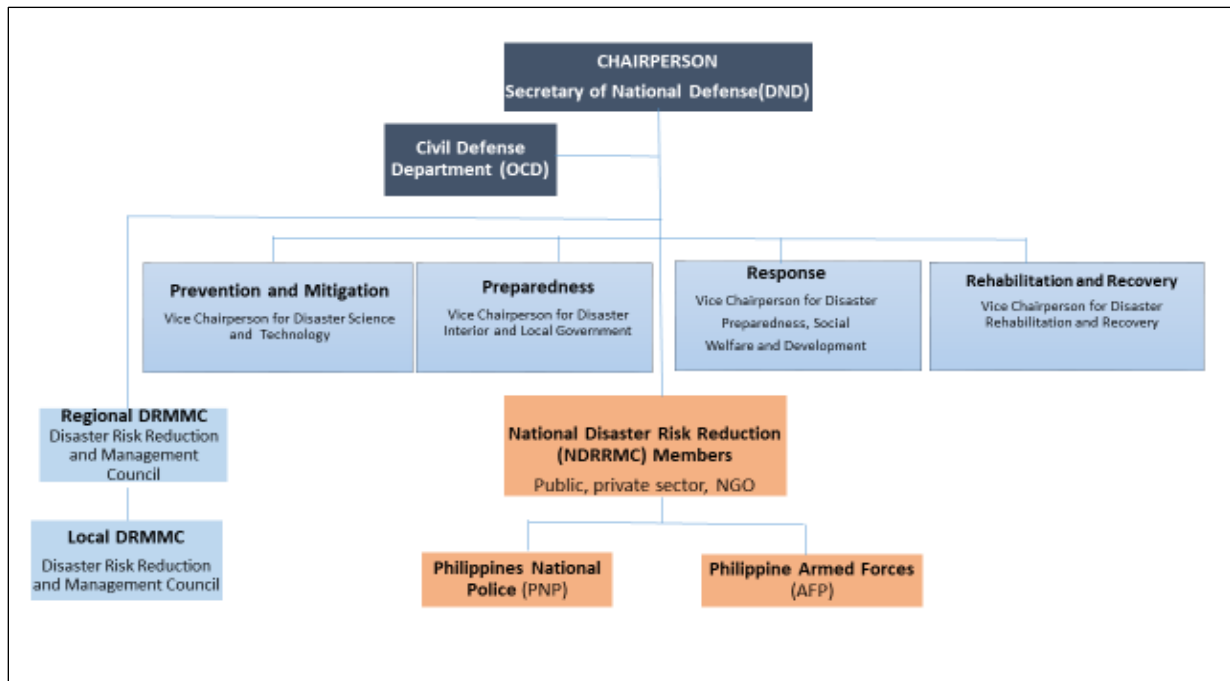


Figure 3. Philippine disaster risk reduction and management structure (NDRRMP, 2011)

2.4 Turkey

Turkey is exposed to natural disasters such as earthquakes, floods, landslides, avalanches, droughts, forest fires and man-made disasters due to its high physical, social and economic vulnerability as well as its geological structure and climatic characteristics. Turkey is in the Mediterranean, Alpine, and Himalayan seismic belt, which is one of the most active seismic belts of the earth, and is located between three large tectonic plates such as Europe-Asia, Arabia and Africa, and two small plates such as the Aegean and Anatolian plates (Şengör and Yılmaz 1981). This belt is an active zone in which approximately 20% of the earthquakes in the world occur and causes a devastating earthquake in the country on average every five years (AFAD 2020).

Turkey ranks first among OECD countries in terms of loss of life, property and economic losses caused by disasters. According to the statistical data of the last 60 years, losses caused by natural disasters, directly or indirectly, correspond to approximately 3-4% of GDP.

The Law No. 5902 on the Organization and Duties of the Disaster and Emergency Management Presidency, which was enacted in 2009 in order to eliminate the complexity and coordination problems in the disaster management system and to remove the multi-headedness, was adopted and entered into force after being published in the Official Gazette No. 27261. With this law; “a. To carry out services related to disasters and emergencies and civil defense, b. To ensure coordination between institutions and organizations that have a role before and after the disaster, c. three general directorates (General Directorate of Disaster Affairs, General Directorate of Civil Defense and General Directorate of Emergency Management of Turkey) were abolished and AFAD affiliated to the Prime Ministry was established in the center in order to create and implement policies in disaster management. The organization chart of AFAD, which manages the process in disasters and emergencies in Turkey, is as follows in Figure 4.

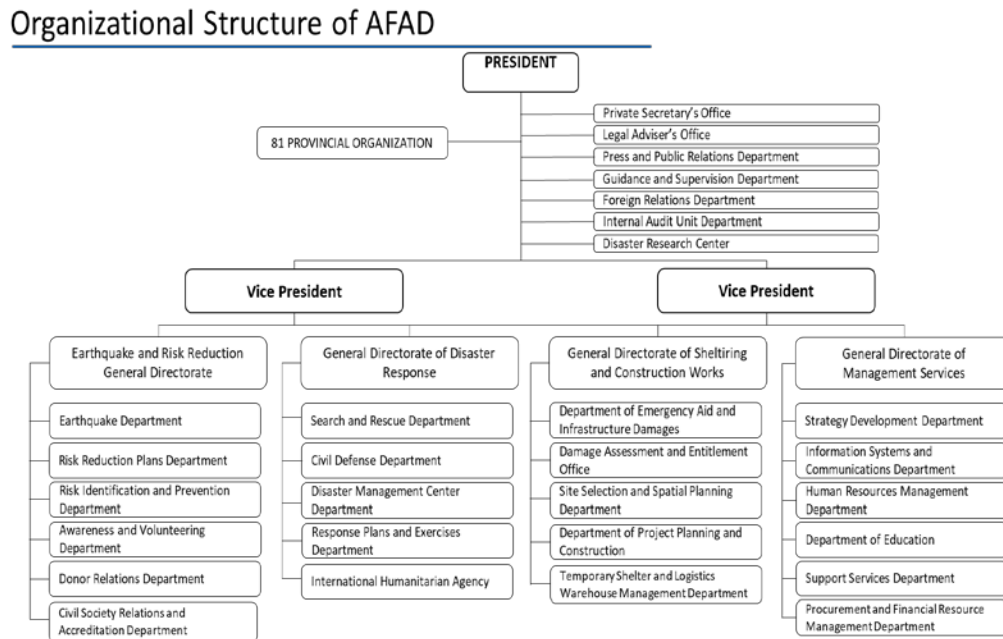


Figure 4. Organization chart of AFAD Turkey

3. Methodology

Decision makers are faced with more than one alternative while making a decision in the process of examining the existing plans and documents of the countries related to DRR. Many criteria in the examined DRR plans and documents have been evaluated, and Japan, Turkey, Philippines, New Zealand appear as our alternatives on a country basis (Figure. 5).

In the application, firstly, the decision problem is defined. Here, the process of collecting information about the application problem is also mentioned. Thus, the necessary data to be used during the analysis and resolution of the decision problem, to create the decision hierarchy, were obtained. In the next process, a decision hierarchy was established that includes the purpose of the application problem, the comparison criteria and the alternatives to be compared, and the solution of the application problem was started. The methodology used in this study was generally carried out in 3 stages. In order to understand how to evaluate the best DRR plan among the country samples, the AHP (Analytical Hierarchy Process) method, which is one of the multi-criteria decision making (MCDM) methods, was decided at the analysis stage. In Stage 2, the disaster management systems and current DRR plans of the selected countries according to certain factors were examined. The data set of the criteria and sub-criteria that are effective in the DRR in the country plans examined in the 3rd stage were determined. The opinions of the country experts were taken by developing the questionnaire and the results were analysed using the AHP method.



Figure 5. Locations of the studied countries on the map

3.1 Analytical Hierarchy Process

In this study, MCDM methods were examined and it was decided that AHP would be the most appropriate methodology in terms of classification of data, compliance with strategic planning during the implementation of DRR plan principles, and comparing the practical applicability of other country sample plans.

The Analytic Hierarchy Process (AHP) is a math and psychology-based method for organizing and analyzing complex decisions. In the AHP Hierarchy Model, the top level of the hierarchy consists of a single item or goal, which is the overall goal. At the level below the goal, there are factors that affect and contribute to the decision, known as criteria or variables, in order to achieve the stated goal (Saaty 1980).

At the next level, there are sub-criteria (if any) containing the details within the criteria (Fig. 6). There are alternatives with decision options at the lowest level in the hierarchy (Razmi, Rahnejat, and Khan 2000).

After the hierarchical model is established, pairwise comparison matrices should be created in order to determine the importance of all criteria relative to each other. During the creation of the matrices, the relative importance of each pairwise comparison matrix is determined separately by the decision maker. In Table1, the relative importance of the criteria is determined by assigning values between "1" and "9" to the matrix and transforming the verbal values into numerical values (Wollmann et al. 2014).

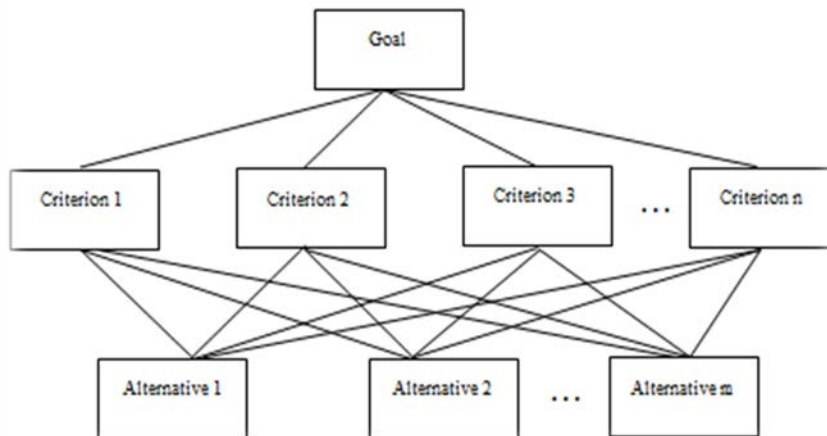


Figure 6. Hierarchical model of AHP study

Decision makers obtain the pairwise comparison matrix shown in Equation 1 through the comparison scale given in Table 1 in the light of their value judgments, knowledge, experience and equipment. RI values according to the dimensions of the comparison matrices shown in Table 2 was carried out in Microsoft Excel.

Table 1. Preference scale for pairwise comparisons in AHP

Intensity of Importance	Definition	Explanation
1	Equal importance	Two elements contribute equally to the property
3	Moderate importance	Experience and judgment slightly favor one over the other
5	Essential or strong	Experience and judgment strongly favor one over another
7	Very strong importance	An element is strongly favored and its dominance is demonstrated in practice.
9	Extreme importance	The evidence favoring one element over another is one of the highest possible order of affirmation
2,4,6,8	Intermediate values between two adjacent judgment	Comprise is needed between two judgments

Table 2. RI values according to the dimensions of the comparison matrices

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RI	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,54	1,56	1,57	1,59

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & \dots & a_{2n} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & \dots & a_{3n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & a_{n3} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix}$$

(Equation.1)

A: Pairwise comparison matrix

n = Number of criteria in evaluation

a_{ij} = importance of criterion i over criterion j

In the binary comparison matrix, the sums of each column will be taken and the matrix will be normalized by dividing each value in the matrix by the related column sum and ensuring that the sum of the values in each column is 1.00 (IDEA, 2005). The comparison matrix shows the importance levels of the criteria relative to each other within a certain logic. Column vectors forming the comparison matrix are used to determine the weights (percentage importance distributions) of these criteria. B column vectors with n and n components are created. B column vectors are calculated with the help of the formula shown in Equation 2.

$$b_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \tag{Equation.2}$$

When the above-mentioned steps are repeated for other criteria, B column vectors will be obtained as much as the number of criteria (Equation 3).

$$B_1 = \begin{bmatrix} b_{11} \\ b_{21} \\ \square \\ \square \\ b_{n1} \end{bmatrix} \tag{Equation.3}$$

B column vectors are combined in a matrix format, the C matrix shown in Equation 4 below will be formed.

$$C = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} & \square & c_{1n} \\ c_{21} & c_{22} & c_{23} & \square & c_{2n} \\ c_{31} & c_{32} & c_{33} & \square & c_{3n} \\ \square & \square & \square & \square & \square \\ c_{n1} & c_{n2} & c_{n3} & \square & c_{nn} \end{bmatrix} \tag{Equation.4}$$

After the normalized pairwise comparison matrix is created, the criteria weights are obtained by taking the arithmetic average of the row values in the C matrix. Thus, the W column vector, also called the eigenvector, is obtained (Equation 5).

$$W = \begin{bmatrix} W_1 \\ W_2 \\ \square \\ \square \\ W_n \end{bmatrix} \quad W_i = \frac{\sum_{j=1}^n c_{ij}}{n} \tag{Equation.5}$$

Although the AHP method has a consistent systematic, the accuracy of the results will depend on the consistency of the criteria in comparison by the decision maker. The Consistency Ratio (CR) should be calculated for the pairwise comparison matrices, allowing the consistency of the AHP method to be measured after the comparisons between the criteria and the determined priorities. In order to calculate the CR value, first of all, the coefficient called "Consistency Index (CI)", which is one of the many methods, should be calculated in order to determine whether a matrix A, which is formed as a result of pairwise comparison judgment, is consistent. The CI coefficient is calculated by the formula given in Equation 6.

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \tag{Equation.6}$$

In order to calculate the CI value, the largest eigenvector of the matrix, that is λ_{max} , must be calculated. The formula in Equation 7 is used to calculate the value of λ_{max} given in Equation 6.

$$\lambda_{max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{\sum_{j=1}^n a_{ij} * w_j}{w_i} \right) \tag{Equation.7}$$

For the calculation of λ_{max} , firstly, the D column vector shown in Equation 8 is obtained from the matrix multiplication of the comparison matrix A and the priority vector W.

$$AxW = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & \square & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & \square & a_{2n} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & \square & a_{3n} \\ \square & \square & \square & \square & \square \\ a_{n1} & a_{n2} & a_{n3} & \square & a_{nn} \end{bmatrix} x \begin{bmatrix} W_1 \\ W_2 \\ \square \\ \square \\ W_n \end{bmatrix} = D = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \square \\ \square \\ x_n \end{bmatrix} \tag{Equation.8}$$

As defined in the formula above, the E value for each evaluation criterion is found from the division of the reciprocal elements of the D column vector and the W column vector found. In the formula given in Equation 9

10, which is the arithmetic mean of these values, it gives the basic value (λ_{max}) for the comparison.

$$E_i = \frac{x_i}{w_i} \quad i = 1, 2, \square, n \tag{Equation.9}$$

$$\lambda_{max} = \frac{\sum_{i=1}^n E_i}{n} \tag{Equation.10}$$

After calculating the CI value with the help of the formula shown in Equation 6, the randomness indicator (RI) values, which consist of fixed values according to the number of criteria (n) used for different matrix sizes in the pairwise comparison, are given in Table 2 to complete the calculation of the CR value (Saaty 1980) .

After CI and RI values are determined, “CR” is calculated.

$$CR = \frac{CI}{RI} \tag{Equation.11}$$

Based on the upper limit of CR 0.1 ($CR \leq 0.1$), the consistency level of the pairwise comparison matrix is acceptable for the reliability of the results; If the CR value is greater than 0.1, the consistency level cannot be accepted due to the inconsistency of the decision maker's judgments. In this case, the decision maker should review the criteria values and repeat the steps of the AHP method described above and recalculate the consistency test. After the previous steps were calculated for all levels in the AHP method, the $m \times 1$ -size S column vectors (Equation 12) created according to the importance values of the n criteria to the alternatives calculated separately for each criterion were brought together and the pairwise comparison matrix of the $m \times n$ size alternatives and criteria was Durbin- Watson (DW). Decision matrix is obtained (Equation13).

$$S_i = \begin{bmatrix} s_{11} \\ s_{21} \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ s_{m1} \end{bmatrix} \tag{Equation.12}$$

$$DW = \begin{bmatrix} s_{11} & s_{12} & \dots & s_{1n} \\ s_{21} & s_{22} & \dots & s_{2n} \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ s_{m1} & s_{m2} & \dots & s_{mn} \end{bmatrix} \tag{Equation.13}$$

Finally, with the help Equation 13, the L column vector (Equation 14) is created by adding the row in which it is found by multiplying the value of each alternative in the alternatives matrix with the weight score of that criterion. The L column vector represents the percentage distribution of decision options, and the sum of the values in the vector is 1. The decision option with the highest weight in this vector is determined as the decision option that should be preferred for solving the problem (Equation 14).

In the application part of the study, it tried to determine the efficiency levels of each of them and which ones should be taken into account while creating these plans as a result of comparing the parameters that can be effective in the DRR plans by using the AHP method.

AHP method was carried out in Microsoft Excel because it is easy to understand and calculate. In addition to using AHP alone, there are many applications in the literature related to its use with different methods. In cases where they are used together, the criterion weights mostly obtained with AHP are used as inputs in the MCDM method used together (Uludağ and Doğan 2016). In the study to be carried out with the AHP method, an expert group of 16 people was determined to weight the criteria and sub-criteria. The distribution of these people's areas of expertise is given in the Table 3. The distribution of the experts participating in the survey is given below and the survey participants consist of AFAD Experts, engineers, social scientists, academicians working in the field of DRR and managers working in the field of DRR abroad.

After the criteria and sub-criteria determined by the AHP, the analysis of the studies related to the criteria was sent to the experts in the field of DRR through e-mail from 4 country representatives in Japan, Philippines, Turkey and New Zealand, and the existence and applicability levels of the projects and practices related to these criteria were asked to be scored. . Scoring systematic “Full score:1; Good level: 0.75; Intermediate: 0.50; Limited application: 0.25; None: 0”, these coefficients are multiplied by the weights of the criteria in the AHP results, and general results in accordance with the hierarchical structure of the main study model were obtained.

Table 3.The distribution of the experts participating in the survey

	AFAD Expert	Engineer	AFAD Head of Groups	Academics working at DRR	Expert at Social Science	DRR Director
1		X	X			
2	X	X				
3		X		X		
4		X		X		
5		X		X		
6		X		X		
7	X		X			
8		X				
9	X	X			X	
10	X	X				
11	X				X	
12		X				X
13		X				X
14		X				
15		X				
16	X	X	X			

3.2 Determination of Criteria

In the process of determining the criteria, the literature reviews on DRR, the high-scale strategic plans of the countries related to DRR and the opinions of experts who worked on DRR within AFAD were used. Within the scope of the study, the criteria in the DRR strategies and plans of the countries that are the subject of the analysis were examined and criteria selections were made. The seven main criteria determined are as follows: Risk Identification (B1), Risk Reduction (B2), Response and Recovery (B3), Economic Disaster Risk Management (B4), Disaster Preparedness (B5), Governance (B6) and Compliance of Policies and Plans (B7), were selected as the main criteria. 36 important components of the main criteria, which explain each one in detail and systematically cover the process, were chosen as sub-criteria. The detail model of criteria are shown in Figure 7 and the detail names of identified criteria are given in Figure 8.

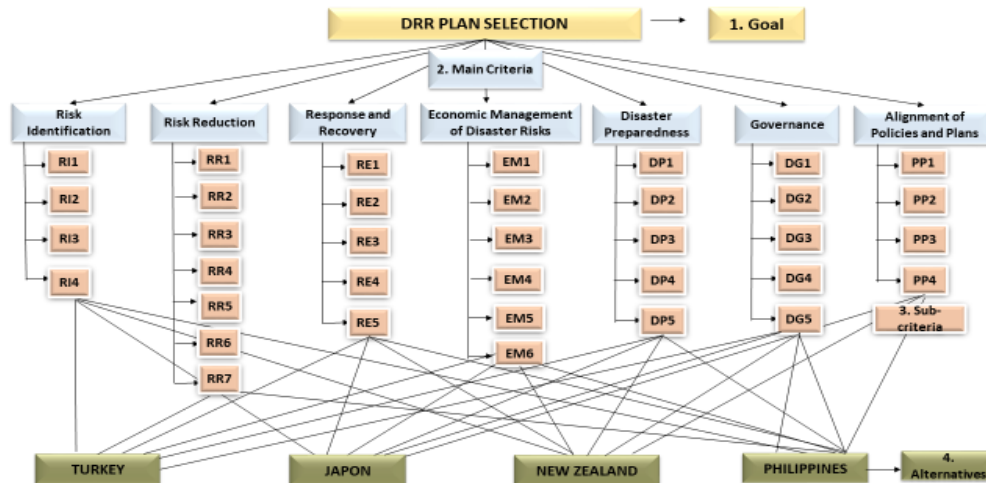


Figure 7. The hierarchical structure of the AHP Ranking of this study

3.2.1 Risk Identification

Risk identification is an important component of disaster risk management. Models, maps, indexes, etc., which are important for decision makers, to recognize and size the existence of disaster losses and to intervene in risk should be represented by Risk identification; Provides tools to evaluate specific policies and measures needed to develop DRR plans and strategies. The sub-criteria representing the risk identification are listed below;

1. Systematic Disaster and Loss Inventory - Data Collection - Data Bank
2. Hazard Monitoring and Estimation Methods
3. Hazard Assessment and Mapping Systems
4. Vulnerability and Risk Assessment Analysis

3.2.2 Risk Reduction

Disaster risk management specifically aims to reduce risk. It is the act of foresight to prevent or reduce the economic, social and environmental impacts of potentially dangerous physical events. It refers to the planning processes, the implementation of measures that change the existing risk conditions and, where possible, hazard control. The sub-criteria representing risk reduction are listed below;

1. Considering DRR in Land Use and Urban Planning
2. Hydrological Basin Intervention and Environmental Protection (Flood/Flood Prevention Structures)
3. Making Critical Facilities Disaster Resistant
4. Development of Information and Decision Support Systems in Disaster Risk Management
5. Building Stock - Updating Safety Standards and Building Rules
6. Strengthening and Upgrading Public and Private Assets
7. Development of Forecasting and Early Warning Systems

3.2.3 Response and Recovery

Response activities in disaster risk management include the rapid identification of the disaster situation and emerging needs, the ability to establish multi-directional communication with stakeholders, the rapid access of sufficient number of correct equipment and equipped personnel to the disaster site, the work of emergency health services and daily life support teams. On the other hand, DRR approaches aim to ensure that those who are exposed to disasters return to their normal lives as soon as possible, to rebuild the structures in disaster-resilient ways, and to create a disaster-resilient society by taking the state of development to an advanced level. Sub- criteria representing intervention and improvement are listed below;

1. Organization and Coordination of Emergency Operations
2. Disaster Response Planning
3. Logistics System Planning and Equipment, Vehicle and Infrastructure Equipment
4. Simulation, Inter-Agency Intervention Testing and Updating
5. Integration of DRR into Recovery and Reconstruction Planning Processes

3.2.4 Economic Disaster Risk Management

Expenditures made to return the system, which is deteriorated / lost due to disasters at any time, to normal as soon as possible, and the management of existing resources is expressed as "Disaster Economy". The place of disaster economy in DRR is the management part of the budget allocated for risk reduction measures and measures before disasters occur. In order for DRR to be sustainable, it is necessary to determine the economic losses caused by disasters and to know the investments made here. Disasters cause serious effects on development, public finance and growth in developing countries such as Turkey. For this purpose, quality and reliable information is required for monitoring investment budgets and determining the economic losses that occur in disasters. The international community supports this issue with global and regional research and information systems on the economic management of disaster risks. The sub- criteria representing the economic management of disaster risks are listed below;

1. Conducting Studies on the Economic Results of Investments Made in DRR
2. Allocating Resources (Funds) for Institutional Strengthening
3. Budget Allocation and Mobilization
4. Implementation of Social Safety Nets and Intervention with Funds
5. Insurance Coverage of Public Assets
6. Housing and Private Sector Insurance and Repetitive Insurance Coverage

3.2.5 Disaster Preparedness

Disaster preparedness refers to the measures taken to be prepared for disasters and to reduce the effects of disasters. In other words, reducing the risks of disasters and preventing them whenever possible, reducing their effects on vulnerable individuals and responding to their consequences quickly and dealing with them effectively are one of the most fundamental steps in the DRR system. In the disaster preparedness system; Starting from the individual, bringing a culture of disaster preparedness to all segments of the society, raising awareness in individuals, ensuring their participation in volunteer activities, teaching the basic precautions that individuals can take in the places they live, incorporating DRR into the education system, ensuring that individuals learn and practice the correct behavior in disasters with exercises, It is aimed to expand the places where the sectors can receive disaster education and to establish infrastructures that they can easily access, to standardize the disaster education given through various channels throughout the country, to participate in the studies carried out by international organizations and to create accredited education paths with sufficient knowledge and experience. Sub- criteria representing disaster preparedness are listed below;

1. Increasing Community Awareness and Capacity on DRR
2. Developing DRR Trainings Based on Priorities Determined for Main Sectors
3. Inclusion of DRR in the Education and Training Program
4. Coordination and Cooperation of DRR Volunteer Activities
5. Performing Exercises and Simulations

3.2.6 Governance

Disaster risk governance defines it as the way of coordinating the authorities responsible for DRR, public institutions and organizations, media, private sector, non-governmental organizations, universities at regional, national and international levels to manage and reduce the risks related to disasters. The sub- criteria that examine the different governance issues related to DRR from global, regional, national and local perspectives and represent the needs of disaster governance at different levels are listed below;

1. Interagency, Multisectoral and Decentralized Organization
2. Legislative Infrastructure Regarding DRR
3. Presence and Consolidation of the DRR National Platform
4. International Cooperation for DRR
5. Existence of Gender Responsive DRR Strategies

3.2.7 Compliance of Policies and Plans

In order to strengthen the DRR plans, integrate them with the response stages, and be better prepared for disasters, it is essential that all policies in the field of DRR and all documents on a global scale are compatible with country strategies. Communities become more resilient to disasters with the implementation of the goals and objectives included in the DRR plans. If a country's sustainable development goals include the existence of local plans, adaptation policies to existing climate change agreements, and adaptation programs to global-scale strategies, the easier it is to implement DRR mechanisms. The existence of these plans and policies, their periodic evaluation and the creation of monitoring and evaluation systems that will report to the public, can be measured by their effects on DRR processes. For this reason, the sub-criteria representing the Compliance of Policies and Plans are listed below;

1. Integrating Climate Change Policy, Plans and Adaptation Programs with the DRR Strategy
2. Availability of Local Level DRR Plans
3. Compliance of the DRR Plan with the Post-2015 Agenda (Sendai, Sustainable Development
4. Goals, etc.)
5. Preparation of Business Continuity Plans

After the criteria were determined, a 4-level hierarchical structure consisting of purpose, criteria, sub-criteria and alternatives was created as follows. The purpose at the top level of the hierarchical structure is stated as "Choosing a

Disaster Risk Reduction Plan". At the second and third levels, there are main criteria and sub-criteria in accordance with the purpose. At the lowest level, the countries whose DRR plans are examined are listed as alternatives. Among main criteria, B1 (Risk Identification), B2 (Risk Reduction), B3 (Response and Recovery), B4 (Economic Management of Disaster Risks), B5 (Disaster Preparedness), B6 (Governance), B7 (Alignment of Policy and Plans). As can be seen in Figure 9 a, the order of importance is B2, B1, B3, B4, B5, B6, B7, starting from the highest. Risk Reduction" has the highest weight among the main criteria.

As can be seen in Figure 9b; Ranking of importance among our risk identification sub-criteria RI1 (Systematic disaster and loss inventory- Data collection-Data bank), RI2 (Hazard monitoring and estimation methods), RI3 (Hazard assessment and mapping systems), RI4 (Vulnerability and risk assessment analysis) RI2, RI1, RI3, RI4, starting from the highest. As can be seen in Figure 9c, Risk reduction sub-criteria RR1 (Considering DRR in land use and urban planning), RR2 (Hydrological Basin Response and Environmental Protection (Flood/Flood prevention structures), RR3 (Making critical facilities resistant to disasters), RR4 (Development of information and decision support systems in disaster risk management), RR5 (Building stock - Updating safety standards and construction rules), RR6 (Strengthening and improving public and private assets), RR7 (Developing forecasting and early warning systems) from high to RR1, RR7, RR2, RR3, RR6, RR4, RR5 respectively.

As can be seen in Figure 9d, response and recovery sub-criteria RE1 (Emergency response planning), RE2 (Logistics system planning and equipment, vehicle and infrastructure equipment), RE3 (Simulation, inter-agency response testing and updating), RE4 (DRR's improvement and reconstruction planning processes), RE5 (Organization and coordination of emergency operations), starting from the highest order of importance, RE3, RE1, RE5, RE2, RE4 respectively.

As can be seen in Figure 9e, our sub-criteria of economic management of disaster risks are EM1 (working on the economic results of investments made for DRR), EM2 (reserving funds for institutional empowerment), EM3 (budget allocation and mobilization), EM4 (Implementation of social safety nets and intervention in funds), EM5 (insurance coverage of public assets), EM6 (working on the economic consequences of investments in DRR) in order of importance EM2, EM3, EM6, EM5, EM1, EM4 respectively, starting from the highest.

As can be seen in Figure 9f, among our disaster preparedness sub-criteria, DP1 (increasing the awareness and capacity of the society on DRR), DP2 (Developing DRR trainings based on the priorities determined for the main sectors), DP3 (inclusion of DRR in the education and training program), DP4 (Coordination and Cooperation of DRR Volunteer Activities), DP5 (Performing exercises and simulations), starting from the highest order of importance, were DP3, DP1, DP5, DP2, DP4, respectively.

As can be seen in Figure 9g, our Governance sub-criteria DG1 (Inter-agency, multi-sectoral and decentralized organization), DG2 (regulatory infrastructure related to DRR), DG3 (existence and aggregation of the DRR national platform), DG4 (International Cooperation for DRR), DG5 DG3, DG2, DG1, DG5, DG4 were in order of importance, starting from the highest (existence of gender-sensitive DRR strategies).

As can be seen in Figure 9h, among our sub-criteria of compliance of policies and plans, PP1 (Integration of policies, plans and adaptation programs related to climate change with DRR strategy), PP2 (Existence of DRR plans at local level), PP3 (DRR plan to the post-2015 agenda (Sendai, Sustainable Development) Purposes, etc.), PP4 (Preparation of business continuity plans), starting from the highest order of importance, were PP2, PP3, PP4, PP1 respectively.

The plans and strategies of the selected countries for DRR were examined, and 4 countries were ranked with a holistic approach using the AHP methodology in line with the main criteria and sub-criteria determined (Figure 10). For each criterion put into the analysis, the success ranking of the countries changes and the general evaluation results of the countries are as in Table 4. The determined criteria and sub-criteria were sent to the experts in the field of DRR by e-mail and the countries were asked to be scored. Scoring systematic "Full score: 1; Good level: 0.75; Intermediate: 0.50; Limited application: 0.25; none: 0" and the general result of the hierarchical structure of the model was obtained as a result of the multiplication of the weights of the criteria.

The existence of the main criteria and sub-criteria weighted using the AHP methodology was evaluated in these four country plans by country experts, and the countries' success was ranked. According to the findings, Japan had the best DRR plan, with a score of 0.959. Our country was ranked second with a score of 0.717, New Zealand was third with a score of 0.691, and the Philippines was fourth with a score of 0.664.

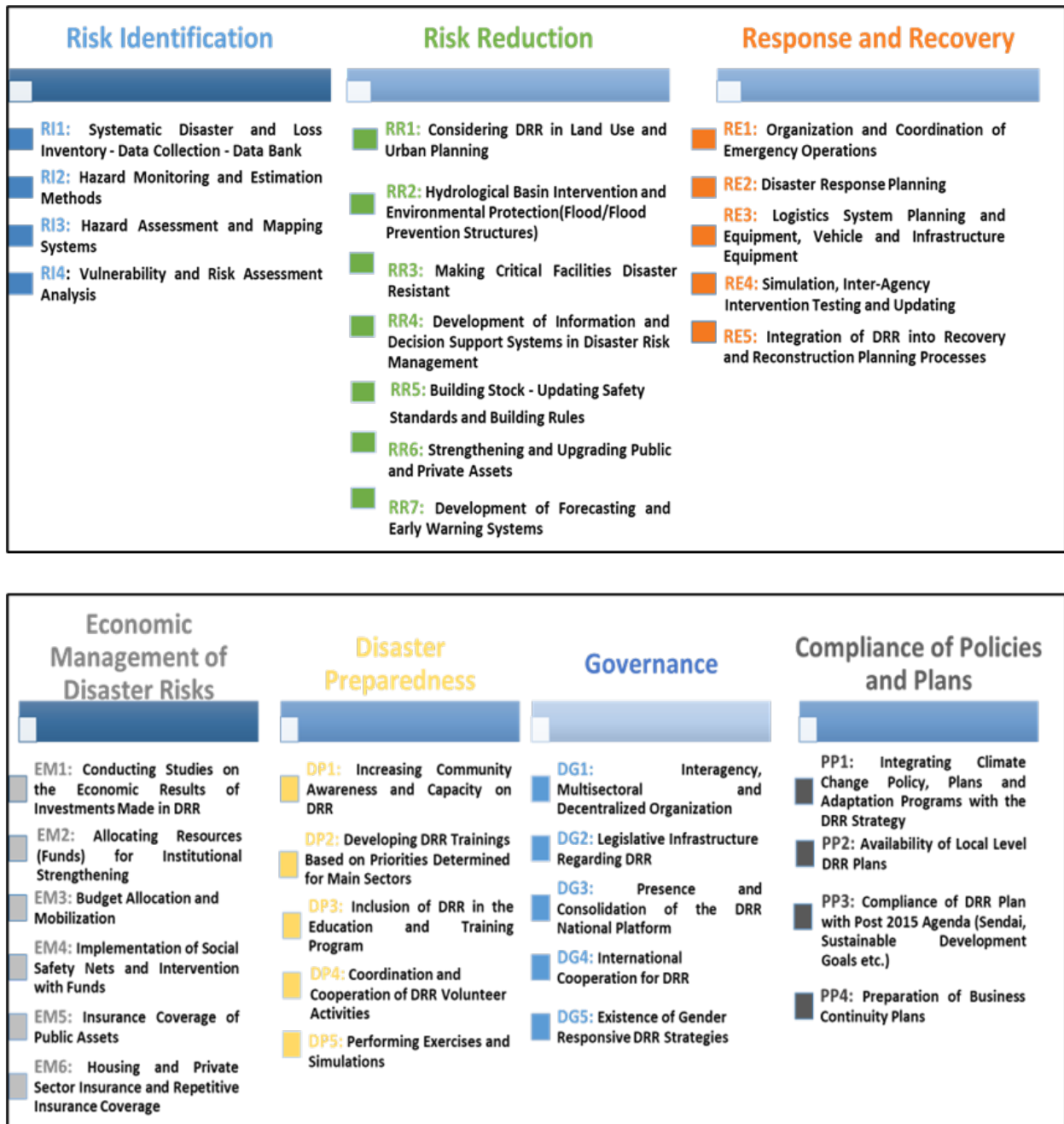


Figure 8. The detail names of identified criteria

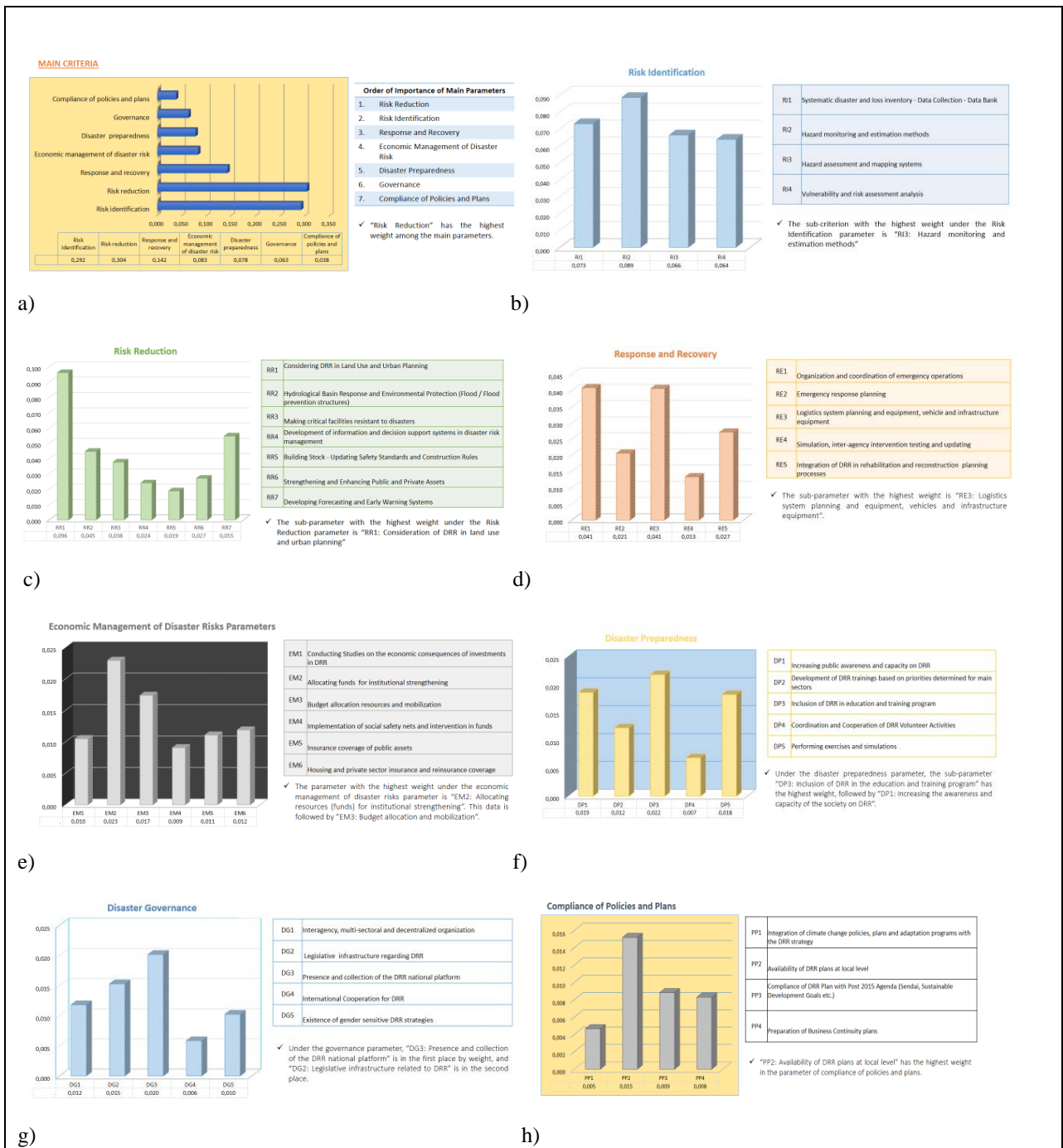


Figure 9. Ranking charts of relative importance vectors of criteria and sub-criteria

Table 4. General assessment results of countries on the basis of AHP

MAIN CRITERIA	SUB CRITERIA	W=Weight	PHILIPPINES	NEW ZEALAND	JAPAN	TURKEY
Risk Identification Parameters	RI1 Systematic disaster and loss inventory - Data Collection - Data Bank	0,073	0,75	0,75	1	1
	RI2 Hazard monitoring and estimation methods	0,089	0,75	0,75	1	0,75
	RI3 Hazard assessment and mapping systems	0,066	0,75	0,75	1	1
	RI4 Vulnerability and risk assessment analysis	0,064	0,5	0,5	1	0,25

Risk Reduction Parameters	RR1	Considering DRR in Land Use and Urban Planning	0,096	0,5	0,75	1	0,5
	RR2	Hydrological Basin Response and Environmental Protection (Flood / Flood prevention structures)	0,045	0,5	0,75	1	0,75
	RR3	Making critical facilities resistant to disasters	0,038	0,5	0,5	1	0,5
	RR4	Development of information and decision support systems in disaster risk management	0,024	0,75	0,75	1	1
	RR5	Building Stock - Updating Safety Standards and Construction Rules	0,019	0,5	0,75	1	0,75
	RR6	Strengthening and Enhancing Public and Private Assets	0,027	0,75	0,75	1	0,75
	RR7	Developing Forecasting and Early Warning Systems	0,055	0,75	0,75	1	0,75
Response and Recovery Parameters	RE1	Organization and coordination of emergency operations	0,041	0,75	0,75	1	1
	RE2	Emergency response planning	0,021	0,75	0,75	1	1
	RE3	Logistics system planning and equipment, vehicle and infrastructure equipment	0,041	0,75	0,5	0,75	1
	RE4	Simulation, inter-agency intervention testing and updating	0,013	0,75	0,5	0,75	1
	RE5	Integration of DRR in rehabilitation and reconstruction planning processes	0,027	0,75	0,5	1	0,25

Table 3. Continued

Economic Management of Disaster Risks Parameters	EM1	Conducting Studies on the economic consequences of investments in DRR	0,010	0,75	0,75	1	0,75
	EM2	Allocating funds (funds) for institutional strengthening	0,023	0,5	0,5	0,75	1
	EM3	Budget allocation and mobilization	0,017	0,5	0,75	0,75	1
	EM4	Implementation of social safety nets and intervention in funds	0,009	0,5	0,75	0,75	0,25
	EM5	Insurance coverage of public assets	0,011	0,5	0,75	1	0,75
	EM6	Housing and private sector insurance and reinsurance coverage	0,012	0,5	0,75	1	0,5
Disaster Preparedness Parameters	DP1	Increasing public awareness and capacity on DRR	0,019	0,75	0,75	1	0,75
	DP2	Development of DRR trainings based on priorities determined for main sectors	0,012	0,75	0,75	1	0,75
	DP3	Inclusion of DRR in education and training program	0,022	0,75	0,75	1	0,75
	DP4	Coordination and Cooperation of DRR Volunteer Activities	0,007	0,75	0,75	0,75	0,75

	DP5	Performing exercises and simulations	0,018	0,75	0,75	1	0,75
Governance Parameters	DG1	Interagency, multi-sectoral and decentralized organization	0,012	0,75	0,75	0,75	0,75
	DG2	Legislative infrastructure regarding DRR	0,015	0,75	0,75	1	0,5
	DG3	Presence and collection of the DRR national platform	0,020	0,75	0,25	0,75	0,5
	DG4	International Cooperation for DRR	0,006	0,75	0,75	1	0,75
	DG5	Existence of gender sensitive DRR strategies	0,010	0,75	0,75	0,75	0,25
	Compliance Parameters of Policies and Plans	PP1	Integration of climate change policies, plans and adaptation programs with the DRR strategy	0,005	0,75	0,75	1
PP2		Availability of DRR plans at local level	0,015	0,75	0,75	1	0,5
PP3		Compliance of DRR Plan with Post 2015 Agenda (Sendai, Sustainable Development Goals etc.)	0,009	0,75	1	1	0,5
PP4		Preparation of Business Continuity plans	0,008	0,5	0,5	0,75	0,25
			COUNTRY SCORE	0,664	0,688	0,959	0,717

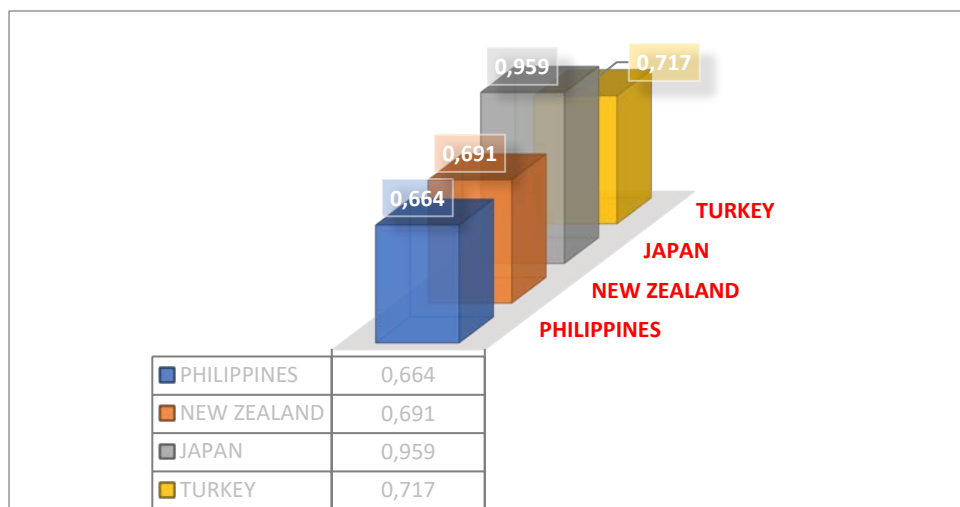


Figure 10. Evaluation ranking of country sample plans analyzed by AHP method

4. Conclusion

Within the scope of the study, disaster management systems and disaster risk reduction plans of Japan, Turkey, Philippines and New Zealand, which are among the countries with high disaster risk, were examined. It is now firmly accepted that a comprehensive DRR plan is necessary for any country in the world to be considered successful in disaster management. A number of monitoring and evaluation systems have been developed to assess the success of national plans, but limited work has been done to synthesize the components that make up these systems and to select the most important ones to use.

It is both practical and less time-consuming to plan locally and see the functionality of the plan in situ. However, more comprehensive and multi-criteria decision-making methods should be used when evaluating the effectiveness of a national plan. For this purpose, within the scope of the thesis study, the criteria in the DRR strategies and plans were examined, and the country strategies, practices and policies based on the implementations were evaluated.

There is a concept that is generally accepted in the world. DRR offers a high return on investment: One dollar invested in disaster prevention can save seven dollars' worth of disaster related economic losses. In this context, DRR is the first and most important stage in the disaster cycle. Each country's DRR strategy and plans may have different stages of importance. These differences both reveal country approaches and help us measure country success.

Knowing, defining, understanding and measuring disaster risks, conducting disaster risk management from the center, existence of effective intervention and improvement works, having a planned policy towards being a disaster prepared society are clearly the most basic pillars of DRR in a country. In this study, Risk Identification (B1), Risk Reduction (B2), Response and Recovery (B3), Economic Management of Disaster Risks (B4), Disaster Preparedness (B5), Governance (B6) and Harmonization of Policies and Plans (B7) are included in the DRR processes.) were chosen as the main criteria.

Multi-criteria decision making method was used to identify and synthesize the Interrelationships of these basic components of disaster management. The process (AHP) method, which includes paired pairwise comparisons of various alternatives, was chosen as the facilitating method. This method offers a versatile approach to decision makers in solving problems and determining the order of importance of effective parameters when more than one criterion is involved in the decision-making process. 36 important sub-components of the main criteria were selected as sub-criteria. As a result of the weighting, the importance levels of the parameters were determined as B2, B1, B3, B4, B5, B6 and B7, respectively.

The importance of the sub-components is; it is of great importance in the evaluation of projects and policies that countries carry out based not only on the success of the existence of their plans, but also on the general plan. Because it is a very superficial approach to say that every country that has a DRR plan is successful in DRR. For example, is the Risk Identification parameter more important in the DRR system or is it the Risk Reduction processes? Expert opinions decide which parameter is important in this binary selection. Then, when evaluating for country

A, the sub-criteria of the main parameter are looked at. If country A has existing projects, strategies and policies covering the relevant parameter, all these are used in the success evaluation of country A. In this evaluation, a scoring technique was used for the final success classification of the countries examined.

This scoring is also applied in the online system to monitor the number of countries that have adopted and implemented national ARA strategies in accordance with the Sendai Disaster Risk

Reduction Framework 2015-2030. Indicators have been proposed to measure the presence or quality of each key element in countries' national DRR strategies, so that the indicator can measure the level at which national DRR strategies are aligned with the Sendai Framework. Sendai Member States will assess the level of implementation for each key element and enter all information into the web-based Sendai Framework Monitor. Countries are compared according to a certain weighting, since each element can be composed of many sub-components in itself. Although a simple measure, it will enable countries to assess gradual or partial progress compared to the baseline and thus monitor the improvement in the quality of the national DRR strategy over time.

The same scoring system was used in this study. The determined criteria and sub-criteria were sent to the experts in the field of DRR by e-mail and the countries were asked to be scored. Scoring systematic "Full score: 1; Good level: 0.75; Intermediate: 0.50; Limited application: 0.25; none: 0" and the general result of the hierarchical structure of the model was obtained as a result of the multiplication of the weights of the criteria.

The results show that, despite having a high disaster risk, Japan has the highest score across all criteria, demonstrating the effectiveness of its DRR approach in all of its implemented projects. DRR is highly valued in this country, both locally and internationally. Despite the fact that our nation has a team with strong governance and strategic thinking skills, some plans have not yet been put into action. The projects it implements based on DRR are what give it a higher score than the Philippines in this case. Despite having an efficient response and recovery system and a high level of

awareness regarding disaster preparedness, Turkey faces some challenges in the coordination of policies and plans. Due to this, it occupies second place.

Another aspect of the study is the scoring of the AHP criteria in the presence of country plans. It is crucial for evaluating the projects and policies that nations implement based on both the overall plan and the success of their specific plans. Because that stated that every nation with a DRR plan is successful in DRR is a very basic approach. For instance, which DRR system parameter—Risk Identification or Risk Reduction processes—is of greater importance? Which parameter is most important in this binary data decision-making is determined by the opinion of experts. Then, when evaluating for country A, the sub-components of the main parameter are looked at. If country A has existing projects, strategies and policies covering the relevant parameter, all these are used in the success evaluation of country A. In this evaluation, a scoring technique was used for the final success classification of the countries examined. In this study, New Zealand ranks third in this score due to the availability of DRR plans, while Philipins is ranked fourth in the country ranking due to the presence of projects and strategies based on these plans, as well as DRR plans, being considerably less than other nations.

References

- AFAD. 2020. "Afet Yönetimi Kapsamında 2019 Yılına Bakış ve Doğa Kaynaklı Olay İstatistikleri." Ankara, Turkey. https://www.afad.gov.tr/kurumlar/afad.gov.tr/e_Kutuphane/Kurumsal-Raporlar/Afet_Istatistikleri_2020_web.pdf.
- Azuela, Mary Jean, Dennis Paul Orge, Mary Grace Valdez, and Giselle Joy Esmeria. 2020. "Survey Design to Evaluate Healthcare System Resilience at Barangay Level in the Philippines." In *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*. Vol. 0.
- Baba, Hitoshi. 2013. "Disaster Risk Management in Japan." https://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/bitstream/handle/20.500.11762/20010/Disaster_Risk_Management_in_Japan_English_Version.pdf?sequence=3&isAllowed=y.
- Britton, NR, and GJ Clark. 2000. "From Response to Resilience: Emergency Management Reform in New Zealand." *Natural Hazards Review* 1 (3): 145–50.
- Cabinet Office. 2015. "White Paper Disaster Management in Japan 2015." http://www.bousai.go.jp/kaigirep/hakusho/pdf/WP2015_DM_Full_Version.pdf.
- Charlotte, Benson, Twigg John, and Tiziana Rossetto. 2007. "Tools for Mainstreaming Disaster Risk Reduction: Guidance Notes for Development Organisations." Geneva. https://www.preventionweb.net/files/1066_toolsformainstreamingDRR.pdf.
- Cyganik, Kimberly A. 2003. "Disaster Preparedness in Virginia Hospital Center-Arlington after Sept 11, 2001." *Disaster Management & Response* 1 (3): 80–86. [https://doi.org/10.1016/S1540-2487\(03\)00048-8](https://doi.org/10.1016/S1540-2487(03)00048-8).
- Doroteo, H. J. 2015. "Philippines: Disaster Risk Profile and Disaster Risk Reduction (DDR) Framework: Natural Calamities." Asturias, Spain,: University of Oviedo. https://www.researchgate.net/profile/Harold-James-Doroteo/publication/287817230_Disaster_Risk_Profile_and_Disaster_Risk_Management_Framework_of_the_Philippines_Natural_Disasters/links/5679d1df08ae7fea2e98a69e/Disaster-Risk-Profile-and-Disaster-Risk-Manage.
- ECHO. 2017. "Disaster Risk Management." Brussels. https://ec.europa.eu/echo/files/aid/countries/factsheets/thematic/disaster_risk_reduction.pdf.
- IPCU. 2014. "Kentsel Risklerin Azaltılması." https://www.ipkb.gov.tr/wp-content/uploads/2018/10/ISMEP8_KentselRisklerinAzaltC4B1lmasC4B1.pdf.
- Jimee, Ganesh, Kimiro Meguro, and Amod Dixit Mani. 2019. "Learning from Japan for Possible Improvement in Existing Disaster Risk Management System of Nepal." *Open Journal of Earthquake Research* 08 (02): 85–100.
- Kadıoğlu, Miktad. 2012. *Afet Yönetimi: Beklenilmeyeni Beklemek, En Kötüsünü Yönetmek*. Edited by İstanbul Teknik Üniversitesi Afet Yönetimi Araştırma ve Uygulama Merkezi. İstanbul: Marmara Belediyeler Birliği.
- Kelly, Charles. 1998. "Simplifying Disasters: Developing a Model for Complex Non-Linear Events." *Australian Journal of Emergency Management* 14 (1): 25–27. <https://doi.org/10.3316/ielapa.395428323254686>.
- MCDEM. 2008. *National Civil Defence Emergency Management Strategy*. Wellington.

- . 2019. “National Disaster Resilience Strategy Rautaki Ā-Motu Manawaroa Aituā.” Wellington. <https://www.civildefence.govt.nz/assets/Uploads/publications/National-Disaster-Resilience-Strategy/National-Disaster-Resilience-Strategy-10-April-2019.pdf>.
- NDRRMP. 2011. “National Disaster Risk Reduction and Management Plan” . https://ndrrmc.gov.ph/attachments/article/41/NDRRM_Plan_2011-2028.pdf
- Razmi, J., H. Rahnejat, and M.K. Khan. 2000. “The New Concept of Manufacturing ‘DNA’ within an Analytic Hierarchy Process-driven Expert System.” *European Journal of Innovation Management* 3 (4): 199–211. <https://doi.org/10.1108/14601060010352452>.
- Saaty, T.L. 1980. *The Analytic Hierarchy Process*. New York: McGraw-Hill.
- Saunders, Wendy S. A., Scott Kelly, Suzanne Paisley, and Larissa B. Clarke. 2020. “Progress Toward Implementing the Sendai Framework, the Paris Agreement, and the Sustainable Development Goals: Policy from Aotearoa New Zealand.” *International Journal of Disaster Risk Science* 11 (2): 190–205. <https://doi.org/10.1007/s13753-020-00269-8>.
- Saya, Setsuko. 2017. “Cabinet Office, Government of Japan (CAO)—Japan’s International Cooperation on DRR: Mainstreaming DRR in International Societies.” In *Advancing Culture of Living with Landslides*. https://doi.org/10.1007/978-3-319-59469-9_14.
- Şengör, A. M.Celâl, and Yücel Yilmaz. 1981. “Tethyan Evolution of Turkey: A Plate Tectonic Approach.” *Tectonophysics* 75 (3–4). [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(81\)90275-4](https://doi.org/10.1016/0040-1951(81)90275-4).
- Taştan, Bekir, and Arif Çağdaş Aydınoglu. 2015. “Requirement Analysis for Determining Hazard and Vulnerability in Multiple Disaster Risk Management.” *Marmara Coğrafya Dergisi* 31: 336–97. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/3446>.
- Uludağ, S., and H. Doğan. 2016. “Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinin Karşılaştırılmasına Odaklı Bir Hizmet Kalitesi Uygulaması.” *Cankiri Karatekin Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi* 17 6 (2): 17–48. <https://doi.org/10.18074/cnuibf.356>.
- Ulutürk, G. 2006. “Local Administrations and Disaster Risk Management in Turkey.” Master, METU.
- Wollmann, Dewey, Maria Teresinha Arns Steiner, Guilherme Ernani Vieira, and Patrícia Arns Steiner. 2014. “Details of the Analytic Hierarchy Process Technique for the Evaluation of Health Insurance Companies.” *Producao* 24 (3). <https://doi.org/10.1590/S0103-65132013005000070>.
- World Economic Forum. 2016. “The Global Risks Report 2016 | World Economic Forum.” *Journal of Sustainable Finance & Investment*.



Afet ve Acil Durum Yönetiminde Psikososyal Destek Ekiplerinin Çizelgelenmesi: Bingöl Örneği

Elif Akdaş¹, Tamer Eren²

¹Kırıkkale Üniversitesi; meakdas9@gmail.com; 0000-0002-3951-3407

²Sorumlu Yazar: Kırıkkale Üniversitesi; tamereren@gmail.com; 0000-0001-5282-3138

Özet

Maddi ve manevi birçok kayba sebep olan afetler toplumu olumsuz bir şekilde etkilemektedir. Afetin hemen ardından barınma, gıda, psikososyal destek (PSS), sağlık gibi normalleşme faaliyetleri yürütülmektedir. Afet yönetiminin her aşamasında kendini gösteren PSS hizmetleri etkilenen bireylerde ortaya çıkabilecek psikolojik bozuklukların giderilmesi, normal yaşama dönme süreçlerinin desteklenmesi, iyileşme ve toparlanma becerilerini geliştirmek adına toplumu temel alan ve alanında uzman kişiler tarafından yürütülen çalışmalardır. Belirli meslek gruplarından oluşan ekipler afetten etkilenen illere sevk edilerek afetzedelere ve afet çalışanlarına destek hizmeti sunmaktadır. Yakın tarihte büyük yıkımlara ve can kayıplarına sebep olan 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremlerinde yürütülen PSS hizmetleri afetten etkilenen toplumun toparlanmasında oldukça etkili olmuştur. Bu çalışmada, deprem afetinden etkilenen illere PSS ekiplerinin atanması problemi hedef programlama yöntemi ile ele alınmıştır. Türk Kızılay'ı bünyesinde 20 toplum merkezi ve Bingöl'de olası iki deprem senaryosu ile çalışma devam ettirilmiştir. Senaryo 1, Göynük segmentinde 6.9 büyüklüğünde bir depremde 9 il ve Senaryo 2, Yedisu segmentinde 7.2 büyüklüğünde bir depremde 11 il etkilenmektedir. IBM ILOG optimizasyon programı kullanılarak elde edilen çözüm sonuçlarına göre, Senaryo 1 ve Senaryo 2'de depremin merkez üssü olan Bingöl'e en fazla ekibin atanması gerçekleşmiştir. Böylelikle afetten etkilenen illere istenen sayıda ekiplerin atanması ile en iyi atama elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Afet ve Acil Durum Yönetimi, Psikososyal Destek Hizmetleri, Ekip Çizelgeleme, Hedef Programlama.

Schedule of Psychosocial Support Teams In Disaster And Emergency Management: The Case of Bingöl

Abstract

Disasters, which cause many material and moral losses, negatively affect society. Immediately after the disaster, normalization activities such as shelter, food, psychosocial support (PSS) and health are carried out. PSS services manifest themselves at every stage of disaster management. They are studies based on society and carried out by experts to eliminate psychological disorders that may occur in affected individuals, support returning to everyday life and improve healing and recovery skills. Teams of certain professional groups are dispatched to provinces affected by disasters and provide support services to disaster victims and workers. PSS services carried out in the Kahramanmaraş earthquakes of February 6, 2023, which recently caused great destruction and loss of life, effectively recovered the society affected by the disaster. This study addressed the problem of assigning PSS teams to the provinces affected by the earthquake disaster with the goal programming method. The work continued with 20 community centers within the Turkish Red Crescent and two possible earthquake scenarios in Bingöl. Scenario 1, 9 provinces are affected by a 6.9 magnitude earthquake in the Göynük segment, and Scenario 2, 11 provinces are affected by a 7.2 magnitude earthquake in the Yedisu segment. According to the solution results obtained using the IBM ILOG optimization program, most teams

were assigned to Bingöl, the earthquake's epicenter, in Scenario 1 and Scenario 2. Thus, the best assignment was achieved by assigning the desired number of teams to the provinces affected by the disaster.

Keywords: Disaster and Emergency Management, Psychosocial Support Services, Staff Scheduling, Goal Programming.

1. Giriş

Ani ve yıkıcı olaylar olan afetler, birçok kayıp ve zarara sebep olan olaylardır. Türkiye, başta deprem olmak üzere afetleri sıklıkla yaşayan bir ülkedir. Afetlerin sebep olacağı kayıp ve zararını en aza indirebilmek için kaynak ve operasyonları etkili bir şekilde planlamak ve yönetmek gerekir. Bu kapsamda yapılan tüm çalışmalar afet yönetimini kapsamaktadır. Afet yönetimi çerçevesinde yürütülen faaliyetler birbirini tamamlamakta olduğundan bu aşamalar birbirini takip etmektedir (Şahin, 2019). Afet nedeniyle yaşanan kayıplar etkilenen toplumun acı, öfke, korku, uykusuzluk, üzüntü, yas gibi tepkiler vermesine sebep olmaktadır. İnsan faaliyetlerinin kesintiye uğramasının ardından normal yaşama dönmek amacıyla sosyal hizmetler sağlanmaktadır. Bu hizmetler barınma, gıda, PSS hizmetleri ve sağlık gibi normalleşme faaliyetleridir. Sosyal hizmet alanlarından biri olan PSS hizmetleri etkili bir organizasyon gerektirmektedir. Bu hizmetler etkilenen toplumu afetin olumsuz etkilerinden arındırmak, acılarını dindirmek, eski alışkanlıklarına döndürmek (Gray vd. 2021) ve hissedilen karmaşık duyguların üstesinden gelebilmek için verilmektedir. Ayrıca bu hizmetler değişen koşulların düzeltilmesi ve sosyal huzurun yeniden sağlanmasına katkıda bulunmaktadır. Hizmetin verildiği birey, aile veya toplum psikiyatrik anlamda hasta değildir, verilen destek psikiyatrik müdahaleden farklı olan çok yönlü bir yaklaşımdır (Kılıç, 2008). Odağında birey ve toplum bulunan psikososyal çalışmalar, afet sonrası yapılan ilk müdahalelerden biridir. Afet bölgelerine ulaşan acil yardım ekipleriyle birlikte PSS çalışmalarının altyapı ve planlamaları da başlamaktadır (Aydın, 2012). İhtiyaç ve kaynakların belirlenmesi ile başlayan bu süreçte psikolojik ilk yardım, sosyal projeler, eğitimler gibi PSS araçları kullanılmaktadır. PSS hizmetleri vermek amacıyla kurulmuş toplum merkezlerinde tedavi edici, koruyucu, geliştirici ve önleyici aktiviteler gerçekleştirilmektedir (Aydın, 2012). Bu toplum merkezleri AFAD akreditasyonuna göre oluşturulur ve Aile ve Sosyal Hizmetler Bakanlığı'na karşı sorumludur.

Bu çalışmada, Türk Kızılay'ı PSS ekiplerinin doğru afet illerine atanması problemi hedef programlama yöntemi ile ele alınmıştır. Örnek uygulama yeri olarak, Kuzey Anadolu ve Doğu Anadolu Fay Zonunun kesiştiği ve 1. derece deprem bölgesi olarak kabul edilen Bingöl ve civarındaki iller ele alınmıştır. AFAD Deprem Dairesi Başkanlığı tarafından oluşturulan iki farklı senaryonun çıktıları ile çalışma devam ettirilmiştir (Bingöl AFAD, 2022). Senaryo 1'de Göynük segmentinde 6.9 büyüklüğünde olası depremde 9 ilin etkileneceği tahmin edilmiştir. Senaryo 2'de Yedisu segmentinde 7.2 büyüklüğünde olası depremde 11 ilin etkileneceği tahmin edilmiştir.

2. Afet ve Acil Durum Yönetiminde Psikososyal Destek Hizmetleri

Psikososyal, psikolojik ve sosyal etkilerin ilişkisidir. Afet ve acil durum çerçevesinde PSS, afet sonrası muhtemel psikolojik bozuklukların ve uyumsuzlukların engellenmesi ve bertaraf edilmesidir. Herhangi bir psikolojik ya da psikiyatrik tedavi amacı gütmemektedir. Etkilenen birey, aile ve toplumun normal yaşamlarına geçişlerine destek olmak ve bu süreci hızlandırmak, ihtiyaçlarına yönelik ihtiyaç ve kaynak analizi yapmak, afet ve acil durumlarla başa çıkmak ve müdahalelerine destek olma amacının yanı sıra iyileşme kapasitelerini farkettilmek ve iyileşme becerilerini arttırmaktır. Aynı zamanda yardım çalışmalarını destekleyen ve afetin her aşamasında yürütülen çok disiplinli bu hizmetler (Demir, 2020) sosyal hizmet müdahalesi olarak tanımlanan (Aktaş, 2003) ve afet sonrası yapılan normalizasyon faaliyetleridir. Afetin meydana gelmesi ile birlikte ihtiyaçların ve kaynakların değerlendirilmesi, psikolojik ilk yardım ile PSS hizmetleri başlamakta ve süreç ilerledikçe diğer destek araçlarıyla devam etmektedir. Bu hizmetler etkilenen bireylerin gösterdiği acı, korku, şok, uykusuzluk, yas gibi psikolojik tepkilerin üstesinden gelme ve bu tepkilerin aşılması konusunda yardımcı olmaktır. PSS hizmetlerinin en temel amacı önleyici ve iyileştirici faaliyetlere odaklanmaktır. Bu hizmetlerin sağlandığı süreç etkilenen bireyleri anlamaya, dinlemeye, desteklemeye ve yardımcı olmaya yönelik faaliyetler bütünüdür. Afetlerin toplum üzerinden doğrudan etkisi kişilerin, ailelerin ve toplumun PSS hizmetlerine olan gereksinimini göstermektedir (Demir, 2020). Afet ve acil durumlarda birçok kurum ve kuruluş birlikte çalışıp, insani yardım yapabilmek amacıyla işbirliği içerisinde eşgüdümü sağlamalıdır. Eşgüdümün sağlanabilmesi için ruh sağlığı ve PSS sağlayıcılarının genel bir plan ve iş bölümünde uzlaşmaları gerekmektedir. PSS hizmetini gerçekleştirebilmek için her çalışan, ruh sağlığı ve psikososyal iyilik halini desteklemekten sorumludur. Müdahale kapsamındaki her etkinlik ruh sağlığı ve psikososyal iyilik halini artırıcı niteliktedir (Arslan Tomas ve Şavur, 2018). PSS herhangi bir afet ve acil durumun olduğu ilde çeşitli kurum ve kuruluşlarda görevli sosyal hizmet uzmanı, çocuk gelişim uzmanı, psikolog, psikolojik danışman gibi meslek gruplarının görevlerini yerine getirerek etkilenen topluma belirli hizmetlerin verilmesi ve takip edilmesi ile devam etmektedir (URL-1).

Birey ve toplumun sosyal, ekonomik, psikolojik ve fiziksel iyilik durumlarını güçlendirerek toplumun dayanıklılığının geliştirilebilmesine sürdürülebilir katkı sağlamak amacıyla Türk Kızılay toplum merkezleri kurulmuştur. Bu toplum merkezleri birçok çalışma faaliyetlerine sahiptir. Bu faaliyetlerden biri de sağlık ve PSS çalışmalarıdır. Bireylerin fiziksel ve ruhsal iyiliklerini destekleme, ruh sağlığı sorunlarını tedavi etme ve toplumu temel alarak sağlık müdahalesinde bulunma hizmetleri sunmaktadırlar. Kadın ve çocuk sağlığının güçlendirilmesi, hane ziyaretleri, şehir merkezi dışında yaşayan insanlara mobil ekip ile hizmet sunma, eğitimler, psikoterapi, sağlık hizmetlerine erişim vb. toplum merkezlerinde sağlanan temel desteklerdir. Bu toplum merkezlerinde sosyal hizmet uzmanı, çocuk gelişim uzmanı, psikolog, psikolojik danışman olmak üzere dört farklı meslek gruplarından meydana gelen PSS hizmet grupları oluşturulmaktadır. PSS hizmeti sağlayan ekipler belirli toplum merkezlerinden afet illerine atanmaktadır. İllere atanan ekipler kendi aralarında dönüşümlü olarak mobil ekip ve sabit ekip olarak hizmet sağlamaktadırlar. Afetten etkilenen illerin hizmete ulaşamayan ilçe ve köylerini ziyaret eden ekip, mobil ekip olarak adlandırılmaktadır. Sabit ekip ise ildeki çadır kent ve konteyner kentlerde hizmetlerine devam etmektedir.

3. Literatür Araştırması

Şavur ve Arslan Tomas (2010), terör olayları sonrasında hangi psikososyal destek hizmetlerinin ağılandığından, terör olaylarını diğer afetlerden ayıran özelliklerinden bahsetmişlerdir. Nolz vd. (2011), lojistik sisteminin afetzedelere yardım dağıtımını konusunu çok amaçlı optimizasyon problemi olarak formüle etmişlerdir. Etkilenen topluma mevcut kaynakları en iyi şekilde sağlamak amacıyla çok amaçlı model geliştirerek kapsam, risk ve toplam seyahat süresini minimizasyonunu amaçlamışlardır. Çoban (2019), Türkiye’de psikososyal hizmetlerin gelişimini, bu hizmetlerin nasıl uygulandığını ve bireyler üzerindeki olumlu ve olumsuz etkilerinden bahsetmiştir. Afet ve acil durumlara maruz kalmış olan 18 katılımcı ile değerlendirme çerçevesi sunmuştur. Artan ve Özkan (2020), sosyal hizmetin afetlerle olan ilişkisini değerlendirmişlerdir ve sosyal hizmet uzmanlarının afetlerdeki mesleki uygulamalarını incelemişlerdir. Umeda vd. (2020), afet müdahale ekiplerinin ruh sağlıklarını ve psikolojik streslerini koruyup geliştirmek üzerine yapılan psikososyal destek çalışmalarını incelemişlerdir. Danışan ve Eren (2022a), deprem afetinde kentsel arama kurtarma ekiplerinin çizelgelenmesi problemini ele almışlardır. Matematiksel programlama yöntemi ile hangi ekiplerin hangi afet yerlerine gitmesi gerektiğine cevap aramışlardır. Danışan ve Eren (2022b), afet yönetiminde önemli bir konu olan Türkiye’de çalışmalarını yürütecek olan uluslararası arama kurtarma ekiplerinin belirlenmesini ele almışlardır. Ekipleri belirlemede AHP ve TOPSIS kullanmışlardır. Fei ve Wang (2022), kurtarıcıları birden çok afet bölgesine etkili bir şekilde sevk edilmesi için kurtarıcıların yetkinliğini ve kurtarma süresi memnuniyetini en üst düzeye çıkarmak için Kanıta dayalı en iyi-en kötü metodu ile Dempster-Shafer teorisini kombinleyerek modelleme yapmışlardır. Nayeri vd. (2022), İran’daki sel felaketinden elde edilen verilerle kurtarma ekiplerinin atanma problemini ele almışlardır. Bulanık sağlam optimizasyon ile hibrit metasezgisel algoritmayı kullanarak kurtarma operasyonlarının ağırlıklı tamamlanma zamanlarının toplamının minimizasyonunu amaçlamışlardır. Abay ve Çelik Abay (2023), birçok ilin etkilendiği 2023 Kahramanmaraş depremlerinden sonraki dönemde karşılaşılan ekonomik, sosyal ve psikolojik sorunlar için öneriler geliştirmişlerdir. Akdaş (2023), afet yönetiminde müdahale ekiplerinden olan arama-kurtarma ve psikososyal destek ekiplerini çizelgeleme problemlerini ele alan altı çalışma gerçekleştirmiştir. Akdaş ve Eren (2023a), merkez üssü Aydın-Efeler ilçesi olan bir deprem senaryosunda yıkımın meydana geldiği afet ilçelerine arama kurtarma ekiplerini çizelgeleme problemini ele almışlardır. Akdaş ve Eren (2023b), olası Elazığ depreminde yıkımın meydana geldiği afet ilçelerine arama kurtarma ekiplerinin çizelgeleme problemini hedef programlama yöntemi ile ele almışlardır. Akdaş ve Eren (2023c), Erzincan’da meydana gelecek olası bir depremde yıkık binaların olduğu illere arama kurtarma ve psikososyal destek ekiplerini çizelgeleme problemini ele almışlardır. Arıca vd. (2023), literatürde kırılgan grup olarak tanımlanan kadınlar, yaşlılar, engelliler vb. üzerinde afetlerin psikolojik etkilerine yönelik verilerin psikososyal hizmetlerin nasıl olacağı doğrultusunda bakış açısı sunmuşlardır. Oktar ve Negiz (2023), Covid-19 salgın döneminde salgından etkilenen insanlara yardım etme amacıyla oluşturulan psikososyal destek uygulamasının toplum üzerindeki etkililiği ve sosyal hizmet uzmanları tarafından nasıl algılandığını anlama amaçlı 10 sosyal hizmet uzmanı ile görüşme sağlamışlardır. Bu uygulama sayesinde sosyal hizmet uzmanlarının aktif olarak rol aldığı ve güçlü yönleri ortaya çıkmıştır.

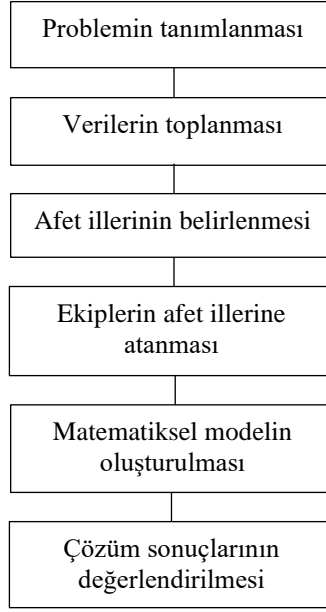
Ayrıca bu çalışmanın temel konusu olan personel çizelgeleme probleminde birçok çalışma yapılmıştır. Uygulama alanları ve çözüm yöntemleri farklılık göstermekte olan bu çalışmalardan bazıları şunlardır; Bedir vd. (2017); Eren vd. (2022); Güler vd. (2022) ergonomik personel çizelgeleme problemini ele almışlardır. Varlı ve Eren (2017); Varlı vd. (2017); Varlı vd. (2018); Koçak vd. (2023); hemşire çizelgeleme problemini ele almışlardır. Demirel vd. (2018); Eren vd. (2019); Akdaş ve Eren (2023) güvenlik personeli çizelgeleme problemini ele almışlardır.

Afetlerde PSS çalışmalarına akademik ilgi oldukça azdır. Bu hizmetlerin planlanması ve gerçekleştirilmesi önemli bir konudur. Bu nedenle bu çalışmada Türk Kızılayı Sosyal Hizmet Direktörlüğü bünyesinde toplum merkezlerinde, afetten etkilenen topluma hizmet veren PSS ekipleri ile bu çalışma gerçekleştirilmiştir. Ele alınan bu çalışmanın literatüre katkısı şunlardır:

- PSS hizmeti sağlayan ekiplerin afet illerine çizelgesini ele alan ilk çalışmadır.

4. Uygulama

Uygulamada, en fazla diri fay bulunduran ikinci ilimiz olan Bingöl İli'nin ele alınmasının bir nedeni yer bilim insanların yakın zamanda deprem beklemesidir. Bir diğer nedeni ise, aktif olan DAFZ (Doğu Anadolu Fay Zonu) ve KAFZ (Kuzey Anadolu Fay Zonu) kesişme noktasında konumlanmış olmasıdır. Bingöl ve civarında olası iki farklı deprem senaryosu kullanılmıştır. Türk Kızılay PSS ekiplerinin afetten etkilenen illere atanması problemi ele alınmıştır. Akış şeması Şekil 1'de görüldüğü gibidir.



Şekil 1. Akış Şeması

4.1. Problemin Tanımlanması

Afet ve acil durum meydana geldiği andan itibaren sahaya inerek psikolojik uyumsuzluk ve bozuklukların önlenmesi amacıyla normalizasyon faaliyetleri sürdüren PSS ekiplerinin afet illerine atanması problemi hedef programlama yöntemi ile ele alınmıştır. AFAD tarafından oluşturulan Bingöl ve civarında olası iki deprem senaryosu ve Türk Kızılay toplum merkezlerinde hizmet veren PSS ekipleri ile çalışma sürdürülmüştür. Senaryo 1, Göynük segmentinde 6.9 büyüklüğünde bir depremde etkilenecek 9 afet iline toplum merkezlerinin atanması problemidir. Senaryo 2, Yedisu segmentinde 7.2 büyüklüğünde bir depremde etkilenecek 11 afet iline toplum merkezlerinin atanması problemidir.

4.2. Verilerin Toplanması

➤ AFAD

Deprem risk analiz çalışmaları için AFAD Deprem Dairesi Başkanlığı tarafından hazırlanan Bingöl İl Afet ve Risk Planlaması Kılavuzu incelenmiştir. Bu kılavuzda AFAD-RED programı kullanılarak üretilmiş olan Bingöl İli'ni etkileyecek farklı segmentlerde ve farklı büyüklüklerde deprem senaryoları bulunmaktadır. Meydana gelecek bir deprem sonucu bilgi kirliliği ve kaosun ortadan kaldırılması, müdahale ekiplerinin doğru afet bölgelerine hızlı bir şekilde sevk edilmesi amacıyla hazırlanmıştır. Ele alınan bu çalışmada bu senaryolar ve senaryoların çıktıları kullanılmıştır.

➤ Türk Kızılay

Türkiye'de afet ve acil durumlarda sosyal hizmetler alanında hizmet vermekte olan 19 ilde toplamda 20 adet toplum merkezi Türk Kızılay Sosyal Hizmetler Direktörlüğü bulunmaktadır. Bu toplum merkezlerinde deneyimli ve gönüllü olan belirli meslek gruplarından PSS hizmeti veren, daha önce afet sahasını görmüş ve karşılaşıcağı zorluklara dayanıklı personeller bulunmaktadır. Meslek gruplarını sosyal hizmet uzmanı, çocuk gelişim uzmanı, psikolog ve psikolojik danışman oluşturmaktadır. Bir toplum merkezinde 5 sosyal hizmet uzmanı, 1 çocuk gelişim uzmanı, 2 psikolog ve 1 psikolojik danışman olmak üzere 9 çalışan bulunmaktadır.

4.3. Afet İllerinin Belirlenmesi

AFAD Deprem Dairesi Başkanlığı tarafından deprem senaryoları oluşturulup AFAD-RED analiz programı ile analiz edilmektedir. Program çıktıları afet sonrası potansiyel kayıplar hakkında bilgiler vermektedir. Afetten etkilenen bölgeleri gösteren sismik şiddet haritası, bina hasar grafiği bu çıktılardan bazılarıdır. Bingöl İl Afet ve Risk Planlaması'nda bulunan iki farklı deprem senaryosu vardır.

Senaryo 1'e göre, Göynük segmentinde 6.9 büyüklüğünde bir deprem meydana gelecektir. Bu senaryoda Bingöl, Batman, Bitlis, Diyarbakır, Elazığ, Erzincan, Erzurum, Muş ve Tunceli olmak üzere 9 afet ili farklı şiddette etkilenecektir. Depremden etkilenen illerin bazı ilçelerindeki binalarda hasarlar ortaya çıkacaktır.

Senaryo 2'ye göre, Yedisu segmentinde 7.2 büyüklüğünde bir deprem meydana gelecektir. Bingöl, Bayburt, Batman, Diyarbakır, Elazığ, Erzincan, Erzurum, Gümüşhane, Muş, Tunceli ve Şanlıurfa olmak üzere 11 afet ili farklı şiddette etkilenecektir. Depremden etkilenen illerin bazı ilçelerindeki binalarda hasarlar ortaya çıkacaktır.

4.4. Ekiplerin Afet İllerine Atanması

PSS hizmeti vermekte olan her bir toplum merkezi, afet meydana geldiğinde afet iline en az 4 ve en fazla 6 kişilik bir ekip göndermektedir. Bu ekip içerisinde dört meslek grubundan en az 1 personel olmak zorundadır. Afetin büyüklüğüne ve etkisine göre her bir afet iline aynı destek ekiplerinden bağımsız olarak toplum merkezlerinden en az 4 ve en fazla 15 kişilik bir ekip gönderilmektedir. Her afet iline en az 1 ve en fazla 4 toplum merkezi gönderilmelidir. Bir toplum merkezi en fazla bir ile gönderilmelidir.

4.5. Matematiksel Model

Problemin çözümünde hedef programlama yöntemi kullanılmıştır.

4.5.1. Hedef programlama

Kullanılan bu yöntemde, tek amaçlı olan doğrusal programlamadan farklı olarak amaç fonksiyonunda birden fazla amaç hedeflenmektedir. Amaç fonksiyonunda yer alan negatif ve pozitif sapma değişkenlerinin çarpımı sifıra eşit olmalıdır. Yani değişkenlerden bir tanesi sıfırdan büyük iken, diğer değişken sıfıra eşittir. Sapma değişkenleri negatif değer alamaz ve amaç fonksiyonundaki negatif ve pozitif sapma değişkenleri en küçüklenmeye çalışılır. Hedef programlama yönteminin formülasyonu Denklem 1-3'te gösterilmiştir (Taha, 2015).

x_j : j . karar değişkeni

a : karar değişkeni katsayı parametresi

r : hedef kısıtı sağ taraf değer parametresi

d_i^+ : i . hedefin pozitif sapma değeri

d_i^- : i . hedefin negatif sapma değeri

$$\text{Min } Z = \sum_{i=1}^n (d_i^+ + d_i^-) \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^m a * x_j - d_i^+ + d_i^- = r \quad (2)$$

$$x_j, d_i^+, d_i^- \geq 0 \quad \forall_{i,j} \quad (3)$$

Denklem 1, modelin amaç fonksiyonunu ifade etmektedir. Denklem 2, modelin hedef kısıtıdır ve ulaşılmak istenen r sağ taraf değeridir. Denklem 3, modelin işaret kısıtlarıdır.

4.5.2. Oluşturulan matematiksel modeller

Senaryo 1

Parametreler

n =toplum merkezi sayısı

m =il sayısı

i =toplum merkezi $i=1,2,\dots,n$

j =afet ili $j=1,2,\dots,m$

Karar değişkenleri

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, i. toplum merkezi j. afet iline atanırsa \\ 0, diğer durumlar \end{cases} \quad \forall_{i,j}$$

$$d_{i1}^+ = i. toplum merkezinin 1. hedeften pozitif sapma miktarı \quad i = 1, 2, \dots, n$$

$$d_{i1}^- = i. toplum merkezinin 1. hedeften negatif sapma miktarı \quad i = 1, 2, \dots, n$$

$$d_{i2}^+ = i. toplum merkezinin 2. hedeften pozitif sapma miktarı \quad i = 1, 2, \dots, n$$

$$d_{i2}^- = i. toplum merkezinin 2. hedeften negatif sapma miktarı \quad i = 1, 2, \dots, n$$

$$d_{i3}^+ = i. toplum merkezinin 3. hedeften pozitif sapma miktarı \quad i = 1, 2, \dots, n$$

$$d_{i3}^- = i. toplum merkezinin 3. hedeften negatif sapma miktarı \quad i = 1, 2, \dots, n$$

Kısıtlar

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} \leq 1 \quad \forall_i \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} \geq 1 \quad \forall_j \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} \leq 4 \quad \forall_j \quad (3)$$

Hedef Kısıtları

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} - d_{i1}^+ + d_{i1}^- = 4 \quad j = 1 \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} - d_{i2}^+ + d_{i2}^- = 3 \quad j = 2,3,4 \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} - d_{i3}^+ + d_{i3}^- = 1 \quad j = 5,6 \dots, 9 \quad (6)$$

Amaç Fonksiyonu

$$\min z = \sum_{i=1}^n (d_{i1}^+ + d_{i1}^- + d_{i2}^+ + d_{i2}^- + d_{i3}^+ + d_{i3}^-) \quad (7)$$

$$x_{ij} \geq 0 \text{ veya } 1 \quad \forall_{i,j} \quad (8)$$

$$d_{i1}^+, d_{i1}^-, d_{i2}^+, d_{i2}^-, d_{i3}^+, d_{i3}^- \geq 0 \quad \forall_i \quad (9)$$

1. Kısıt bir toplum merkezinin en fazla bir afet iline atanmasıdır. 2. Kısıt her bir afet iline en az bir toplum merkezi atanmasıdır. 3. Kısıt her bir afet iline en fazla 4 toplum merkezi atanmasıdır. 4. Kısıt depremden en çok etkilenen Bingöl'e 4 toplum merkezinin atanmasıdır. 5. Kısıt Diyarbakır, Elazığ ve Muş illerine atanan toplum merkezi sayısının 3'e eşit olmasıdır. 6. Kısıt Batman, Şanlıurfa, Erzincan, Erzurum ve Tunceli illerine atanan toplum merkezi sayısının 1'e eşit olmasıdır. 7. Kısıt amaç fonksiyonudur. 8. Kısıt ve 9. Kısıt problemin işaret kısıtlarıdır.

Senaryo 2

Parametreler

n =toplum merkezi sayısı

m =il sayısı

i =toplum merkezi $i=1,2,\dots,n$

j =afet ili $j=1,2,\dots,m$

Karar değişkenleri

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, i. \text{toplum merkezi } j. \text{afet iline atanırsa} \\ 0, \text{diğer durumlar} \end{cases} \quad \forall_{i,j}$$

d_{i1}^+ = i . toplum merkezinin 1. hedeften pozitif sapma miktarı $i = 1,2, \dots, n$

d_{i1}^- = i . toplum merkezinin 1. hedeften negatif sapma miktarı $i = 1,2, \dots, n$

d_{i2}^+ = i . toplum merkezinin 2. hedeften pozitif sapma miktarı $i = 1,2, \dots, n$

d_{i2}^- = i . toplum merkezinin 2. hedeften negatif sapma miktarı $i = 1,2, \dots, n$

d_{i3}^+ = i . toplum merkezinin 3. hedeften pozitif sapma miktarı $i = 1,2, \dots, n$

d_{i3}^- = i . toplum merkezinin 3. hedeften negatif sapma miktarı $i = 1,2, \dots, n$

Kısıtlar

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} \leq 1 \quad \forall_i \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} \geq 1 \quad \forall_j \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} \leq 4 \quad \forall_j \quad (3)$$

Hedef Kısıtları

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} - d_{i1}^+ + d_{i1}^- = 4 \quad j = 1 \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} - d_{i2}^+ + d_{i2}^- = 3 \quad j = 2, 3, 4 \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} - d_{i3}^+ + d_{i3}^- = 1 \quad j = 5, \dots, 11 \quad (6)$$

Amaç Fonksiyonu

$$\min z = \sum_{i=1}^n (d_{i1}^+ + d_{i1}^- + d_{i2}^+ + d_{i2}^- + d_{i3}^+ + d_{i3}^-) \quad (7)$$

$$x_{ij} \geq 0 \text{ veya } 1 \quad \forall_{i,j} \quad (8)$$

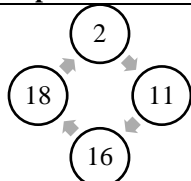
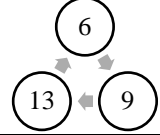
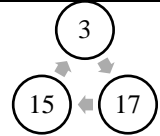
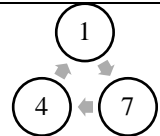
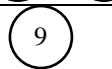
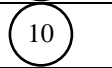
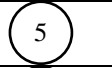
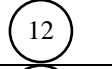
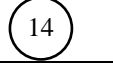
$$d_{i1}^+, d_{i1}^-, d_{i2}^+, d_{i2}^-, d_{i3}^+, d_{i3}^- \geq 0 \quad \forall_i \quad (9)$$

1. Kısıt bir toplum merkezinin en fazla bir afet iline atanmasıdır. 2. Kısıt her bir afet iline en az bir toplum merkezi atanmasıdır. 3. Kısıt her bir afet iline en fazla 4 toplum merkezi atanmasıdır. 4. Kısıt depremden en çok etkilenen Bingöl'e 4 toplum merkezinin atanmasıdır. 5. Kısıt Erzincan, Erzurum ve Tunceli illerine atanan toplum merkezi sayısının 3'e eşit olmasıdır. 6. Kısıt Bayburt, Elazığ, Muş, Gümüşhane, Batman, Bitlis ve Diyarbakır illerine atanan toplum merkezi sayısının 1'e eşit olmasıdır. 7. Kısıt amaç fonksiyonudur. 8. ve 9. Kısıt problemin işaret kısıtlarıdır.

5. Sonuçlar ve Tartışma

Oluşturulan matematiksel model IBM ILOG optimizasyon programının CPLEX çözücüsü ile çözdürüldüğünde Senaryo 1 çözüm sonuçları Tablo 1'de ve Senaryo 2 çözüm sonuçları Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 1 Senaryo 1 Çözüm Sonuçları

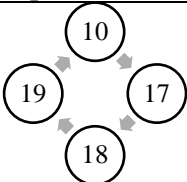
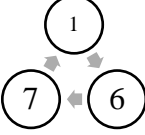
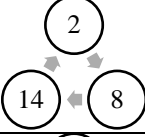
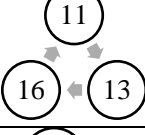


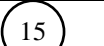
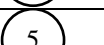



Afet İli	Toplum Merkezi
Bingöl	
Diyarbakır	
Elazığ	
Muş	
Batman	
Şanlıurfa	
Erzincan	
Erzurum	
Tunceli	

Tablo 1’de görüldüğü gibi afetten etkilenen her ile en az bir ve en fazla 4 toplum merkezinin ataması gerçekleşmiştir.

- Bingöl iline 2, 11, 16 ve 18. toplum merkezleri olmak üzere 4 toplum merkezi atanmıştır.
- Diyarbakır iline 6, 9 ve 13. toplum merkezleri olmak üzere 3 toplum merkezi atanmıştır.
- Elazığ iline 3, 15 ve 17. toplum merkezleri olmak üzere 3 toplum merkezi atanmıştır.
- Muş iline 1, 4 ve 7. toplum merkezleri olmak üzere toplam 3 toplum merkezi atanmıştır.
- Batman iline 9. toplum merkezi olmak üzere 1 toplum merkezi atanmıştır atanmıştır.
- Şanlıurfa iline 10. toplum merkezi olmak üzere 1 toplum merkezi atanmıştır atanmıştır.
- Erzincan iline 5. toplum merkezi olmak üzere 1 toplum merkezi atanmıştır atanmıştır.
- Erzurum iline 12. toplum merkezi olmak üzere 1 toplum merkezi atanmıştır atanmıştır.
- Tunceli iline 14. toplum merkezi olmak üzere 1 toplum merkezi atanmıştır atanmıştır.

Toplam 20 toplum merkezinden 18’inin afet illerine ataması gerçekleşmiştir. Böylelikle matematiksel modeldeki kısıtlar ve istenilen hedef kısıtları sağlanmıştır.

Tablo 2 Senaryo 2 Çözüm Sonuçları

Afet İli	Toplum Merkezi
Bingöl	
Erzincan	
Erzurum	
Tunceli	
Bayburt	
Elazığ	
Gümüşhane	
Muş	
Batman	
Bitlis	
Diyarbakır	

Tablo 2’de görüldüğü gibi afetten etkilenen her ile en az bir ve en fazla 4 toplum merkezinin ataması gerçekleşmiştir.

- Bingöl iline 10, 17, 18 ve 19. toplum merkezleri olmak üzere 4 toplum merkezi atanmıştır.
- Erzincan iline 1, 6 ve 7. toplum merkezleri olmak üzere 3 toplum merkezi atanmıştır.
- Erzurum iline 2, 8 ve 14. toplum merkezleri olmak üzere 3 toplum merkezi atanmıştır.
- Tunceli iline 11, 13 ve 16. toplum merkezleri olmak üzere 3 toplum merkezi atanmıştır.
- Bayburt iline 20. toplum merkezi olmak üzere 1 toplum merkezi atanmıştır atanmıştır.
- Elazığ iline 4. toplum merkezi olmak üzere 1 toplum merkezi atanmıştır atanmıştır.
- Gümüşhane iline 15. toplum merkezi olmak üzere 1 toplum merkezi atanmıştır atanmıştır.
- Muş iline 5. toplum merkezi olmak üzere 1 toplum merkezi atanmıştır atanmıştır.
- Batman iline 3. toplum merkezi olmak üzere 1 toplum merkezi atanmıştır atanmıştır.
- Bitlis iline 12. toplum merkezi olmak üzere 1 toplum merkezi atanmıştır atanmıştır.
- Diyarbakır iline 9. toplum merkezi olmak üzere 1 toplum merkezi atanmıştır atanmıştır.

Toplam 20 toplum merkezinden hepsinin afet illerine ataması gerçekleşmiştir. Böylelikle matematiksel modeldeki kısıtlar ve istenilen hedef kısıtları sağlanmıştır.

Psikososyal destek hizmetlerinin en temel amacı önleyici ve iyileştirici faaliyetlere odaklanmaktır. Bu hizmetlerin sağlandığı süreç etkilenen bireyleri anlamaya, dinlemeye, desteklemeye ve yardımcı olmaya yönelik faaliyetler bütünüdür. Odağında birey ve toplum bulunan psikososyal çalışmalar, afet sonrası yapılan ilk müdahalelerden biridir. Afetlerin toplum üzerinden doğrudan etkisi kişilerin, ailelerin ve toplumun psikososyal destek hizmetlerine olan gereksinimini göstermektedir (Demir, 2020). Bu nedenle gerçek bir hayat problemi olan PSS çalışmalarının afet

illerinde yürütülmesi amacıyla çizelgeleme problemi ele alınmıştır. Problem çözdürüldüğünde en iyi çizelge elde edilmiştir.

6. Değerlendirme

Bu çalışmada psikososyal destek ekiplerinin afet illerine çizelgeleme problemi ele alınmıştır. AFAD Deprem Dairesi Başkanlığı tarafından oluşturulan iki senaryo ile ve Türk Kızılay psikososyal destek ekip çalışanından elde edilen bilgiler doğrultusunda bu çalışma devam ettirilmiştir. Senaryolar için hedef programlama yöntemi ile matematiksel modeller oluşturulmuştur. IBM ILOG programının CPLEX çözücüsü ile modeller çözdürülmüştür. Senaryo 1 'den elde edilen sonuçlara göre, her ile en az 1 toplum merkez atanmıştır. Bingöl iline 4 toplum merkezi, Diyarbakır-Elazığ-Muş illerine 3 toplum merkezi, Batman-Şanlıurfa-Erzincan-Erzurum-Tunceli illerine 1 toplum merkezi atanmıştır. Toplam 20 toplum merkezinden 18'inin afet illerine ataması gerçekleşmiştir.

Senaryo 2 'den elde edilen sonuçlara göre, her ile en az 1 toplum merkez atanmıştır. Bingöl iline 4 toplum merkezi, Erzincan-Erzurum-Tunceli illerine 3 toplum merkezi, Bayburt-Elazığ-Muş-Gümüşhane-Batman-Bitlis-Diyarbakır illerine 1 toplum merkezi atanmıştır. Toplam 20 toplum merkezinden hepsinin afet illerine ataması gerçekleşmiştir.

PSS ekiplerinin afet illerine atanmasını ele alan bu çalışma, PSS çalışmalarının temelinde olan afet yönetiminin konusudur. Afet yönetiminin her aşamasında görev alan bu ekipler zorlu afet sahalarında çalışmaktadır. Hayatta kalmış olan afetzedelere her türlü psikolojik desteği sağlamaktadırlar.

Afet yönetiminin müdahale aşamasında farklı görevler üstlenen birçok personel vardır. Bu personellerin bir araya gelerek ilk müdahale ekiplerini oluşturmaktadır. İlk müdahale ekiplerinden biri olan ve arama kurtarma çalışmalarında görev alan ekiplerin çizelgelenmesi konusunda literatürde birçok çalışma ile karşılaşmaktayız. Ancak PSS ekiplerini çizelgeleme probleminin ilk örneği bu makalededir. Hazırlanan deprem senaryolarına göre, PSS ekiplerinin hangi afet iline sevk edileceğinin önceden planlanmış olması yapılacak olan müdahaleyi hızlandıracaktır. Aynı zamanda bu tür problem afet ve acil durum karar vericilerine rehberlik edecektir.

Etik Beyanı

Bu makalenin yazarları, bu çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve / veya yasal-özel izin gerektirmediğini beyan etmektedir.

Yazar katkısı

Elif Akdaş: Ele alınan çalışmanın literatür araştırması, probleme ilişkin verilerin toplanması, yöntemin belirlenmesi ve uygulanması, elde edilen sonuçların yorumlanması, makale yazımı ve düzenlemesi, kontrolü.

Tamer Eren: Ele alınan çalışmanın tasarlanması, yöntemin belirlenmesi, sonuçların değerlendirilmesi, makalenin kontrolünün yapılması.

Çıkar Çatışması

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Benzerlik oranı: %5

Teşekkür

Türk Kızılay psikososyal destek ekiplerinden sosyal hizmet uzmanı Tuğba Sarıtaş'a verdiği bilgilerden dolayı teşekkür ederiz. Bu çalışmayı destekleyen Kırıkkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi (BAP) Koordinasyon Birimi'ne teşekkür ederiz.

Kaynaklar

Abay, A.R., Çelik Abay, E.Z., (2023). Deprem Sonrası Ortaya Çıkan Sorunlar ve Sosyal Destek Ağlarının Rolü, Sosyolojik Bağlam Dergisi, 4(1): 91-100.

Akdaş, E., (2023). Afet Yönetiminde Arama-Kurtarma ve Psikososyal Destek Ekiplerinin Atanması, Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

- Akdaş, E., Eren, T., (2023a). Doğal Afetlerde Arama Kurtarma Ekiplerinin Çizelgelenmesi: Aydın Depremi Senaryosu, In International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences, 1(1): 718-724.
- Akdaş, E., Eren, T., (2023b). Deprem Afetinde Arama Kurtarma Ekiplerinin Çizelgelenmesi İçin Örnek Bir Uygulama, Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences, Basımda.
- Akdaş, E., Eren, T., (2023c). Arama Kurtarma ve Psikososyal Destek Ekiplerinin Afet İllerine Atanması ve Çizelgelenmesi: Erzincan Depremi Örneği, Uluslararası Veri Bilimi ve Güvenliği Konferansı, ICDASS2023, 6-7 July 2023, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, Türkiye.
- Aksüt, G., Alakaş, H.M., Eren, T., Karaçam, H. (2022). Fiziksel ergonomik riskli personel çizelgeleme problemi için model önerisi: Kadın çalışanlar için tekstil sektöründe bir uygulama, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 38(1): 245-256.
- Aktaş, A.M., “Kriz Durumlarında Sosyal Hizmet Müdahalesi”, Kriz Dergisi, 11(3): 37-44, (2003).
- Arıca, F., Çakır, C., Kağmıcı, D., “Kırılgan Gruplar Özelinde Afetlerde Psikososyal Hizmetler”, Afet ve Risk Dergisi, 6(1): 176-187, (2023).
- Arslan Tomas, S., Şavur, E., (2018). Afet ve acil durumlarda psikososyal destek hizmetleri saha çalışanları için el kitabı Ankara, UNICEF Türkiye Temsilciliği.
- Artan, T., Özkan, A.O., (2020). Afetler ve Sosyal Hizmet, Journal of ADEM, 1(1): 47-54.
- Aydın, D., (2012). Afet Sonrası Psikososyal Destek Uygulamaları, İnsani ve Sosyal Araştırmalar Merkezi, 1-9.
- Bedir, N., Eren, T., Dizdar, E.N. (2017). Ergonomik personel çizelgeleme ve perakende sektöründe bir uygulama, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 5(3): 657-674.
- Bingöl AFAD, (2021). İRAP İl Afet Risk Azaltma Planı, T.C. Bingöl Valiliği İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü, Erişim Adresi: <https://bingol.afad.gov.tr/kurumlar/bingol.afad/E-Kutuphane/II-Planlari/BINGOL-AFAD-IRAP-2012.pdf>
- Çoban, D., (2019). Afet ve Acil Duruma Maruz Kalmış Bireylerde Psikososyal Destek Uygulamalarının Bireylerin Günlük Yaşantısına Dönüş Sürecindeki Etkinliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü.
- Danışan T., Eren T., (2022a). Afetlere etkin müdahale için ekiplerin çizelgelenmesinde matematiksel modellemenin kullanılması, 3rd International Disaster Management Congress, Tokat, Türkiye.
- Danışan T., Eren T., (2022b). Uluslararası etkin müdahale ekiplerinin çökv yöntemleri ile belirlenmesi, 3rd International Disaster Management Congress, Tokat, Türkiye.
- Demir, A., (2020). Afet alanında çalışan personellerde psikososyal destek müdahale ilkeleri, empati ve liderlik ilişkisi; Türk Kızılay örneği, Yüksek Lisans Tezi, Gümüşhane Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Demirel, B., Yelek, A., Alağaç, H.M., Eren, T. (2018). Ankaray güvenlik personelinin vardiya çizelgeleme probleminin hedef programlama yöntemi ile çözümü, Demiryolu Mühendisliği, (8): 1-17.
- Eren, T., Akdaş, E. (2023). Devlet Tiyatroları Genel Müdürlüğü'nde Güvenlik Personeli Vardiya Çizelgelenmesi, Uluslararası İşletme Bilimi ve Uygulamaları Dergisi, 3(1): 1-18.
- Eren, T., Akgönül, R., Alakaş, H.M. (2022). Ergonomik Personel Çizelgeleme Problemi: Savunma Sanayinde Bir Uygulama, International Journal of Engineering Research and Development, 14(3): 43-68.
- Eren, T., Özder, E.H., Alakaş, H.M., Özcan, E. (2019). Kısıt programlama yaklaşımıyla güvenlik personeli çizelgeleme probleminin çözümü, Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi, 4(2): 16-25.
- Fei, L., Wang, Y., (2022). An optimization model for rescuer assignments under an uncertain environment by using Dempster-Shafer theory, Knowledge-Based Systems, 255, 109680.
- Gray, B., Eaton, J., Christy, J., Duncan, J., Hanna, F., Kasi, S., (2021). A proactive approach: Examples for integrating disaster risk reduction and mental health and psychosocial support programming, International journal of disaster risk reduction, 54, 102051.

- Kılıç, M., (2008). Afetlerde psikososyal hizmetlerin etkililiği: Türk Kızılayı ve 2005 Pakistan depremi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli, Kocaeli Üniversitesi.
- Koçak, M., Ekren, G., Yumuşak, R., Eren, T., Alakaş, H.M. (2023). Pandemi Sürecinde Hemşire Çizelgeleme Problemi için Çok Amaçlı Model Önerisi, *Konya Journal of Engineering Sciences*, 11(2): 391-407.
- Nayeri, S., Sazvar, Z., Heydari, J., (2022). A fuzzy robust planning model in the disaster management response phase under precedence constraints, *Operational Research*, 22: 3571-3605.
- Nolz, P.C., Semet, F, Doerner, K.F., (2011). Risk approaches for delivering disaster relief supplies, *OR Spectrum*, 33: 543-569.
- Oktar, M.N., Negiz, Z.U., (2023). Covid-19 Salgın Döneminde Psiko-Sosyal Destek Uygulamasında Aktif Çalışan Sosyal Hizmet Uzmanları Üzerine Nitel Bir Araştırma, *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 10(1): 246-276.
- Şahin, Ş., (2019). Türkiye’de afet yönetimi ve 2023 hedefleri, *Türk Deprem Araştırma Dergisi*, 1(2):180-196.
- Şavur, E., Arslan Tomas, S., (2010). Terör olayları sonrasında psikososyal destek hizmetleri, *Kriz Dergisi*, 18(1): 45-58.
- Taha A. H., (2015). Yöneylem Araştırması, Literatür Yayıncılık, Türkiye.
- Umeda M, Chiba R, Sasaki M, Agustini EN, Mashino S. (2020). A Literature Review on Psychosocial Support for Disaster Responders: Qualitative Synthesis with Recommended Actions for Protecting and Promoting the Mental Health of Responders. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(6).
- URL-1 <https://aile.gov.tr/sss/afet-ve-acil-durumlarda-psikososyal-destek> (Son Erişim: 14.05.2023)
- Varlı, E., Eren, T. (2017). Hemşire çizelgeleme problemi ve hastanede bir uygulama, *Academic Platform-Journal of Engineering and Science*, 5(1): 34-40.
- Varlı, E., Ergişi, B., Eren, T. (2017). Özel Kısıtlı Hemşire Çizelgeleme Problemi: Hedef Programlama Yaklaşımı, *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, (49): 189-206.
- Varlı, E., Turna, K., Eren, T., Gür, Ş. (2018). Personel yeterliliklerini dikkate alan hemşire çizelgeleme problemi çözümü, *Ekonomi İşletme ve Yönetim Dergisi*, 2(2): 156-175.



Doğal Afetlerin Tetiklediği Teknolojik Kazaların Risk Azaltma Kriterlerinin Anp Yöntemiyle Ağırlıklandırılması

Emel GÜVEN¹, Mehmet PINARBAŞI², Hacı Mehmet ALAKAŞ³, Tamer EREN⁴

¹Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale/TÜRKİYE; E-Mail; emel-gvn@hotmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6106-9720>

²Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale/TÜRKİYE;
E-Mail;mehmetpinarbası71@hotmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3424-2967>

³Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale/TÜRKİYE; E-Mail; hmalagas@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9874-7588>

⁴Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale/TÜRKİYE; E-Mail;tamereren@gmail.com,
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5282-3138>

Özet

Doğal afetlerin tetiklediği teknolojik kazalar Natech kazaları olarak tanımlanmaktadır. Doğal afetler kadar doğal afetler sebebiyle oluşabilecek teknolojik kazalar da canlı hayatında maddi ve manevi ciddi sıkıntılara sebep olabilmektedir. Ancak insanlarda bu durumun farkındalığı ne yazık ki henüz tam olarak oluşmamıştır. Bu çalışma Natural Hazard Triggered Technical Accidents (Natech) kazaları hakkında bilgi vermek ve Natech risklerini azaltma çalışmalarına yardım etmek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Çalışmada Natech kazalarında risk azaltma için 5 ana 14 alt kriter belirlenmiştir. Bu kapsamda kriterlerin risk azaltımındaki önem ağırlıkları Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerinden Analytic Network Process (ANP) yöntemi kullanılarak elde edilmiştir. Ana kriterler içerisinde önem ağırlığı olarak Bölgesel Veriler ve Risk kriterleri ilk sırada yer alırken, "Bölgedeki Mevcut Doğal Tehlikeler (BMDT)" alt kriteri alt kriterler arasında en yüksek önem ağırlığına sahip kriter olmuştur.

Anahtar Kelimeler: Afet Yönetimi, Natech Kazaları, ANP, ÇKKV

Weighting Risk Reduction Criteria For Technological Accidents Triggered By Natural Disasters Using ANP Method

Abstract

Technological accidents triggered by natural disasters are defined as Natech accidents. Technological accidents that may occur due to natural disasters as well as natural disasters can cause serious material and moral problems in life. However, unfortunately, people are not yet fully aware of this situation. This study was carried out to provide information about Natech accidents and to help Natech risk mitigation efforts. In the study, 5 main and 14 sub-criteria were determined for risk reduction in Natech accidents. In this context, the importance weights of the criteria in risk reduction were obtained by using Analytic Network Process (ANP) method, one of the Multi-Criteria Decision Making (MCDM) methods. While the Regional Data and Risk criteria ranked first in terms of importance weight among the main criteria, the sub-criterion "Existing Natural Hazards in the Region (ENHR)" had the highest importance weight among the sub-criteria.

Keywords: Disaster management, Natech Accidents, ANP, MCDM

1. Giriş

Afetler, insanların dünyada var olmasından bu yana karşılaştığı beklenmeyen ve kaçınılmaz olaylardır (İsbir ve Kaya, 2022). Afetler sonucunda fiziksel, sosyal ve ekonomik sorunlar ortaya çıkabilmektedir. Bu sorunlar maddi ve manevi olarak oldukça ciddi sonuçlar doğurmaktadır. Fiziksel zarar olarak ölen, yaralanan ve fiziksel zarar gören kişiler ile

fiziksel zarar gören yapılar söylenebilir. Dağılmış aileler, değişen günlük yaşam, afetzedelerin yaşadığı travmalar, değişen eğitim olanakları vb. olumsuzluklar da afetlerin neden olduğu sosyal sorunlar olarak nitelendirilebilir. Ekonomik sorunlar ise afetler sebebiyle oluşan tüm olumsuz maddi sonuçlardır (Yavuz ve Dikmen , 2015).

Afetlerin sebep olduğu zararları azaltmak için başlatılan çalışmalar afet yönetimi sürecini ortaya çıkarmıştır. Afet yönetimi, afetler sebebiyle ortaya çıkabilecek zararları önleyebilmek, azaltabilmek veya ortadan kaldırmak için risk analizi ve zarar azaltma, hazırlık, müdahale ve yeniden yapılandırma aşamaları kapsamında afetlerin yönetilmesidir (Şahin ve Üçgül, 2019). Etkili bir afet yönetim süreci için dört aşamanın da etkin ve doğru bir şekilde yönetilmesi gerekmektedir (Güven ve Eren, 2023) . Bu sayede gerçekleşebilecek afetler en az hasarla aşılabilecektir.

Oluş türlerine göre afetler teknolojik ve insan kaynaklı afetler ve doğal kaynaklı afetler olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Afetlerin risk ve zarar azaltımı için çalışmalar tüm afet türleri için gerçekleştirilmektedir. Afet yönetiminin ilk aşaması olan bu süreçte yasal düzenlemeler yapılır, mühendislik çalışmaları gerçekleştirilir ve mevcut durum analizleri yapılarak eksiklikler belirlenir. Ancak bu süreçlerde afetlerin sebebiyet vereceği teknolojik kazaların riski çoğu zaman göz ardı edilmektedir. Bu tür teknolojik kazalara Natech kazaları ismi verilmektedir. Natech kazalarının risklerinden bazı zamanlarda bahsedilmiş olsa da kazalarla ilgili etkin ve detaylı çalışmalara yer verilmemektedir. Natech riskleri için alınacak önlemler de afet yönetimi sürecinin önemli bir parçasıdır. Son yaşanan depremler ile birlikte, kritik altyapı ve endüstriyel tesisler için ciddi zarar potansiyeli oluşturacak kapasiteye sahip doğal veya teknolojik kaynaklı afetlerin sayısında önemli bir artış olduğu gözlemlenmektedir (Nascimento ve Alencar, 2016). Bu durum Natech risklerini de doğru orantılı olarak etkileyecek ve risk artışları oluşacaktır. Dolayısıyla Natech risk kriterlerinin değerlendirilmesi ile ilgili yapılacak çalışmalar güncellenerek çoğaltılmalıdır.

1970'lerin sonunda incelenmeye başlanan Natech kazaları doğal afetler tarafından tetiklenen teknolojik kazalar olarak adlandırılır (Cruz ve Suarez-Paba, 2019). Petrol ve gaz boru hatları, nükleer tesisler, kimyasal tesisler, endüstriyel tesisler gibi teknolojik sistemler, doğal afetlerin etkilerine ve zararlarına karşı savunmasızdır. Doğal afetler sebebiyle oluşabilecek etkiler tesislerde yangınları, patlamaları ve kimyasal madde salınımlarını tetikleyebilmektedir. Bu olaylar ise sosyal, çevresel ve ekonomik sonuçlar doğurmaktadır. Başka bir perspektiften ise bu olayların maddi ve manevi zararlar oluşturduğu da söylenebilir.

Natech kazalarının olma olasılığı ve oluşturabileceği zararlar ile ilgili çalışmaların son dönemlerde önemi giderek artmaktadır. Bu risk ile ilgili olarak en zorlu durum riskin tahmin edilemediği düşüncesiyle herhangi bir önlemin alınmamasıdır. Bu sebeple Natech ile ilgili konularda yapılacak çalışmalar geliştirilerek doğal afetler de yapıldığı gibi risk analizi ve azaltma çalışmalarının yapılması sağlanmalıdır.

Bu çalışma kapsamında Natech risk azaltma kriterleri üzerinde durulmuştur. Bu kriterler literatür taraması sonucunda elde edilmiştir. Elde edilen kriterler ÇKKV yöntemi kullanılarak ağırlıklandırılmıştır. Burada amaç Natech risklerinin azaltılması için dikkat edilmesi gereken noktaları belirleyebilmektir. Bu sayede önlem alınması gereken durumda kriter ağırlıkları göz önünde bulundurularak risk azaltma çalışmaları için yol haritası çizilebilir. İncelenen literatür kapsamında Natech risk azaltma kriterlerini ayrıca ele alarak ağırlıklandırılmasında ÇKKV yöntemlerini kullanan bir çalışmaya rastlanmamıştır. Çalışma bu noktada literatüre katkı sağlayacaktır.

Bu bölümden sonraki çalışma içeriği şu şekilde organize edilmiştir. Çalışmanın ikinci bölümünde Natech kazaları hakkında bilgi verilirken üçüncü bölümde gerçekleştirilen literatür çalışmasına yer verilmiştir. Dördüncü bölümde problem çözümünde kullanılan yöntem aşamaları anlatılmıştır. Beşinci bölümde ele alınan problem uygulamasına yer verilmiş son bölümde ise sonuçlar değerlendirilmiştir.

2. Natech Kazaları

Gerçek hayatta doğal afetlerin oluşması kadar teknolojik afetlerle de karşı karşıya kalınmaktadır. Büyük endüstriyel kazalar teknolojik afetler içerisinde önemli bir payı oluşturmaktadır. Teknolojik kazalar kendiliğinden veya bir doğal afetin tetiklemesiyle oluşabilmektedir. Kendiliğinden oluşabilecek büyük endüstriyel kazalar için 2019 yılında resmî gazetede yayımlanan “Büyük Endüstriyel Kazaların Önlenmesi ve Etkilerinin Azaltılması Hakkında Yönetmelik” kapsamında kazaların önlenmesi ve risk azaltımı için yapılacak raporlanmıştır. Ayrıca 1976 yılında İtalya'nın Seveso kasabasında gerçekleşen kaza sonrasında endüstriyel kazaları önlemek amacıyla direktifler geliştirilmiştir. Güncel haliyle Seveso III direktifleri dahilinde çalışmalar yapılmaktadır. Ülkemizde de bu direktiflere uygun şekilde endüstriyel kazaların kayıtları sistemli bir şekilde tutulmaktadır (Gün, 2017).

Tehlikeli endüstrilerin ve kritik altyapıların doğal tehlikelere eğimli olduğu alanlarda bulunduğu her yerde Natech riskleri mevcuttur. Geçmiş deneyimler Natech kazalarının her türlü doğal tehlike tarafından tetiklenebileceğini bildirmektedir (Krausmann vd., 2019).

Natech olayları doğal ve insan sistemlerinin alanlarını etkilemektedir. Peş peşe gelen etkiler, kritik altyapılara zarar vererek büyük felaketlere sebep olabilirler. Bu duruma örnek olarak bir depremin rafinerilerde büyük nükleer kazalar oluşturması, petrokimya ve diğer endüstriyel tesislerde patlama ve yangınlara neden olması verilebilir (Wang, Cai, and Wei 2022).

Geçmişte yaşanan kazalara bazı örnekler verilebilir. 11 Mart 2011 tarihinde gerçekleşen Tohoku depremi sonrasında nükleer güç istasyonu zarar görmüş ve reaktörün eriyip radyoaktif maddelerin ortaya çıkmasına neden olmuştur (Wang vd., 2022). 2005-2006 yıllarında Amerika Birleşik Devleti'nde meydana gelen Rita ve Katrina kasırgaları sebebiyle

gaz tesislerinden ve deniz petrol tesislerinden 600'den fazla kimyasal madde salınımı olmuştur (Cruz ve Krausmann, 2009). Türkiye'de 17 Ağustos 1999 yılında meydana gelen Kocaeli depreminde TÜPRAŞ rafinerisinde büyük bir yangın çıkmış ve AKSA akrilik fiber üretim tesisinde akrilonitril sızıntısı oluşmuştur (Girgin 2011). Yine Türkiye'de 06.02.2023 yılında Kahramanmaraş'ta gerçekleşen depremde Hatay ili de etkilenmiş ve İskenderun limanında kimyasal döküntüler sebebiyle büyük bir yangın çıkmıştır.

Doğal afetler için risk azaltma çalışmaları gerçekleştirilmektedir. Ancak doğal afetler sebebiyle oluşabilecek Natech kazaları çoğunlukla göz ardı edilmektedir (Güven vd., 2023). Bu durum oluşabilecek risk azaltma çalışmalarının da önüne geçmektedir. Öngörülemeyen kazalar canlı hayatında maddi ve manevi olarak ciddi hasarlara yol açmaktadır. Natech kazalarını en aza indirmek ya da engelleyebilmek için risklerin ne olduğunun farkına varılmalı ve daha sonra risk azaltma önlemleri için çalışmalar başlatılmalıdır.

3. Literatür Taraması

Literatürde Natech kazalarını farklı yönleriyle ele alan çalışmalar mevcuttur. Bunları; Natech kazalarına örnek veren çalışmalar, kazaların altında yatan sebepleri ele alan çalışmalar, gerçekleşen ve gerçekleşebilecek kazaların tanımlanması, Natech risk değerlendirmesi kapsamındaki risk odaklı çalışmalar vb. olarak sıralayabiliriz.

Girgin (Girgin, 2011), 17 Ağustos 1999 depremi sonrasında meydana gelen Kocaeli'nde bulunan TÜPRAŞ rafinerisindeki büyük yangını ve AKSA akrilik fiber üretim tesisindeki akrilonitril sızıntısını inceleyerek Natech risklerinin önemini vurgulamıştır.

Renni vd. (2010), Natech olayları ile ilgili risk değerlendirmesi için ekipman öğelerinin olası yapısal hasar modlarının tanımlandığı ve güvenilir sonuç senaryolarının ilişkilendirilmesine olanak sağlayan bir metodoloji sunmuşlardır.

Krausmann vd. (2011), Natech kazaları altında yatan sebepleri anlamaya çalışarak Natech riskini değerlendirmek için Avrupa FP7 projesi iNTeg-Risk kapsamındaki risk değerlendirmesi, riske dayalı tasarım ve acil durum planlaması ve erken uyarı sistemlerinde devam eden çabaları ele alan bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Nascimento ve Alencar (2016), Natech kazalarıyla ilgili çalışmalar için 2000 ile 2015 yılları arasında yayınlanan belirli makalelerin anketine dayalı analiz sunan sistematik bir literatür incelemesi yapmışlardır.

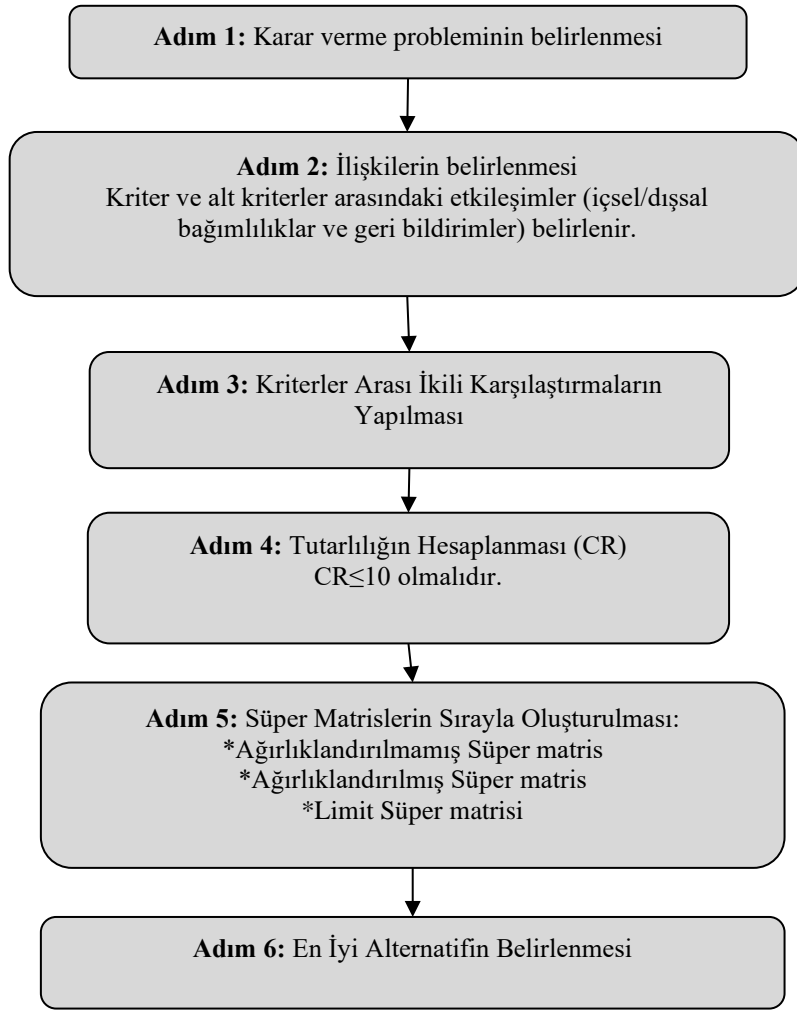
Krausmann vd. (2019), Natech risk faktörlerini ayrıntılı olarak ele almışlardır. Çalışmada Avrupa Birliği'nde ve uluslararası düzeyde Natech risk yönetimi için mevcut araçlara örnekler verip bir ülkenin Natech riskini azaltma düzeyine yardımcı olacak bazı temel göstergeler sunmuşlardır. Missouri vd., (2021), Natech kazalarının son zamanlarda artmasından kaynaklı risklerin nicel değerlendirmesini ele alabilmek için kapsamlı bir metodoloji geliştirmişlerdir. Bu metodolojiyi geliştirirken özellikle doğal tehlikelerin etkisiyle güvenlik bariyerlerinin performansında oluşan değişikliğin etkisini ele almışlardır.

Wang vd., (2022), Natech kazalarındaki belirsizliklere geleneksel Bayes Ağı yerine kanıt teorisiyle birleşmiş bir Bayes Ağı önermişlerdir. Böylelikle verilerin yetersiz olduğu kazalardaki Natech kazalarının etki ve hasarını değerlendirmeyi mümkün kılmıştır. Paba ve Cruz (2022), kapsamlı bir alanı olan risk yönetimi ve derecelendirme sistemi çevresi olan Natech RateMe metodolojisini önermişlerdir. Bu olasılıksal risk değerlendirmesi metodolojisi endüstriyel tesislerin karmaşık olaylardan kaynaklanan saha içinde ve saha dışında risk yönetimini destekleyebilmekte ve performanslarını minimum yaşam kayıpları açısından derecelendirebilmektedir.

Gerçekleştirilen literatür araştırması dahilinde son zamanlarda Natech kazalarının riskleri ve nedenlerinin araştırıldığı gözlemlenmiştir. Ancak Natech azaltma risk kriterlerini ele alarak ÇKKV yöntemiyle kriter değerlendirmesi yapan bir çalışmaya rastlanmamıştır. Natech risklerinin belirlenip azaltılmasında dikkat edilecek kriterlerin önem ağırlıklarını tespit etmek bu konuda izlenecek doğru bir yol haritası oluşturabilecektir. Çalışmanın bu noktada literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

4. ANP Yöntemi

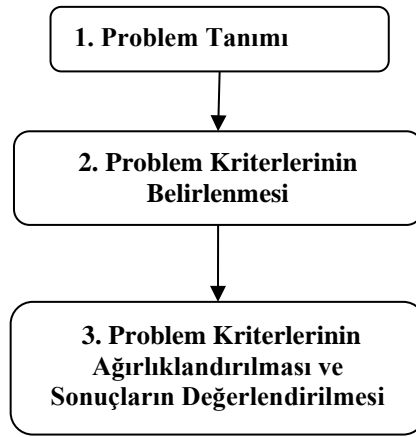
Analytic Network Process (ANP) yöntemi, sayısal faktörlerin ifade edilemediği zamanlarda da iyi bir çözümleyici olarak kullanılabilir (Yaralıoğlu, 2010). ANP yöntemi ile kriterler ve alt kriterler arasındaki bütün ilişkiler dikkate alınır. Yöntem bu yönüyle daha etkin sonuçlara ulaşma olanağı sağlar (Oral vd., 2021). Yapısal olarak Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yöntemi ile benzerlik gösterir ancak ANP de model ağ modeli şeklinde kurulur. Kurulan ağ yapısı sayesinde kriterler arasındaki ilişkiler ortaya konmaktadır (Özder vd., 2019). Ayrıca AHP yöntemi ile çözülebilen karar verme problemlerinden daha karmaşık olanlara uygulanabilmektedir. ANP yönteminin adımları Şekil 1'de verilmiştir (Özcan vd., 2017). Adım 1'de karar verme problemi belirlendikten sonra Adım 2'ye geçilir ve problem için belirlenen ana kriter ve alt kriterler arasındaki kriter ilişkileri oluşturulur. Daha sonra kriterlerin ikili karşılaştırması Adım 3'te gerçekleştirilir. Yapılan bu işlemlerin tutarlılığının ölçülebilmesi için Adım 4'te tutarlılık oranı (CR) hesaplanır. Tutarlılık oranının $CR \leq 0,10$ olması gerekmektedir. Bulunan sonuç $0,10$ 'dan küçük ise problem çözümünün tutarlı olduğu kabul edilir. Adım 5'te Süper matrisler sırasıyla Ağırlıklandırılmamış, Ağırlıklandırılmış ve Limit Süper Matris olmak üzere oluşturulur. Son adım olan Adım 6'da ise en iyi alternatifler seçilir.



Şekil 1. ANP Yöntemi Adımları (Ünlüsoy vd., 2017)

5. Uygulama

Literatürde yapılan çalışmalar sonrasında Natech riskleri ile ilgili çalışmaların yükselen bir seyir izlediği görülmektedir. Bu noktada risklerinin azaltılması için ele alınacak kriterlerin ağırlıklandırılması ve öneminin belirlenmesi önemli bir noktayı oluşturmaktadır. Ancak bu önemli noktaya değinen Natech kriterlerinin ağırlıklandırıldığı bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışmada başlangıç noktası olarak azaltma kriterlerinin ağırlıklandırılması yapılmıştır. Bu kapsamda öncelikli olarak problemin tanımı yapılacaktır. İkinci aşamada ise problemin kriterleri belirlenecektir. Problem kriterleri gerçekleştirilen literatür taramaları sonucunda oluşturulmuştur. Kriterlerin belirlenmesinin ardından üçüncü aşamada ise problem kriterleri uzmanlar tarafından ikili olarak karşılaştırılmış ve kriter ağırlıkları elde edilerek sonuçlar değerlendirilmiştir. Karşılaştırmayı gerçekleştirmek üzere 4 uzman ile görüşülmüştür. Görüşüne başvurulmuş uzmanlar afet yönetimi, iş sağlığı ve güvenliği, afet riskleri, konusunda çalışan ve afet çalışmalarında sahalarda görev yapan personellerden oluşmaktadır. Gerçekleştirilecek uygulama için takip edilecek olan problem akış şeması Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. Problem Akış Şeması

5.1. Problem Tanımı

Doğal afetlerin sebep olduğu endüstriyel kazalar olabilmektedir. Bu olaylara Natech olayları denir. Natech risklerinin hafifletilebilmesi için bu konuda farkındalığın olması ve risk azaltma çalışmalarının yapılması gerekmektedir. Bu kapsamda risklerin azaltılabilmesi için gerekli olan kriterlerin önem ağırlıkları tespit edilmek istenmiştir. Gerçekleştirilen literatür taraması sonucunda 5 ana 14 alt kriter belirlenmiştir. Kriter belirlemede Krausmann vd. (2019), Krausmann vd. (Elisabeth Krausmann 2010), Girgin (Girgin 2011), Wang vd. (Wang, Cai, and Wei 2022) ve Krausmann vd. (2011) çalışmalarından yararlanılmıştır. Bu kriterlerin birbirini etkilediği de düşünülerek kriter ağırlıklarının bulunması için ANP yöntemi tercih edilmiştir.

5.2. Problem Kriterlerinin Belirlenmesi

Problem çözümünde kullanılacak kriterler literatür taraması sonucunda belirlenmiştir. Belirlenen kriter açıklamaları ve Natech olayı olarak endüstriyel kaza olması durumunda veri alınacak birimlerin bilgisi Tablo 1’de verilmiştir. Birinci sütunda ana kriterler yer almaktadır. İkinci sütunda alt kriter açıklamalarına ve kısaltmalarına yer verilmiştir. Üçüncü sütunda ise analizlerin yapılabilmesi için gerekli verilerin nasıl veya nereden elde edilebileceği bilgisi yer almaktadır.

Tablo 1. Kriter Açıklamaları

Ana Kriterler	Alt Kriterler	Veri Toplama
A. Eğitim	Risk farkındalığı (RF): Tesislerin oluşabilecek doğal afetlere karşı savunmasızlığını fark etmeleri için daha çok eğitim ve bilinçlendirme çalışmalarının yapılması	İşletme Çalışanları /Anket vb.
	Natech risk eğitimi (NaRE): Natech risklerine hazırlık ve risklerin azaltılmasına yönelik eğitilmiş birimlerin olması	İşyeri ilgili eğitim birimi
B. Bölgesel Bilgiler	Bölgedeki doğal tehlikeler (BMDT): Bölgede oluşması muhtemel doğal tehlikeler, şiddetleri ve etkileri	AFAD
	Arazi kullanım planlaması (AKP): En uygun arazi kullanım alternatiflerinin belirlenmesi ve uygulamaya geçirilmesi için alternatiflerin fiziksel, sosyal ve ekonomik olarak değerlendirilmesi	İşyeri ilgili birimi
	Tahliye planı (TP): Natech riski bulunan alanlar için tahliye planlarının bulunması	İşyeri ilgili birimi
	Acil yardım kaynakları (AYK): İlk seferde seferber edilebilecek acil yardım malzemeleri, acil yardım ekipmanı ve acil kurtarma ekibi ile çevre illerden sağlanabilecek acil durum kaynaklarının var olması	İşyeri ilgili birimi

Tablo 1 Devam. Kriter Açıklamaları

Ana Kriterler	Alt Kriterler	Veri Toplama
C. Ekipman	Ekipman güvenliği (EG): Endüstriyel tesislerde kullanılan ekipmanların dış tehlikelere karşı güvenlik açıklarının olmaması	İşyerinde ekipmanlara ait ekipman kontrol raporu
	Erken uyarı sistemi (EUS): Bir kazayı önlemeye veya hafifletmeye yönelik eylemleri uygulamak için zaman sağlayan erken uyarı sisteminin bulunması	İşyeri yetkilisi
	Söndürme Ekipmanları (SS): Yangın tehlikesine karşı yangın söndürme tüpü, yangın hidrantı, yangın topu, sulu söndürme sistemleri (sprinkler) vb. ekipmanların bulunması	İşyeri yetkilisi
D. Mevcut Veriler	Risk azaltımı için yasal düzenlemeler (RAİYD): Natech riskini dikkate alan mevzuatın bulunması ve Natech risk yönetimine ilişkin rehberlik çalışmalarının olması, doğru analiz ve risk değerlendirmesi için yönergelerin bulunması	Yönetmelikler, AFAD, İRAP, TAMP
	Kaza verilerinin mevcut olması (KVMO): Geçmişte gerçekleşen Natech olaylarının, doğal afetleri ve endüstriyel kazaların verilerinin toplanması	İşyeri ilgili birimi
E. Risk	Natech risk değerlendirmesi (NaRD): Natech risklerinin değerlendirildiği nitel veya nicel bir risk değerlendirmesinin bulunması	İşyeri ilgili birimi
	Natech risk haritaları (NaRH): Natech risklerinin olaylara özgü otomatik oluşturulan senaryolar ile hızlı ve kolay bir şekilde değerlendirilmesiyle elde edilen risk haritalarının bulunması	İşyeri ilgili birimi
	Risk iletişim ağı (RIA): Natech risklerine ilişkin bilgilerin birimler arasında serbestçe ve etkin bir şekilde akmasını sağlamak için endüstride ve hükümetin tüm düzeylerinde (ulusal, bölgesel ve yerel) iletişim geliştirilmesi	İşyeri bölümleri, komşu işyerleri

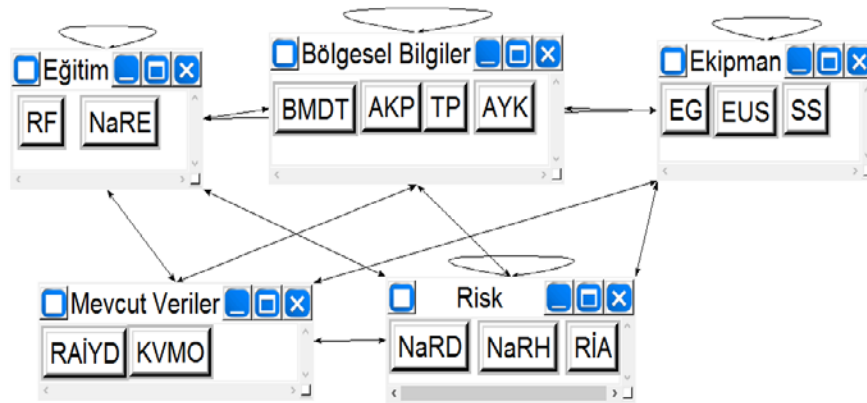
5.3. Kriterlerin ANP Yöntemi ile Ağırlıklandırılması ve Sonuçların Değerlendirilmesi

Natech risklerinin hafifletilebilmesi için elde edilen kriterlerin ağırlıklarının elde edilmesi için ANP yöntemi kullanılmıştır. Yöntem kullanılırken uzman görüşleriyle 5 ana kriter ve 14 alt kriterin birbiriyle olan ilişkisini ortaya koyan bir ağ yapısı oluşturulmuştur. Değerlendirmeyi yapan uzmanlara ait bilgiler Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Uzman bilgisi

Uzman	Pozisyon	Meslek	Deneyim (Yıl)
1	Profesör	Mühendis-Akademisyen	27
2	Yönetici	Mühendis	15
3	Uzman	Mühendis	12
4	Uzman	Mühendis - AFAD Gönüllüsü	8

Ağ yapısı oluşturulurken ve problem sonucu elde edilirken “Super Decisions” programından yararlanılmıştır. Program aracılığıyla oluşturulan ağ yapısının görüntüsü Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. Problem Ağ Yapısı

Problem ağ yapısının oluşturulmasının ardından yapılan ANP hesaplamaları sonucunda elde edilen kriter ağırlıkları Tablo 3 'de verilmiştir. Tablonun ilk sütununda ana kriterler yer almakta olup parantez içerisinde ana kriterlerin toplam kriterler içerisindeki ağırlıkları verilmiştir. İkinci sütunda alt kriterler yer almaktadır. Üçüncü sütunda alt kriterlerin dahil olduğu ana kriter içerisindeki ağırlıkları verilmiştir. Her bir alt kriterin dahil olduğu ana kriter içerisindeki ağırlığını göstermektedir. Örneğin “EG” alt kriteri “Ekipman” ana kriterinin 0,483’ünü, “EUS” alt kriteri “Ekipman” ana kriterinin 0,339’unu ve “SS” alt kriteri ise “Ekipman” ana kriterinin 0,178’ini oluşturmaktadır. Son sütunda ise genel alt kriter ağırlıkları verilmiştir. Bir alt kriterin 14 alt kriter içerisindeki ağırlığını vermektedir. Örneğin “BMDT” alt kriterinin 14 alt kriter içerisindeki ağırlığı 0,121’dir.

Tablo 3. Ana ve Alt Kriter Ağırlıkları

Ana Kriterler	Alt Kriterler	Alt Kriterlerin Dahil Olduğu Ana Kriter İçerisindeki Ağırlığı	Genel Alt Kriter Ağırlıkları
A. Eğitim (0,182)	RF	0,450	0,082
	NaRE	0,550	0,100
B. Bölgesel Veriler (0,241)	BMDT	0,503	0,121
	AKP	0,191	0,046
	TP	0,228	0,055
	AYK	0,078	0,019
C. Ekipman (0,199)	EG	0,483	0,096
	EUS	0,339	0,067
	SS	0,178	0,035
D. Mevcut Veriler (0,137)	RAİYD	0,851	0,116
	KVMO	0,149	0,020
E. Risk (0,241)	NaRD	0,421	0,102
	NaRH	0,420	0,101
	RİA	0,159	0,038

Tablo 3’te verilen değerlere göre ana kriter olarak bakıldığında Bölgesel Veriler = Risk > Ekipman > Eğitim > Mevcut Veriler olarak elde edilmiştir. Natech risklerinin hafifletilebilmesi için bölgesel verilerin bilinmesi ve risklerin belirlenmesi oldukça önemli bir noktadır. Bu durumda iki ana kriterin ilk sırada yer alması gerçek hayat ile uyumlu sonuç oluşturmıştır. Aynı şekilde Mevcut Veriler kriteri risk hafifletilmesinde bilinmesi gerekse de direk alınan ve müdahale edilmesi zor olan kriterler olması sebebiyle son sırada yer alması beklenen bir sonuç olmuştur.

Alt kriter ağırlıklarına bakıldığında ise hem alt kriterlerin dahil olduğu ana kriter altındaki hem de genel alt kriter ağırlıkları elde edilmiştir. Eğitim ana kriteri altında bulunan RF ve NaRE kriterler birbirine yakın sonuçlar ortaya çıksa da NaRE > RF sonucuna ulaşılmıştır. Bölgesel veriler içerisinden BMDT yaklaşık 0,503 gibi bir oranla ilk sırada yer almıştır. Bölgede mevcut olarak bulunan tehlikeler Natech riskinin hafifletilmesi için bilinmesi gereken bilgi kaynağını ifade etmektedir. Bu noktada BMDT alt kriterinin hem bulunduğu ana kriter içerisinde hem de tüm alt kriterler

içerisinde ilk sırada yer alması problemin kaynağında çalışma başlatılması adına doğru bir sonuç olmuştur. AYK ise hem bulunduğu ana kriter içerisinde hem de genel alt kriterler içerisinde son sırada yer almaktadır. Bunun sebebi acil yardım kaynaklarının belirlenen diğer kriterler içerisinde önem olarak doğrudan değil dolaylı sayılabilecek bir etkisinin olmasıdır. Ekipman ana kriteri içerisindeki sıralama EG> EUS> SS şeklinde olmuştur. Ekipman güvenliği ve erken uyarı sisteminin kullanım alanının söndürme sistemlerinden fazla olması sebebiyle ağırlıkları daha yüksek çıkmıştır. Mevcut veriler ana kriteri içerisinde RAIYD 0,851 oranıyla ilk sırada yer almaktadır. Risk azaltımı için yasal düzenlemeler Natech risklerini hafifletmede önemli bir yere sahiptir. Bu önem RAIYD alt kriterini genel alt kriter ağırlıkları içerisinde de ikinci sıraya taşımıştır. Son ana kriter içerisinde NaRD ve NaRH birbiriyle neredeyse aynı değerleri almışlardır. Risk değerlendirmesinin yapıp risk haritalarının oluşturulması Natech risk hafifletme çalışmalarının yürütümü için önemli bir aşamadır. Bu iki kriter aynı zamanda genel alt kriter ağırlıkları içerisinde de sırasıyla 3. ve 4. olmuştur.

6. Sonuç

Afetler çoğu zaman beklenmedik zamanlarda meydana gelir. Afet sonucunda beklenen ve beklenmeyen sonuçlar ortaya çıkabilir. Genel olarak göz ardı edilen ya da üzerinde düşünülmemeyen noktalardan bir tanesi de afetler sonrası oluşabilecek teknolojik kazalardır. Afetler sebebiyle oluşan bu teknolojik kazalar Natech kazaları olarak ifade edilmektedir.

Natech kazaları son dönemlerde önemi fark edilen ve dikkate alınmaya başlayan konulardan birisi olmuştur. Bu kazalardan kaynaklanan zararları azaltmak hatta engellemek için tıpkı afetlerde olduğu gibi risk analizi ve zarar azaltma çalışmaları yapılmalıdır. Bu sayede ortaya çıkacak zararların etkisini azaltma hedefleri yerine getirilebilecektir.

Bu çalışma kapsamında Natech risk kriterleri ele alınmış ve ÇKKV yöntemiyle ağırlıklandırılmıştır. Risk kriterleri literatür taraması sonucunda 5 ana kriter 14 alt kriter olarak belirlenmiştir. Ana kriterler arasında Bölgesel veriler ve Risk kriterleri eşit oranla ilk sırada yer almıştır. Risk azaltma stratejileri belirlenirken bölgesel veriler ve risk kriterleri öncelikli tutulmalıdır. Alt kriter arasında ise BMDT kriteri ilk sırada yer almıştır. Bölgedeki mevcut doğal tehlikelerin belirlenmesi risk kaynaklarının belirlenmesinin temelini oluşturmaktadır. Natech risk azaltımı için gerçekleştirilecek çalışmalarda öncelikli olarak bölge incelenmeli ve mevcut doğal tehlikelerin analizi yapılmalıdır. İkinci sırada ise RAIYD alt kriteri yer almaktadır. Tehlike kaynaklarının belirlenmesinin ardından risk azaltımı için yasal düzenlemeler yapılmalıdır. Bu şekilde alınacak önlemler yasal yönden de desteklenmiş olacaktır. AYK kriteri ise alt kriterlerin birbiri arasında elde edilen ağırlığa göre son sırada yer almaktadır. Acil yardım kaynakları riskler, kaynaklar, önlemler ve yöntemler belirlendikten sonra son aşamada gerekli olan ekipmanların belirlenmesini temsil etmektedir. Bu noktada bu kriterin son sırada yer alması da makul bir sonuç olmuştur. Elde edilen sonuçların gerçek hayat düzenine uygun sonuçlar olduğu gözlemlenmiştir. Sonuçlar içerisinde yer alan kriterler elde edilen ağırlıklarına göre ana kriterlerin sıralamasına göre veya alt kriterler sıralamasına göre değerlendirilerek iki tür çalışma sistemi oluşturulabilir. Bu çalışma Natech risklerini azaltabilmek için yapılacak çalışmalar için bir yol haritası oluşturacaktır.

Gelecekte elde alınan kriterler artırılabilir, Natech kazalarıyla ilgili risk değerlendirme çalışmaları yapılabilir. Dilsel ve öznel ifadelerin dikkate alındığı bulanık yaklaşımlardan yararlanılarak çözümler yapılabilir. Mevcut bulunan risk değerlendirmeleri ve risk yönetim stratejileri arasından alternatif seçimleri yapılabilir. Natech kazalarıyla ilgili çalışmalar detaylandırılarak literatüre katkılar sağlanabilir.

Etik Beyanı

Bu makalenin yazarları, bu çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve / veya yasal-özel izin gerektirmediğini beyan etmektedir.

Yazar katkısı

Yazar 1 bilimsel yayın araştırması, problem tanımı, yöntemin uygulanması ve çözümü, rapor yazımı, Yazar 2 makale sıralamasının oluşumu, rapor yazımı kontrolü, Yazar 3 genel makale incelemesi ve süreç yönetimi, Yazar 4 çalışma planının oluşturulması ve süreç yönetimi konusunda katkı sağlamıştır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma YÖK 100/2000 projesi kapsamında yazılmıştır.

Benzerlik oranı: %4

KAYNAKÇA

- Cruz, A. M., and E. Krausmann. 2009. "Hazardous-Materials Releases from Offshore Oil and Gas Facilities and Emergency Response Following Hurricanes Katrina and Rita." *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 22 (1). Elsevier Ltd: 59–65. doi:10.1016/j.jlp.2008.08.007.
- Cruz, A. M., and Suarez-Paba, M.C. 2019. "Advances in Natech Research: An Overview." *Progress in Disaster Science Journal* 1. Elsevier Ltd: 1–7. doi:10.1016/j.pdisas.2019.100013.
- Girgin, S. 2011. "The Natech Events during the 17 August 1999 Kocaeli Earthquake: Aftermath and Lessons Learned." *Natural Hazards and Earth System Science* 11 (4): 1129–40. doi:10.5194/nhess-11-1129-2011.
- Güven, E., ve Eren, T. 2023. "İl Afet Risk Azaltma Planı Çerçevesinde ANP Yöntemi İle Kriter Ağırlıklandırma : Kırıkkale İli İçin Bir Örnek." *Afet ve Risk Dergisi* 6 (2): 401–14. doi:10.35341/afet.1194357.
- Güven, E., Pınarbaşı, M.,Alakaş H.M., and Eren, T. (2023) Doğal Afetlerin Tetiklediği Teknolojik Kazaların Risk Azaltma Kriterlerinin Anp Yöntemiyle Ağırlıklandırılması. Yönetim Araştırmaları / Mühendislik Uygulamaları Sempozyumu (Yönar/Mu'2023)-İstanbul-Türkiye
- İşbir, B., ve Kaya, A. 2022. "Güvenlik ve Acil Durum Koordinasyon Merkezi (GAMER) ve Yapay Zekânın Afetlerde Uygulanabilirliği." *Afet ve Risk Dergisi* 5 (2): 601–22. doi:10.35341/afet.1102768.
- Krausmann, E., V. Cozzani, E. Salzano, and E. Renni. 2011. "Industrial Accidents Triggered by Natural Hazards: An Emerging Risk Issue." *Natural Hazards and Earth System Science* 11 (3): 921–29. doi:10.5194/nhess-11-921-2011.
- Krausmann, E.. 2010. "AB'de Natech Risk Azaltma Analizi Anket Anketi Kullanan Üye Devletler."
- Krausmann, E., Girgin, S., and Necci, A. 2019. "Natural Hazard Impacts on Industry and Critical Infrastructure: Natech Risk Drivers and Risk Management Performance Indicators." *International Journal of Disaster Risk Reduction* 40 (February). Elsevier Ltd: 101163. doi:10.1016/j.ijdr.2019.101163.
- Nascimento, K. R. DS., and Alencar, M.H. 2016. "Management of Risks in Natural Disasters: A Systematic Review of the Literature on NATECH Events." *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 44. Elsevier Ltd: 347–59. doi:10.1016/j.jlp.2016.10.003.
- Oral, N., Yumuşak, R., and Eren, T. 2021. "AHP ve ANP Yöntemleri Kullanılarak Tehlikeli Madde Depo Yeri Seçimi: Kırıkkale İlinde Bir Uygulama." *Bilim. Derg. / NOHU J. Eng. Sci* 10 (1): 115–24. doi:10.28948/ngmuh.744734.
- Özcan, E., Ünlüsoy, S., and Eren, T. 2017. "Anp ve Topsis Yöntemleriyle Türkiye Yenilenebilir Enerji Yatırım Alternatiflerinin Değerlendirilmesi." *Selcuk University Journal of Engineering ,Science and Technology* 5 (2): 204–19. doi:10.15317/scitech.2017.82.
- Özder, E.H., Özcan, E., and Eren, T. 2019. "Staff Task-Based Shift Scheduling Solution with an ANP and Goal Programming Method in a Natural Gas Combined Cycle Power Plant." *Mathematics* 7 (2). doi:10.3390/math7020192.
- Renni, E., Basco, A., Busini, V., Cozzani, V., Krausmann, E., Rota, R., and Salzano, E. 2010. "Awareness and Mitigation of NaTech Accidents: Toward a Methodology for Risk Assessment." *Chemical Engineering Transactions* 19 (January): 383–89. doi:10.3303/CET1019063.
- Suarez-Paba, M. C., and Cruz, A.M. 2022. "A Paradigm Shift in Natech Risk Management: Development of a Rating System Framework for Evaluating the Performance of Industry." *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 74. Elsevier Ltd: 1–10. doi:10.1016/j.jlp.2021.104615.
- Wang, Q., Cai, M., and Wei, G. 2022. "A Scenario Analysis under Epistemic Uncertainty in Natech Accidents: Imprecise Probability Reasoning in Bayesian Network." *Environmental Research Communications* 4 (1). IOP Publishing. doi:10.1088/2515-7620/ac47d4.
- Yaralıoğlu, K. 2010. *Karar Verme Yöntemleri*. Ankara: Detay Yayıncılık.
- Yavuz, A., ve Dikmen, S. 2015. Doğal Afetlerin Zararlarının Finansmanında Kullanılan Afet Öncesi Finansal Araçlar. *Marmara Üniversitesi Siyasal Bilimler Dergisi*, 3(2), 303-322. doi: 10.14782/sbd.2015216101



İklim Değişikliğinin İç Anadolu Bölgesi Kuraklık Koşullarına Etkisinin İncelenmesi

Gülten ÇAMALAN¹, Kahraman OĞUZ², Sercan AKIL³

¹Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Araştırma Dairesi Başkanlığı; gcamalan@mgm.gov.tr; 0000-0001-7598-9771

²Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Araştırma Dairesi Başkanlığı; koguz@mgm.gov.tr; 0000-0001-5305-6145

³Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 9. Bölge Müdürlüğü; sakil@mgm.gov.tr; 0000-0003-0988-7528

Özet

Doğal afetler tarih boyunca insan yaşamında önemli bir yer tutmuştur. Bu afetlerin geniş kitleleri etkileyen en önemlilerinden birisi kuraklıktır. Türkiye'nin de içerisinde yer aldığı Akdeniz Havzası, iklim değişikliğine en hassas bölgelerden birisidir. Türkiye'de sıcaklık artışı ve düzensiz yağış değişiklikleri ile birlikte, yaşanması muhtemel kuraklıkların şiddet, süre ve sıklığının artacağı ve kuraklığın etkilerinin gelecekte daha da fazla hissedileceği öngörülmektedir. Karasal iklim özelliklerinin hakim olduğu İç Anadolu Bölgesi, kuraklıktan en fazla etkilenen bölgelerden birisidir. Bu çalışmada, İç Anadolu Bölgesi'nin meteorolojik değişkenlere (yağış, sıcaklık) bağlı olarak kuraklık olaylarının özellikleri (şiddet-süre-yoğunluk), yıllık ve mevsimsel değişimleri, kuraklaşma eğilimi ve iklim değişikliğinin kurak koşullar üzerindeki etkileri standartlaştırılmış yağış evapotranspirasyon indeksi ve standartlaştırılmış yağış indeksi yöntemleriyle değerlendirilmiştir. Bölgeyi temsil eden uzun süreli aylık toplam yağış ve aylık ortalama sıcaklık ölçümlerine sahip 26 meteoroloji gözlem istasyon verisi ile Meteoroloji Genel Müdürlüğü bünyesinde üretilen 20 km çözünürlüklü HadGEM2-ES bölgesel iklim projeksiyon verileri kullanılmıştır. Sonuç olarak, Türkiye geneli ortalama sıcaklıklar göz önüne alınarak incelendiğinde, 1994 yılından itibaren bir artış trendine girmiş ve bu artış trendi özellikle 2005'lerden itibaren belirginleşmiştir. Bölgede yaşanmış kuraklık olayları üzerinde yağış açıklarının neden olduğu kuraklıkları göz ardı etmeden, sıcaklığa bağlı etkileri değerlendirmek amacıyla mevcut dönem olan 1969-2021 dönemi, 3 ve 12 aylık ölçeklerde, iki dönem hâlinde (1969-1994 / 1995-2021) aynı yöntemlerle ele alınmıştır. Projeksiyon verileri de aynı şekilde iki dönem hâlinde (2022-2060 / 2061-2098) ele alınarak iklim değişikliğinin, yaşanması muhtemel kuraklıklar üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bölgenin yıllık toplam yağış, yıllık toplam potansiyel evapotranspirasyon ve yıllık ortalama sıcaklık dizilerindeki eğilimleri de Mann-Kendall sıra korelasyon katsayısı yöntemiyle test edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kuraklık, İç Anadolu Bölgesi, İklim Değişikliğinin Kuraklığa Etkisi, SPI ve SPEI yöntemleri

Investigation of the Effect of Global Warming on Drought Conditions in the Central Anatolia Region

Abstract

Natural disasters have held an important place in human life throughout history. One of the most important of these disasters affecting large masses is drought. The Mediterranean Basin, in which Turkey is located, is one of the most sensitive regions to climate change. It is predicted that the severity, duration and frequency of droughts that are likely to be experienced together with temperature increase and irregular precipitation changes in Turkey will increase and the effects of drought will be felt even more in the future. The Central Anatolia Region, where continental climate characteristics prevail, is one of the regions most affected by drought. In this study, the characteristics of drought events

(intensity-duration-intensity), annual and seasonal changes, the effects of global warming on arid conditions and the drought tendency of the Central Anatolia Region due to meteorological variables (precipitation, temperature) are evaluated by the standardised precipitation-evapotranspiration index and the standardized precipitation index methods. The data of 26 meteorological observation stations with long-term monthly total precipitation and monthly average temperature measurements representing the region and 20 km resolution HadGEM2-ES regional climate projection data produced within the Turkish State Meteorological Service are used. As a result, considering the average temperatures in Turkey, it has entered an increasing trend since 1994 and this increasing trend has become evident especially since 2005. In order to evaluate the temperature-related effects on the drought events experienced in the region, without ignoring the droughts caused by the precipitation deficits, the current period of 1969-2021, has been discussed in two periods (1969-1994 / 1995-2021) on 3- and 12-month scales with same methods. Projection data are also handled in two periods (2022-2060 / 2061-2098) and the effects of global warming on possible droughts are examined. The trends of the region in the series of annual total precipitation, annual total potential evapotranspiration and annual average temperature are also tested according to the Mann-Kendall rank correlation coefficient method.

Keywords: Drought, Central Anatolia Region, Effect of Climate Change on Drought, SPI and SPEI methods

1. Giriş

Kuraklık, iklimin doğal ve yinelenen bir özelliğidir ve hemen hemen tüm iklim rejimlerinde meydana gelmektedir. Kuraklık olayı, özellikle doğal ekosistemler, su kaynakları, tarım üretimi ve toplum üzerinde ciddi etkilere sahiptir (Burton vd., 1978; Wilhite ve Glantz 1985; Wilhite 1993). Kuraklık sebebiyle, yüzey suyu akışında azalma, yer altı suyu seviyelerinin düşmesi, açık sığ yüzey kuyularının kuruması, artan su/toprak tuzluluğu, ilerleyen dönemlerinde çölleşme, tarımsal üretimde azalma, artan toz fırtınası olayları ve buna bağlı solunum yolu enfeksiyonlarında artış ve nihayetinde pek çok sosyo-ekonomik sorunlar meydana gelebilmektedir (Ozguler ve Yıldız, 2020). Kuraklık, özellikle Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelerde sürdürülebilir kalkınmanın önündeki en büyük tehditlerden biridir. Su ve gıda talebine olan artış ve iklim değişikliği gibi nedenler son yıllarda küresel kuraklık senaryolarını çok fazla gündeme getirmektedir.

Kuraklık ve iklim değişikliğinin kuraklık üzerine etkilerinin tespiti amacıyla çeşitli çalışmalar yürütülmüştür. Baykal vd. (2023) çalışmasında, standart yağış indeksi ve uzun-kısa süreli bellek ağı yöntemlerini kullanarak 1929-2021 yılları için ve gelecek 10 yıl için kuraklık değerlerini hesaplamıştır. Sonuçta bölgede, kuraklık eğilimi ile birlikte gelecek 10 yıllık verilerin eğilim analizinin RCP4.5 yağış projeksiyonları ile benzerliklerini incelemiştir. Ayva vd. (2023) çalışmasında, Kirazdere havzası ve çevresinde iklim değişikliğinin günümüzdeki etkisi ve gelecekteki olası etkilerini, HadGEM2-ES ve MPI-ESM-MR iklim modelleri senaryoları ve standartlaştırılmış yağış indeksi yöntemiyle belirlemeye çalışmıştır. Sonuçta, iklim projeksiyonlarına bağlı olarak standartlaştırılmış yağış indeksi metoduyla elde edilen kuraklık analizi sonuçlarına göre, havzada gelecekte de kısa ve uzun dönemli kuraklıklar yaşanacağı, 2050 yılından sonra daha da şiddetleneceğini öngörmüştür. Çamalan ve Çetin (2022) Türkiye’de 1971-2015 dönemi yaşanmış kuraklık olaylarının analizini ve 2016-2098 dönemi yaşanması muhtemel kuraklık olaylarının eğilimini RCP4.5 senaryosunda HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR ve GFDL-ESM2M bölgesel iklim model verileri ile üç dönem hâlinde standartlaştırılmış yağış-*evapotranspirasyon* yöntemiyle incelemiştir. Sonuçta her üç bölgesel iklim modelinde SPEI-12 aylık ölçekte Türkiye genelinde kuraklık sınıflarının daha kurak bir üst sınıfa doğru kayma eğilimi göstereceğini ve gelecekte uzun süren güçlü kuraklıklar ile kısa süren şiddetli kuraklıkların etkili olabileceğini öngörmüştür. HadGEM2-ES (RCP4.5) bölgesel iklim modelinin periyot boyunca sıcaklıkta beklenen artışın diğer iki modele göre daha fazla olması yaşanması muhtemel uzun süren güçlü kuraklıkların daha şiddetli olduğunu, Türkiye’de gelecekte kuraklığın etkilerinin daha fazla hissedilebileceğini göstermiştir. Tuğrul ve Hınıs (2022) çalışmasında, Konya Apa Barajı bölgesinde normalleştirilmiş yağış indisi yöntemi kullanılarak kuraklık analizi yapmıştır. Çalışmada, 1955-2020 yılı arasındaki aylık toplam yağış verisinden faydalanılarak SPI’nin 1, 3, 6, 9, 12, 24 aylık zaman adımları ayrı ayrı incelenmiş olup, bölgede sırasıyla 85, 41, 34, 26, 13, 7 adet kuraklık tespit edilmiştir.

Çetin ve Kumanlioglu (2023) çalışmasında, Gediz havzasında yer alan Medar alt havzasının meteorolojik ve hidrolojik kuraklıkları standardize yağış indisi, standardize yağış *evapotranspirasyonu* indisi ve standardize akım indisi yöntemleri kullanarak araştırmıştır. Sonuçta, meteorolojik veriler ile beraber Medar çayı üzerinde Medar Köprüsünde gözlemlenen akım değerleri kullanarak 1971-2015 yılları arasında aylık, 3 aylık, 6 aylık ve 12 aylık zaman dilimlerinden meydana gelen meteorolojik ve hidrolojik kuraklıkları belirlemiştir. Eşit ve Yüce (2022) çalışmasında, Kahramanmaraş ilinin çok değişkenli kuraklık frekans analizi ve risk değerlendirilmesini kopula fonksiyonları kullanarak yapmıştır. Çalışma sonucunda, en yüksek şartlı kuraklık şiddeti dönüş periyodunun Kahramanmaraş merkezinde, en düşük dönüş periyodunun ise Elbistan ilçesinde olduğunu saptamıştır. En yüksek şartlı kuraklık süresi dikkate alındığında, Afşin ilçesinin en yüksek dönüş periyoduna sahip iken (en az riskli), Elbistan ilçesinin en kısa dönüş periyoduna sahip olduğunu (riskli) gözlemiştir. Bakanoğulları vd. (2022) çalışmasında, Kırklareli ilinde 1963-2019 yılları arasında meteorolojik ve tarımsal kuraklığın sıklık ve şiddetini iki indeks ile belirlemiştir. Sonuçta,

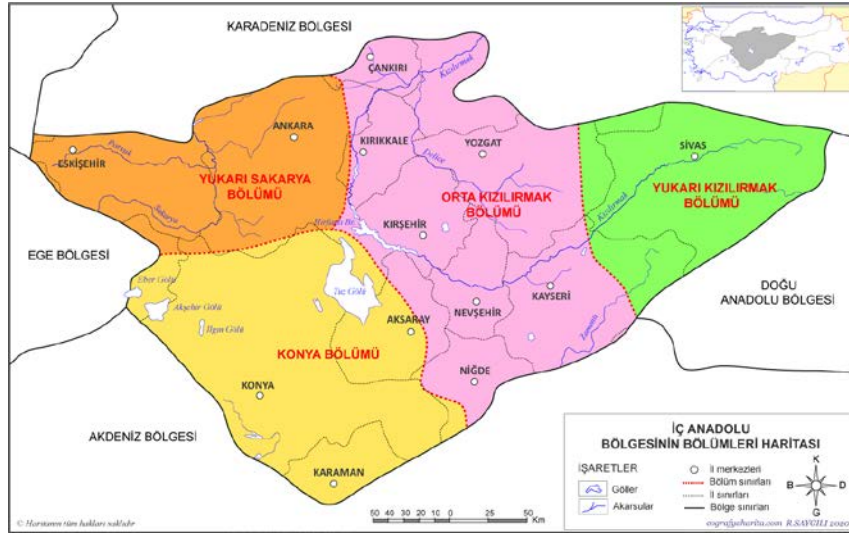
standardize yağış evapotranspirasyonu indisi sonuçlarına göre, yıllık tarımsal kuraklık sonuçlarına göre on yıl hafif kurak, beş yıl orta kurak, bir yıl şiddetli kurak ve iki yıl aşırı kurak olarak tespit etmiştir. Poyrazoğlu ve Arıman (2022) çalışmasında, Akdeniz bölgesinde yer alan Kahramanmaraş ilinde standardize yağış indeksi yöntemi kullanarak 3, 6, 9 ve 12 aylık zaman dilimlerinde meteorolojik kuraklık analizi yapmıştır. Sonuç olarak, tüm zaman ölçeklerine göre 4 meteoroloji istasyonu için özellikle 2000 yılı ve sonrası kuraklık dönemlerinde artış bulmuştur. Aktürk vd. (2022) çalışmasında, yarı kurak özelliklere sahip Kırıkkale ilinde kuraklığın gelişimini ve özelliklerini incelemek amacıyla standartlaştırılmış yağış indisi ve standartlaştırılmış yağış evapotranspirasyon indisi yöntemleri kullanılarak kuraklık analizi yapmıştır. Sonuçta, kuraklık olaylarının toplamı değerlendirildiğinde, genel olarak zaman ölçeği arttıkça yaşanan kuraklık olaylarının sayısında azalma görüldüğü, fakat kuraklık periyodu uzadıkça hesaplanan indisler için ortama kuraklık süresinde ve yaşanan en uzun kuraklık süresinde artış söz konusu olduğunu tespit etmiştir. Duvan vd. (2021) çalışmasında, Sakarya havzası için gözlemlenmiş yağış verileri ile birlikte, HadGEM2-ES küresel iklim modelinin RCP 4.5 ve 8.5 senaryoları ile elde edilen yağış projeksiyon verileri kullanarak, standart yağış indisi yöntemiyle kuraklığın zamansal ve alansal özellikleri incelemiştir. Sonuçta, HadGEM2-ES modelinin RCP 4.5 ve 8.5 verileri ile yapılan hesaplamalarda kuraklık şiddeti değerlerinin gözlemlenmiş yağış verileri ile hesaplanan kuraklık şiddeti değerlerinden daha düşük olduğunu tespit etmiştir. Turan (2018) çalışmasında, Türkiye'nin iklim değişikliğine bağlı kuraklık durumunu değerlendirmiştir. Çalışmada, iklim değişikliği projeksiyonlarının sıcaklıklarda ülke genelinde yükseleceği ve yağışların özellikle ülkenin güney yarısında azalacağını gösterdiğini, bu değişimlerin ülkemizin su kaynaklarını olumsuz yönde etkileyerek özellikle güneydeki havzalarda su potansiyelini azaltmasının kaçınılmaz olduğu belirtilmiştir.

Su planlaması ve yönetimi birçok bölgede zorlu bir görev ve gerekliliktir. Kuraklığın izlenmesi ve analizi için çeşitli yöntemler bulunmakla birlikte, bu çalışmada meteorolojik değişkenlere (yağış, sıcaklık) bağlı en yaygın olarak kullanılan SPI ve SPEI indis yöntemleri ile kuraklık olaylarının özellikleri, yıllık ve mevsimsel değişimleri, iklim değişikliğinin kurak koşullar üzerindeki etkileri ve kuraklaşma eğilimi incelenmiştir. Meteorolojik kuraklıkta sıcaklığın rolünü değerlendirmek amacıyla yaşanmış kuraklık olaylarının analizi bölge ve istasyonlar temelinde her iki indis için 3 ve 12 aylık zaman ölçeğinde iki dönem hâlinde (1969-1994 / 1995-2021) incelenirken, yaşanması muhtemel kuraklaşma eğilimi iki dönem hâlinde (2022-2060 / 2061-2098) ele alınmıştır. Kuraklık, yavaş gelişen bir olay olması sebebiyle etkilerini sonradan yoğun bir şekilde hissettirmektedir. İklim değişikliğinin de etkisiyle birlikte sıklığı ve şiddeti giderek artmaktadır. Özellikle yağış azlığına konu olan İç Anadolu Bölgesi, kuraklık olaylarının sıkı takibinin yapılması gereken yerlerden biridir. Bu çalışma ile, kuraklık sorunları açısından başta gelen İç Anadolu Bölgesinin geçmiş dönem kuraklık analizi ile birlikte gelecekte gerçekleşmesi muhtemel kuraklık durumu çalışılmıştır. Aynı zamanda meteorolojik kuraklıkta sıcaklığın rolü ele alınmıştır. Bu çalışma, İç Anadolu Bölgesi için yapılacak kuraklık eylem planları açısından önemli fikirler sağlayacaktır.

2. Materyal ve Metot

2.1 Çalışma Alanı

Çalışma alanı İç Anadolu Bölgesini kapsamaktadır. Bölgenin yüzölçümü 151000 km²'dir. Türkiye'nin ikinci büyük bölgesidir. Bölge; Konya, Yukarı Sakarya, Orta Kızılırmak ve Yukarı Kızılırmak bölümlerinden oluşmaktadır (Şekil 1). Türkiye'nin en büyük ovası Konya ovası bu bölgede yer almaktadır. Bölgede karasal iklim hakimdir. Yazları sıcak ve kurak, kışları soğuk ve kar yağışlıdır. Bölgenin ekonomisi tarım ve hayvancılığa dayanmaktadır.



Şekil 1. İç Anadolu Bölge Haritası (URL 1)

2.2 Çalışmada Kullanılan Veri Setleri

Çalışmada, İç Anadolu Bölgesini temsil eden 26 meteoroloji gözlem istasyon verisi ile Meteoroloji Genel Müdürlüğü bünyesinde üretilen 20 km çözünürlüklü HadGEM2-ES (the Hadley Centre Global Environment Model version 2) RCP4.5 senaryosunun bölgesel iklim projeksiyon verisi (2022–2098) kullanılmıştır. HadGEM2-ES küresel iklim modeli, İngiltere Meteoroloji Servisi'nin araştırma kuruluşu olan Hadley Merkezi tarafından geliştirilmiştir. HadGEM2 serisi birleştirilmiş atmosfer-okyanus yapılandırması ile içerisinde dinamik vejetasyon, okyanus biyolojisi, atmosfer kimyasının bulunduğu bir kara-sistem yapılandırmasını içeren ikinci nesil bir modeldir. Türkiye için bölgesel iklim projeksiyon verileri RegCM4 dinamik ölçek küçültme yöntemi kullanılarak üretilmiştir. Veriler üretilirken istasyonların 1971–2000 referans dönem normalleri kullanılmıştır (MGM, 2015). Bu veriler kullanılarak istasyonlar ve bölge bazında 3 ve 12 aylık ölçekte SPI ve SPEI yöntemleriyle kuraklık olaylarının özellikleri (şiddet-süre-yoğunluk) ile bölge bazında yıllık ve mevsimsel değişimleri ele alınarak iklim değişikliğinin kurak koşullar üzerindeki etkileri ve kuraklaşma eğilimi incelenmiştir. Kullanılan istasyonların alansal ağırlık ortalamaları alınarak bölge zaman serisi oluşturulmuş ve indis hesaplamaları yapılmıştır. Türkiye ortalama sıcaklıklarda 1994 yılından itibaren artış eğilimine girmiş ve bu artış eğilimi 2005'lerden itibaren belirginleşmiştir (Çamalan vd., 2019a-b). Sıcaklık artışının İç Anadolu bölgesi iklimi ve kurak koşullar üzerindeki etkisini değerlendirmek amacıyla 1969–2021 mevcut dönem her iki indis için 3 ve 12 aylık zaman ölçeklerinde iki dönem hâlinde (1969–1994 / 1995–2021) incelenmiştir. Projeksiyon verileri 2022–2060 / 2061–2098 olmak üzere iki dönem hâlinde çalışılmıştır. Bu çalışma ile yıllık ortalama sıcaklık, yıllık toplam yağış ve yıllık toplam PET değerleri hesaplanmış ve Mann-Kendall yöntemi ile bunların eğilimleri tespit edilmiştir.

2.3 Kuraklık Süre ve Şiddet Hesabı

Kuraklık olayı, SPI ve SPEI indis değerlerinin sıfır değerinin altına düştüğünde tanımlanır. Kuraklık süresi (D), indis değerlerinin ardışık sıfırın altında kaldığı ve pozitif olduğu zaman sona erdiği dönem uzunluğudur. Kuraklık şiddeti (Severity-S), belirlenen zaman periyodunda (bu çalışmada 3 ve 12 ay) SPEI ve SPI indis değerlerinin ardışık olarak sıfırın altında kalan toplam en büyük kümülatif değeri ifade eder (Denklem 1). Kuraklık ortalama şiddeti-yoğunluk (Intensity-I) ise kuraklığın toplam şiddetinin süresine oranıdır (Denklem 2).

$$S = - \sum_{i=1}^D SPEI_i \quad (1)$$

$$I = S/D \quad (2)$$

Yoğunluk (I), kısa süreli şiddetli kuraklıkların büyüklüğünü, şiddet (S) ise daha uzun sürede yavaş gelişen güçlü kuraklığı ifade etmektedir. Yoğunluk ve şiddet kuraklık analizinde farklı sektörleri ilgilendiren önemli parametrelerdir. Uzun süreli yavaş gelişen şiddetli kuraklıklar hidrolojik döngüyü etkilerken (Van Loon, 2015), kısa süreli şiddetli kuraklıklar toprak nemini etkilemektedir (Hayes vd., 1999). Her ne kadar kuraklık sonucunda ortaya çıkan sorunlar benzer olsa da, uzun süreli kuraklıklar sonucu ortaya çıkan sorunlar ve zararlar daha büyük olabilmektedir.

2.4 Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndeksi (SPEI)

SPEI yağış ve potansiyel evapotranspirasyon (PET) arasındaki fark verisini kullanmakta ve kurak dönemlerin analizinde önerilmektedir (Vicente-Serrano vd., 2010). Potansiyel Evapotranspirasyon (PET) Thorntwaite metodu ile hesaplanmaktadır (Thorntwaite, 1948).

Herhangi bir aya PET ve yağış arasındaki fark verisi D_i değeri su fazlası veya su noksanı miktarını vermektedir (Denklem 3):

$$D_i = P_i - PET_i \quad (3)$$

D_i olasılıkları için ters-standart normal dağılım fonksiyonu kullanılarak standartlaştırılmış D_i dizisi, yani SPEI değerleri elde edilir (Denklem 4).

$$SPEI = w - \frac{C_0 + C_1 w + C_2 w^2}{1 + d_1 w + d_2 w^2 + d_3 w^3} \quad (4)$$

Burada; $w = \sqrt{-2 \ln(P)} \rightarrow P \leq 0,5$ için

P değeri belirlenmiş bir D değerinin aşılma olasılığını ifade eder.

$C_0 = 2,515517$; $C_1 = 0,802853$; $C_2 = 0,010328$; $d_1 = 1,432788$; $d_2 = 0,189269$; $d_3 = 0,01308$

SPEI'nin ortalaması 0; standart sapması 1'dir. SPEI normalleştirilmiş değişken olması sebebiyle, alan zaman ölçeğinde diğer SPEI değerleri ile ilişkilidir. SPEI, kuraklığı şiddet-yoğunluk-süresine göre ölçebilmektedir. Kurak dönemlerin başladığı ve bittiği süreyi belirlemekle birlikte, geniş bir iklim coğrafyasında hesaplama yapılabilir. Bu yolla, zaman ve mekâna bağlı olarak kuraklığın karşılaştırmasını mümkün kılmaktadır (URL 2; URL 3).

2.5 Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SPI)

SPI, kuraklığın gözlemlenmesi amacıyla yağış olasılığına dayanan bir yöntemdir. SPI'nin negatif değerleri kuraklık koşullarının mevcut olduğunu gösterirken, pozitif değerleri ise nemliliği göstermektedir. SPI, denklem 5 ile hesaplanmaktadır.

$$SPI = (x_i - x_{ort}) / \sigma \quad (5)$$

Burada, X_i : ölçülen yağışı, X_{ort} : yağış ortalamasını, σ : ise standart sapmayı ifade eder (Oğuz vd., 2021). SPEI ve SPI kuraklık sınıflarına ait değer aralıkları Tablo 1'de gösterilmektedir.

Tablo 1 SPEI ve SPI Kuraklık Sınıf Değer Aralıkları

	SPI-SPEI İNDİS DEĞERLERİ	SINIFLANDIRMA	CLASSIFICATION
	2,00 ve üzeri	Aşırı nemli	Extremely wet
	1,50 – 1,99	Çok nemli	Very wet
	1,00 – 1,49	Orta nemli	Moderately wet
Normal	0,99 – 0	Hafif nemli	Lightly wet
	0- (-0,99)	Hafif kurak	Lightly dry
	(-1,00) - (1,49)	Orta kurak	Moderately dry
	(-1,50) - (1,99)	Şiddetli kurak	Severely dry
	(-2,00) ve alt	Aşırı kurak	Extremely dry

2.6 Mann-Kendal Sıra Korelasyon Katsayısı Yöntemi

Mann-Kendal sıra korelasyon katsayısı yöntemi, parametrik olmayan bir test olup verilerin eğilimini belirlemek amacıyla yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir (Mann, 1945; Kendall, 1975). Bir zaman serisinin monoton bir

yükseliş veya düşüş trendine sahip olup olmadığını belirlemek için kullanılır. Verilerin normal dağılmış veya doğrusal olmasını gerektirmez. Verilerin otokorelasyon olmamasını gerektirir. Bu test için sıfır hipotezi, trend olmadığıdır ve alternatif hipotez, iki taraflı testte bir trend olduğu veya tek taraflı testte bir artış (veya düşüş) trendi olduğu şeklindedir. x_1, \dots, x_n zaman serileri için MK Testi aşağıdaki istatistiği kullanır (Denklem 6):

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sign}(x_j - x_i) \quad (6)$$

$S > 0$ ise, zaman serisindeki daha sonraki gözlemlerin, zaman serisinde daha önce görünenlerden daha büyük olma eğiliminde olduğunu, $S < 0$ ise bunun tersinin doğru olduğunu varsayar.

S'nin varyansı şu şekilde verilir (Denklem 7):

$$\text{var} = \frac{1}{18} [n(n-1)(2n+5) - \sum_t f_t (f_t - 1)(2f_t + 5)] \quad (7)$$

burada t , bağlı dereceler kümesi üzerinde değişir ve f_t , t mertebesinin görünme sayısıdır (yani frekans).

MK Testi aşağıdaki test istatistiğini kullanır (Denklem 8):

$$z = \begin{cases} \frac{S-1}{se}, & S > 0 \\ 0, & S = 0 \\ \frac{S+1}{se}, & S < 0 \end{cases} \quad (8)$$

burada $se = \text{var}$ 'ın karekökünü ifade eder. Monoton bir eğilim yoksa (sıfır hipotezi), o zaman 10'dan fazla elemanlı zaman serileri için $z \sim N(0, 1)$, yani z standart bir normal dağılıma sahiptir (URL 4).

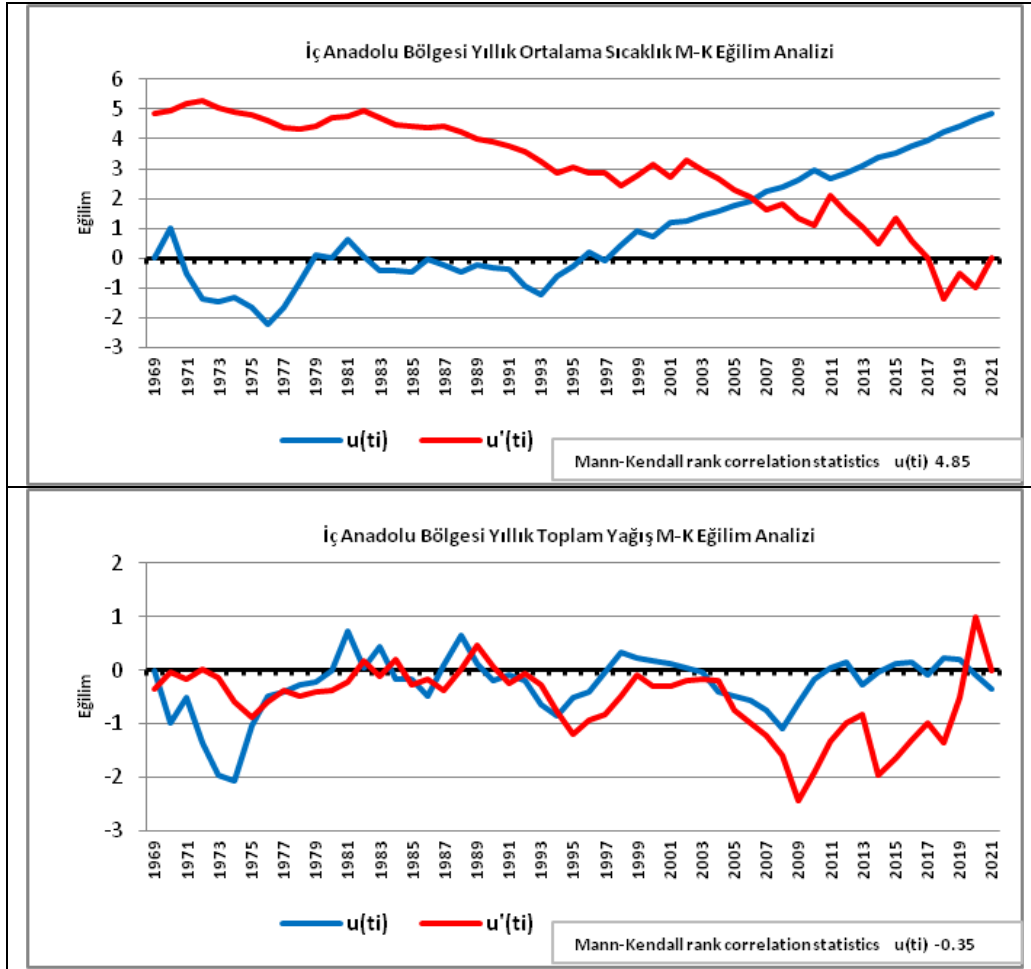
3. Sonuçlar ve Tartışma

İç Anadolu Bölgesi yıllık toplam yağış ortalaması (1969-2021) 427,4 mm'dir. Uzun yıllar (1969-2021) sıcaklık ortalaması 11,0 °C'dir. Çalışılan istasyonların uzun yıllar sıcaklık ortalaması ve yıllık toplam yağış değerleri Tablo 2'de verilmiştir. İç Anadolu Bölgesi yıllık toplam yağışlarının %31'ini kış, %34'ünü ilkbahar, %21'ini sonbahar ve %14'ünü yaz mevsiminde almaktadır. Bölgede önemli bir yağış değişimi tespit edilmediği, yıllık ortalama sıcaklıklarda önemli bir artış eğilimi olduğu görülmektedir. Bölge ortalama sıcaklıklarda 1994 yılından itibaren artış eğilimine girmiş ve bu artış eğilimi 2005'lerden itibaren belirginleşmiştir (%5 anlamlılık düzeyinde kritik z değeri ± 1.96) (Şekil 2).

Tablo 2 İstasyonların Uzun Yıllar Ortalamaları

İstasyon no	İstasyon adı	Ortalama sıcaklık (°C)	Toplam yağış (mm)
17080	Çankırı	11,3	412,6
17090	Sivas	9,2	439,8
17130	Ankara	12,1	408,1
17135	Kırıkkale	12,5	383,8
17140	Yozgat	9,3	586,4
17160	Kırşehir	11,6	382,3
17191	Cihanbeyli	11,5	322,6
17192	Aksaray	12,3	345,1
17193	Nevşehir	10,8	415,3
17196	Kayseri	10,5	397,3
17239	Akşehir	12,0	541,6
17244	Konya	11,7	329,6
17246	Karaman	12,1	332,7
17248	Ereğli	11,8	302,2
17250	Niğde	11,2	333,2
17664	Kızılcahamam	9,9	569,6
17679	Nallıhan	12,6	340,9
17680	Beypazarı	13,2	395,8

17716	Zara	8,6	503,0
17728	Polatlı	11,8	360,9
17756	Kaman	10,5	452,9
17836	Develi	11,1	357,9
17840	Sarız	7,6	501,6
17898	Seydişehir	11,8	748,4
17906	Ulukışla	9,9	319,5
17928	Hadim	10,0	628,9



Şekil 2. İç Anadolu Bölgesi Yıllık Ortalama Sıcaklık ve Yıllık Toplam Yağış M-K Eğilimleri

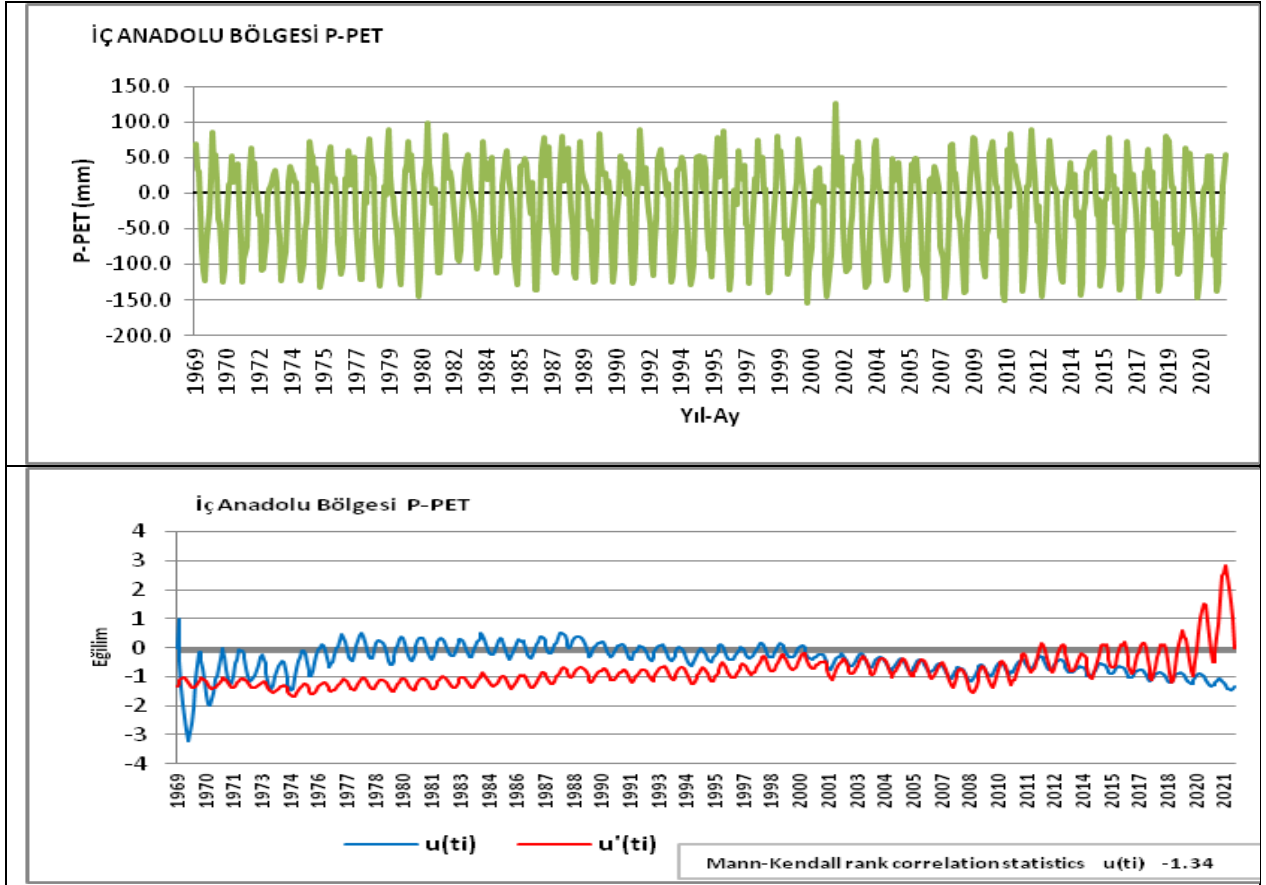
Bölgenin yaz yağışlarında önemli olmasa da bir artış eğilimi (1,15); kış (-0,17), ilkbahar (-1,78) ve sonbahar yağışlarında (-0,05) ise önemli olmasa da bir azalış eğilimi söz konusudur. Özellikle yer altı ve yer üstü sularının varlığının devamında bölgedeki kış ve bahar yağışlarındaki değişimler oldukça önemlidir.

Bölgede çalışılan istasyonların 1969-2021 döneminde yıllık toplam yağış M-K eğilim analiz sonuçlarına bakıldığında; Hadim, Sarız, Zara ve Akşehir istasyonlarında önemli bir azalış görülmürken, diğer istasyonlarda önemli bir artış veya azalış görülmemektedir. Ortalama sıcaklıklarda, Nallıhan istasyonu hariç tüm istasyonlarda önemli bir artış söz konusudur. Çalışılan istasyonlarda yıllık toplam PET değerlerinde önemli bir artış görülmektedir (Tablo 3). Thornthwaite İklim Sınıflandırmasına göre bölgenin Seydişehir ve Hadim dolayları nemli; Yozgat, Kızılcahamam, Sarız ve Zara dolayları yarı nemli sınıfa girmektedir. Çankırı, Sivas, Ankara, Nevşehir, Kayseri, Akşehir, Kaman ve Develi civarları yarı kurak-az nemli sınıfa; Kırşehir, Kırıkkale, Cihanbeyli, Aksaray, Konya, Karaman, Ereğli, Niğde, Polatlı, Ulukışla, Nallıhan ve Beypazarı dolayları yarı kurak sınıfa girmektedir (MGM, 2016).

Tablo 3 Mann Kendall Eğilim Analizleri ve Korelasyonlar

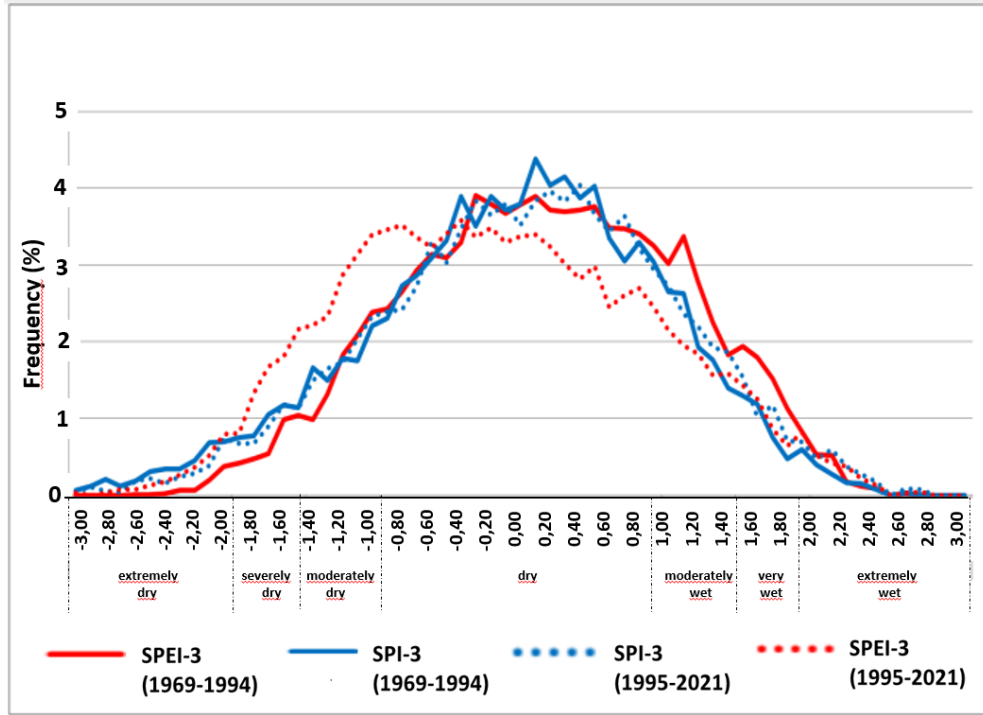
İstasyon No	İstasyon Adı	Yıllık toplam yağış (z) değerleri	Yıllık ort. sıcaklık (z) değerleri	Yıllık toplam PET (z) değerleri	P-PET (z) değerleri	SPEI-12 / SPI-12 Pearson's r	SPEI-3 / SPI-3 Pearson's r
17080	Çankırı	1	4,34*	4,8*	-0,51	0,91	0,92
17090	Sivas	0,38	4,31*	4,71*	-0,86	0,83	0,90
17130	Ankara	0,32	5,69*	5,74*	-1,18	0,79	0,89
17135	Kırıkkale	0,17	4,82*	5,38*	-1,28	0,85	0,90
17140	Yozgat	0,21	5,37*	5,17*	-1,08	0,90	0,93
17160	Kırşehir	-0,25	4,16*	4,96*	-1,29	0,84	0,88
17191	Cihanbeyli	-0,11	5,6*	6,2*	-1,6	0,81	0,87
17192	Aksaray	0,06	5,51*	6,24*	-1,5	0,74	0,84
17193	Nevşehir	0,31	4,96*	5,17*	-1,24	0,84	0,89
17196	Kayseri	1,64	5,66*	5,42*	-0,7	0,83	0,90
17239	Akşehir	(-2,45) *	4,3*	5,42*	-1,95	0,93	0,94
17244	Konya	0,28	3,68*	4,45*	-1,07	0,84	0,88
17246	Karaman	-0,97	4,73*	5,45*	-1,64	0,85	0,87
17248	Ereğli	0,12	6,04*	7,09*	-1,91	0,72	0,81
17250	Niğde	1,3	5,68*	6,2*	-0,96	0,76	0,84
17664	Kızılcahamam	-0,46	4,1*	4,17*	-0,95	0,93	0,94
17679	Nallıhan	1,46	1,78	2,21*	0,39	0,92	0,89
17680	Beypazarı	-0,64	4,25*	5*	-1,19	0,87	0,91
17716	Zara	(-2,36) *	2,76*	2,59*	-1,72	0,94	0,92
17728	Polatlı	0,4	5,52*	5,91*	-1,37	0,80	0,87
17756	Kaman	-0,12	4,2*	4,63*	-1,28	0,90	0,91
17836	Develi	-0,35	5,14*	5,46*	-1,54	0,81	0,83
17840	Sarız	(-3,19) *	4,36*	4,59*	(-2,45)*	0,95	0,94
17898	Seydişehir	0,41	4,3*	4,88*	-0,58	0,95	0,93
17906	Ulukışla	0,81	4,4*	4,45*	-0,5	0,85	0,89
17928	Hadim	(-2,16) *	4,74*	5,02*	-1,79	0,96	0,93
İç Anadolu Bölgesi		-0,35	4,85*	5,32*	-1,34	0,81	0,88
%5 anlamlılık düzeyinde kritik z değeri ± 1,96							

Bölgenin klimatolojik olarak kullanılabilir su miktarının zamana bağlı değişimi (P-PET) -154 mm ile 123 mm arasında değişim göstermektedir. Negatif değerlerdeki ısrar ve şiddetindeki artışlar dikkat çekmektedir. Kullanılabilir su miktarında (P-PET) önemli olmasa da azalan yönde bir eğilim vardır. Azalma eğilimi 1990'ların başından itibaren başlamaktadır (Şekil 3).

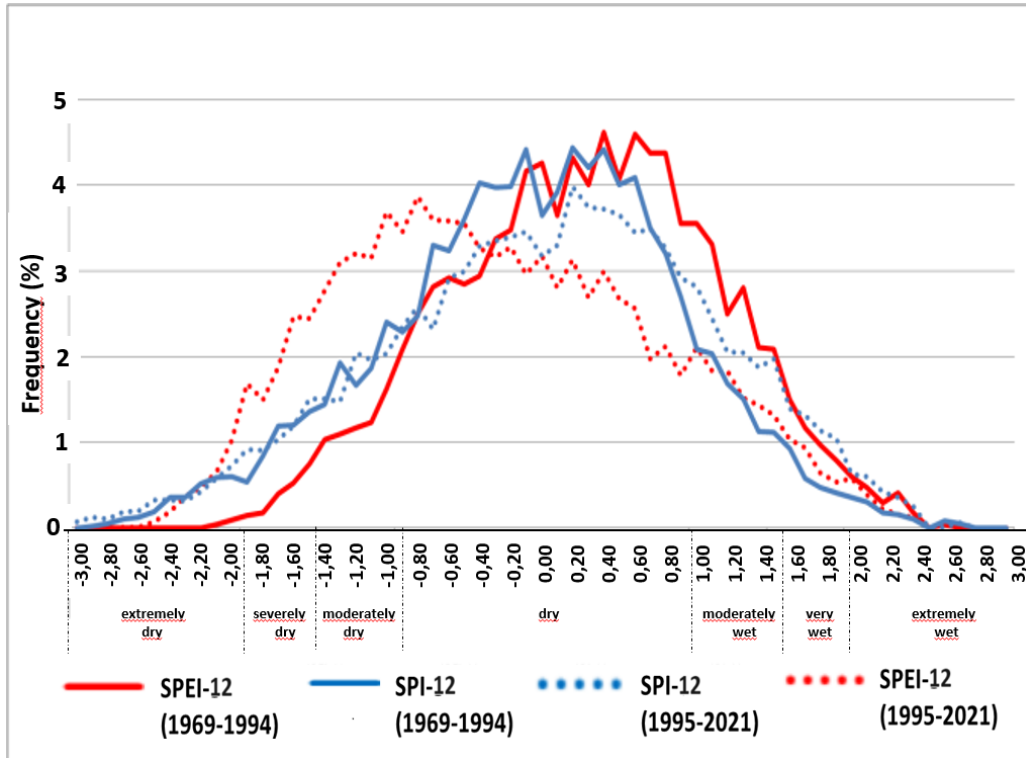


Şekil 3. İç Anadolu Bölgesi (P-PE) kullanılabilir su miktarının zamana bağlı değişimi ve M-K Eğilimi

Bölge istasyonlarının (P-PET) değerlerinde de hemen hemen aynı durum söz konusudur. Nallıhan ve Sarız istasyonları hariç diğer istasyonlarda önemli olmamasına karşın azalan yönde zayıf bir eğilim egemendir. Nallıhan istasyonunda önemli olmayan bir artış, Sarız istasyonunda önemli bir azalış söz konusudur (Tablo 3). Yıllar arası ve yıl içindeki düzensiz yağış değişiklikleri ile birlikte 1994 yılından sonraki sıcaklık artışının PET üzerinde yaratmış olduğu etki kurak koşullar üzerinde mevcut dönemin ikinci yarısında (1995-2021) SPEI-3 ve SPEI-12 ölçeklerde açıkça görülmektedir (Şekil 4-5).



Şekil 4. İç Anadolu Bölgesi SPEI-3 ve SPI-3 aylık ölçeklerde indis değişim grafikleri



Şekil 5. İç Anadolu Bölgesi SPEI-12 ve SPI-12 aylık ölçeklerde indis değişim grafikleri

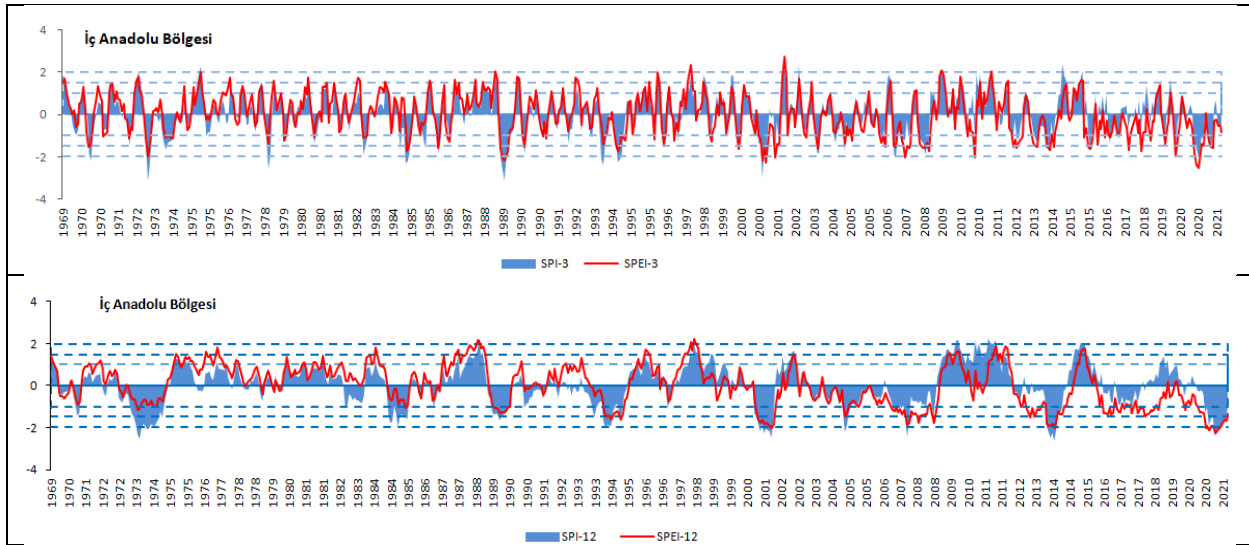
Bölgenin mevcut dönemin ilk yarısında (1969-1994) 3 aylık ölçekte; hafif kurak sınıf dağılımı SPI'da %31, SPEI'da %27'dir. Orta kurak sınıf dağılımı SPI'da %8, SPEI'da %8'dir. Şiddetli kurak sınıf dağılımı SPI'da %4, SPEI'da %3'dir. Aşırı kurak sınıf dağılımı SPI'da %5 iken SPEI'da %1'dir. İkinci yarısında (1995-2021); hafif kurak sınıf

dağılımı SPI'da %30, SPEI'da %36'dır. Orta kurak sınıf dağılımı SPI'da %10, SPEI'da %12'dir. Şiddetli kurak sınıf dağılımı SPI'da %6, SPEI'da %8'dir. Aşırı kurak sınıf dağılımı SPI'da %1 iken SPEI'da %2'dir.

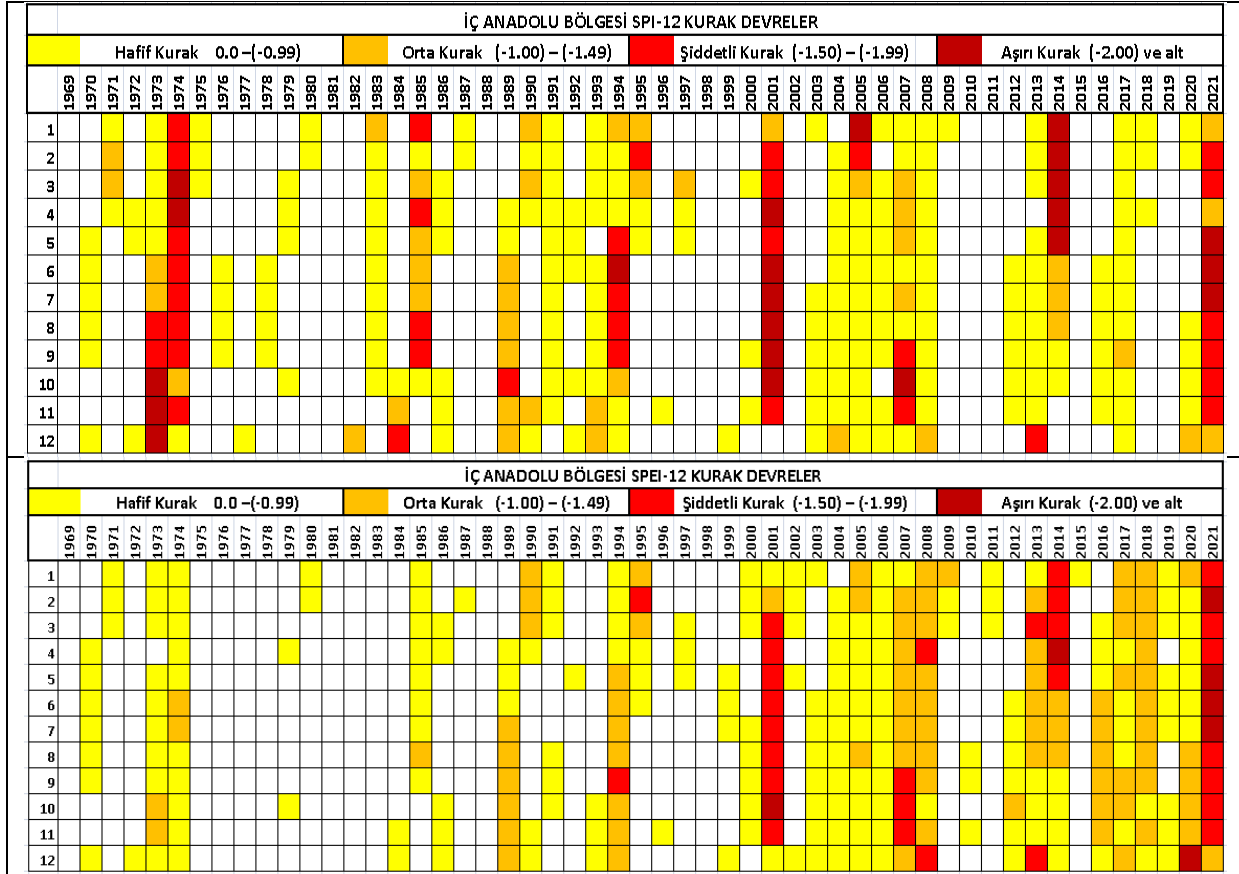
Bölgenin mevcut dönemin ilk yarısında 12 aylık ölçekte; hafif kurak sınıf dağılımı SPI'da %30, SPEI'da %23'dir. Orta kurak sınıf dağılımı SPI'da %8, SPEI'da %7'dir. Şiddetli kurak sınıf dağılımı SPI'da %7, SPEI'da %0'dir. Aşırı kurak sınıf dağılımı ise SPI'da %2 iken SPEI'da %0'dır. İkinci yarısında (1995-2021); hafif kurak sınıf dağılımı SPI'da %33 iken SPEI'da %36'dır. Orta kurak sınıf dağılımı SPI'da %6, SPEI'da %19'dir. Şiddetli kurak sınıf dağılımı SPI'da %5, SPEI'da %8'dir. Aşırı kurak sınıf dağılımı SPI'da %5 iken SPEI'da %2'dir.

Bölge SPI-3 ve SPEI-3 serilerinde 0,88'lik korelasyon söz konusu iken, PET kaynaklı açıkların biriktiği uzun zaman ölçekleri olan SPEI-12 ve SPI-12 serilerinde 0,81'lik bir korelasyon görülmüştür. İstasyonlar temelinde SPEI-3/SPI-3 serileri arasında 0,81/0,94 ve SPEI-12/SPI-12 serileri arasında 0,72/0,96 aralığında değişen korelasyonlar görülmüştür (Tablo 3). İki indis arasındaki yüksek ilişki yağış eksikliğinin kuraklıkta öncü olduğunun açık bir göstergesidir.

3 aylık ölçekte; yağışlı ve kurak dönemler arasındaki zamansal değişimler 12 aylık birikim ölçeğine göre daha yüksek sıklıkta olduğundan, çalışılan dönem boyunca belirgin kuru/ıslak dönemleri tanımlamak zorlaşmaktadır. Her iki indis'de 3 ve 12 aylık ölçekte benzerlikler görülmekle birlikte zamansal evrimlerinde bazı dikkate değer farklılıklar bulunmaktadır (Şekil 6). Bu farklılıklar özellikle Nevşehir ve Ürgüp istasyonlarında Oğuz vd. (2022) tarafından yapılan çalışmada ortaya konmuştur. Nevşehir ve Ürgüp istasyonlarında 3 ve 12 aylık zaman ölçeğinde SPEI ve SPI yöntemi ile 1991-2021 dönemi kuraklık analizi yapılmıştır. Çalışmada elde edilen sonuçlarda Nevşehir istasyonunda SPI-12 aylık ölçekte yaşanan en güçlü ve en uzun süren kuraklık zamansal farklılıkla beraber SPEI-12 kaydedilenden daha yüksek ve uzundur. Yaşanan ekstrem maksimum kuraklık şiddeti SPEI-12 de 2001 yılının Ekim ayında -1,98 kaydedilirken SPI-12'de 2014 yılının Nisan ayında -2,45 olarak kaydedilmiştir. Ürgüp istasyonunda SPI-12 aylık ölçekte yaşanan en güçlü ve en uzun süren kuraklık zamansal farklılıkla beraber SPEI-12 kaydedilenden daha düşük ve kısadır. Bu istasyonda yaşanan ekstrem maksimum kuraklık şiddeti SPEI-12'de 2013 yılının Aralık ayında -1,71 kaydedilirken SPI-12'de 2014 yılının Mayıs ayında -2,25 olarak kaydedilmiştir.



Şekil 6. İç Anadolu Bölgesi 3 ve 12 aylık ölçeklerde SPEI/SPI zamansal değişimleri



Şekil 7. İç Anadolu Bölgesinin 12 aylık ölçekte kurak dönemleri

SPI-12 ve SPEI-12 ölçeğinde bölgede kurak dönemler aylık olarak Şekil 7’de renklendirilmiştir. Bölgede 2 ay ve üzeri süren kurak devreler incelendiğinde; SPI-12’de ana kuraklık dönemleri 1971, 1973-1974, 1984-1985, 1989-1990, 1993-1995, 2001, 2005, 2007, 2014, 2021 dir. SPEI-12’de ana kuraklık dönemleri 1973-1974, 1989-1990, 1994-1995, 2001, 2005, 2007-2008, 2013-2014, 2016-2018; 2020-2021’dir. Her iki indisin tarihsel kuraklık afet olaylarını tespit edebildiği gözlemlenmiştir (Türkeş, M. 2012; Akbaş, 2014; Çamalan vd., 2019a; Oğuz vd., 2022).

SPI yağış kıtlığından kaynaklı kuraklık olaylarını tespit ederken; SPEI yağış kıtlığından ve/veya kuru ve sıcak uzun süreli hava koşullarından kaynaklı kuraklık olaylarını da tespit eder. 1973-1974 yıllarında yağış açıklarından kaynaklı kuraklıklar SPI-12’de daha yüksek şiddette tespit edilirken, 2007-2008, 2013-2014, 2016-2018 ve 2020-2021 yıllarında PET kaynaklı uzun süreli ve şiddetli kuraklıklar SPEI-12’de daha yüksek şiddette tespit edilmiştir.

Bölge değerlendirmesinde; SPI-12’de yaşanan en uzun süren güçlü kuraklık (-36,73) 1972/12 ayında başlayıp 28 ay sürmüştür. Bölgede 2001/1- 2001/11 ayları arasında yaşanan kısa süreli şiddetli kuraklıkların büyüklüğü (-1,92) şiddetli kurak’dır. SPEI-12’de yaşanan en uzun süren güçlü kuraklık (-55,33) 2004/2 ayında başlayıp 62 ay sürerken, 2019/10-2021/12 arasında yaşanan kısa süreli şiddetli kuraklıkların büyüklüğü (-1,36) orta kuraktır (Tablo 4).

Tablo 3 Mann Kendall Eğilim Analizleri ve Korelasyonlar

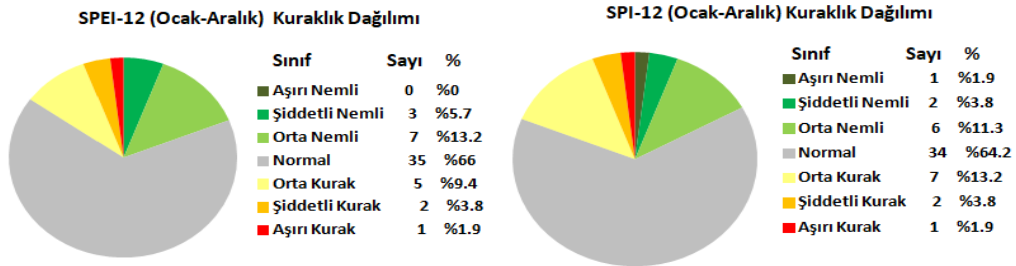
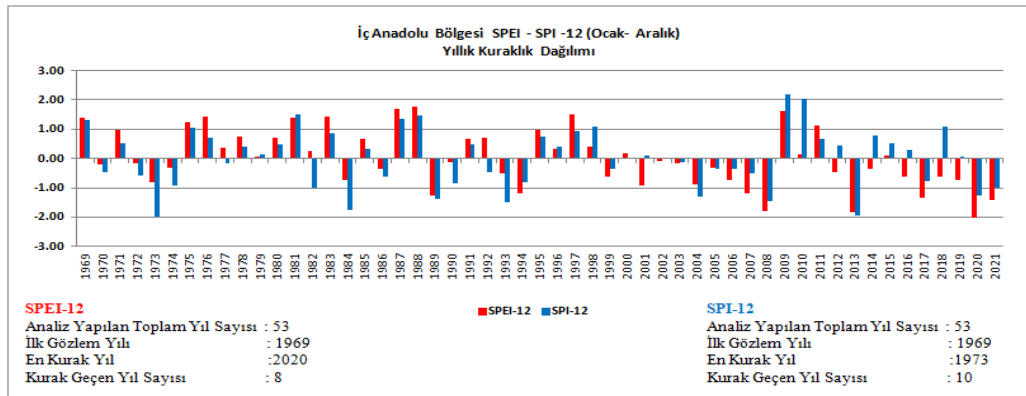
İÇ ANADOLU BÖLGESİ 1969-2021 DÖNEMİ SPEI-12 VE SPI-12 AYLIK ÖLÇEKTE UZUN SÜREN GÜÇLÜ KURAKLIKLARIN BAŞLAMA BİTİŞ TARİHLERİ													
İST AD	İST NO		En güçlü			En uzun			En Yüksek			Ext. Max. Şiddet	
			S Şiddet	Başlama-Bitiş Yıl/Ay	D Süre	Başlama-Bitiş Yıl/Ay	I Yoğunluk	Başlama-Bitiş Yıl/Ay	S Şiddet	Başlama Yıl/Ay			
Çankırı	17080	SPEI-12	-52,02	2006 4	2009 05	38	2006 4	2009 05	-1,37	2006 4	2009 05	-2,32	2008 4
		SPI-12	-36,79	2006 12	2009 05	33	1977 6	1980 02	-1,38	1973 5	1974 12	-2,84	2007 10
Sivas	17090	SPEI-12	-46,02	2017 1	2020 05	41	2017 1	2020 05	-1,46	2013 11	2015 04	-2,16	2014 5
		SPI-12	-39,61	1973 1	1975 04	28	1973 1	1975 04	-1,84	2013 12	2014 11	-2,84	1973 10

Ankara	17130	SPEI-12	-45,79	2006 5	2009 06	38	2006 5	2009 06	-1,20	2006 5	2009 06	-2,28	2007 10
		SPI-12	-39,18	2003 4	2005 08	29	2003 4	2005 08	-1,38	1993 6	1995 05	-2,66	2005 1
Kırıkkale	17135	SPEI-12	-47,91	2006 11	2009 03	29	1993 9	1996 01	-1,65	2006 11	2009 03	-2,66	2008 4
		SPI-12	-42,78	2007 1	2009 02	26	2007 1	2009 02	-1,65	2007 1	2009 02	-3,12	1997 3
Yozgat	17140	SPEI-12	-35,35	2019 1	2021 12	36	2019 1	2021 12	-1,70	2001 1	2002 03	-2,42	2001 9
		SPI-12	-54,36	1972 8	1975 04	33	1972 8	1975 04	-2,14	2001 1	2001 12	-3,24	2001 10
Kırşehir	17160	SPEI-12	-75,85	2002 11	2009 03	77	2002 11	2009 03	-1,63	2020 6	2021 12	-2,45	2021 2
		SPI-12	-40,85	1972 12	1975 04	44	2005 6	2009 01	-1,41	1972 12	1975 04	-2,52	1974 8
Cihanbeyli	17191	SPEI-12	-39,13	2016 6	2019 03	36	2006 3	2009 02	-1,24	2001 1	2002 09	-2,40	2021 6
		SPI-12	-43,81	1971 12	1975 03	40	1971 12	1975 03	-1,52	2001 1	2002 03	-2,80	2001 10
Aksaray	17192	SPEI-12	-72,26	2003 4	2009 03	72	2003 4	2009 03	-1,37	2001 1	2002 09	-2,32	2008 4
		SPI-12	-39,61	2006 11	2009 01	42	2003 4	2006 09	-1,47	2006 11	2009 01	-2,62	1985 1
Nevşehir	17193	SPEI-12	-49,54	2016 3	2019 05	42	2004 2	2007 07	-1,31	1970 1	1971 03	-2,04	2001 10
		SPI-12	-82,32	2001 1	2007 05	77	2001 1	2007 05	-1,56	1969 12	1971 04	-2,63	2014 4
Kayseri	17196	SPEI-12	-45,96	2016 6	2020 02	45	2016 6	2020 02	-1,55	1994 4	1995 05	-2,21	2001 10
		SPI-12	-33,06	1972 3	1975 04	38	1972 3	1975 04	-1,42	1993 12	1995 05	-2,67	1994 9
Akşehir	17239	SPEI-12	-38,39	2012 4	2015 01	34	2012 4	2015 01	-1,57	2001 1	2001 12	-2,13	2001 10
		SPI-12	-37,93	2011 12	2014 12	37	2011 12	2014 12	-1,93	2001 1	2001 11	-2,70	2014 4
Konya	17244	SPEI-12	-58,40	2004 12	2009 04	53	2004 12	2009 04	-1,21	1999 3	2002 03	-2,38	2021 5
		SPI-12	-43,22	1992 1	1995 06	45	2004 12	2008 08	-1,49	1999 10	2002 02	-2,57	1974 6
Karaman	17246	SPEI-12	-33,35	2012 5	2015 03	36	2004 6	2007 05	-1,64	2020 7	2021 12	-2,43	2021 5
		SPI-12	-43,56	1972 12	1975 01	37	2004 5	2007 05	-1,75	2020 12	2021 12	-2,41	1974 3
Ereğli	17248	SPEI-12	-67,65	2017 12	2021 12	49	2017 12	2021 12	-1,38	2017 12	2021 12	-2,49	2021 2
		SPI-12	-44,28	1989 4	1991 11	41	1982 12	1986 04	-1,38	1989 4	1991 11	-3,40	1989 12
Niğde	17250	SPEI-12	-49,19	2004 2	2009 02	61	2004 2	2009 02	-1,39	2016 3	2018 11	-2,32	2021 5
		SPI-12	-64,61	1972 3	1975 07	41	1972 3	1975 07	-1,58	1972 3	1975 07	-2,83	1971 2
K.Hamam	17664	SPEI-12	-47,18	2006 4	2009 01	34	2006 4	2009 01	-1,42	2019 10	2021 12	-2,44	2007 11
		SPI-12	-46,40	2006 4	2009 01	34	2006 4	2009 01	-1,31	2006 4	2009 01	-2,94	2007 10
Nallıhan	17679	SPEI-12	-100,60	1991 9	1998 02	78	1991 9	1998 02	-1,29	1991 9	1998 02	-2,08	1995 2
		SPI-12	-172,44	1988 1	1998 06	126	1988 1	1998 06	-1,37	1988 1	1998 06	-2,67	1997 3
Beypazarı	17680	SPEI-12	-43,57	2012 4	2014 10	34	2006 4	2009 01	-1,43	2019 8	2021 12	-2,18	2013 3
		SPI-12	-38,06	2012 4	2014 09	34	1992 5	1995 02	-1,62	1973 6	1974 05	-2,49	1973 11
Zara	17716	SPEI-12	-75,43	2017 1	2021 12	60	2017 1	2021 12	-1,35	2012 4	2015 04	-2,49	2021 4
		SPI-12	-49,50	2019 3	2021 12	34	2019 3	2021 12	-2,12	2012 3	2013 04	-3,45	2021 5
Polath	17728	SPEI-12	-88,85	2016 6	2021 12	67	2016 6	2021 12	-1,33	2016 6	2021 12	-2,18	2021 5
		SPI-12	-29,45	1992 5	1995 02	34	1992 5	1995 02	-1,54	1989 3	1990 04	-2,34	1973 11
Kaman	17756	SPEI-12	-93,19	2016 6	2021 12	67	2016 6	2021 12	-1,39	2016 6	2021 12	-2,63	2021 5
		SPI-12	-41,70	2019 10	2021 12	28	2006 11	2009 02	-1,54	2019 10	2021 12	-2,97	2021 2
Develi	17836	SPEI-12	-60,72	2015 9	2020 05	57	2015 9	2020 05	-1,34	2020 7	2021 12	-2,53	2014 4
		SPI-12	-36,94	2013 12	2015 02	28	1972 12	1975 03	-2,46	2013 12	2015 02	-3,67	2014 4
Sarız	17840	SPEI-12	-54,71	2015 12	2019 05	42	2015 12	2019 05	-1,44	2019 10	2021 12	-2,12	2020 12

		SPI-12	-54,66	2011 10	2015 01	40	2011 10	2015 01	-1,40	2016 2	2018 11	-2,81	2014 2
Seydişehir	17898	SPEI-12	-38,39	1972 11	1975 01	27	1972 11	1975 01	-1,56	2001 1	2001 11	-2,34	2021 2
		SPI-12	-63,55	1971 2	1975 01	53	1982 11	1987 03	-1,53	2001 1	2001 11	-2,70	1974 6
Ulukışla	17906	SPEI-12	-30,58	2004 5	2007 05	37	2004 5	2007 05	-1,34	2020 12	2021 12	-2,07	2021 6
		SPI-12	-37,52	2004 5	2006 09	29	1989 5	1991 09	-1,57	1970 3	1971 05	-2,67	1989 10
Hadim	17928	SPEI-12	-52,16	2004 12	2009 04	53	2004 12	2009 04	-1,55	2001 1	2001 11	-2,40	2013 12
		SPI-12	-47,57	2004 12	2009 03	52	2004 12	2009 03	-1,65	2012 12	2015 02	-3,06	2013 12
İç ANADOLU BÖLGESİ		SPEI-12	-55,33	2004 2	2009 03	62	2004 2	2009 03	-1,36	2019 10	2021 12	-2,28	2021 5
		SPI-12	-36,73	1972 12	1975 03	28	1972 12	1975 03	-1,92	2001 1	2001 11	-2,62	2014 4

Bölge istasyonlarında SPI-12’de en uzun süren güçlü kuraklık Nallıhan istasyonunda (-172,44) yaşanmıştır. 1988/1 ayında başlayıp 126 ay sürmüştür. En yüksek kısa süreli şiddetli kuraklığın büyüklüğü Develi istasyonunda 2013/12 - 2015/2 ayları arasında (-2,46) Aşırı kurak olarak yaşanmıştır. Yaşanan ekstrem en yüksek kuraklık Develi istasyonunda 2014/4 ayında (-3,67) aşırı kurak gerçekleşmiştir. SPEI-12’de en uzun süren güçlü kuraklık Nallıhan istasyonunda (-100,60) yaşanmıştır. 1991/9 ayında başlayıp 78 ay sürmüştür. En yüksek kısa süreli şiddetli kuraklığın büyüklüğü Yozgat istasyonunda 2001/1 - 2002/3 ayları arasında (-1,70) şiddetli kurak olarak yaşanmıştır. Yaşanan ekstrem en yüksek kuraklık Kırıkkale istasyonunda 2008/4 ayında (-2,66) aşırı kurak gerçekleşmiştir.

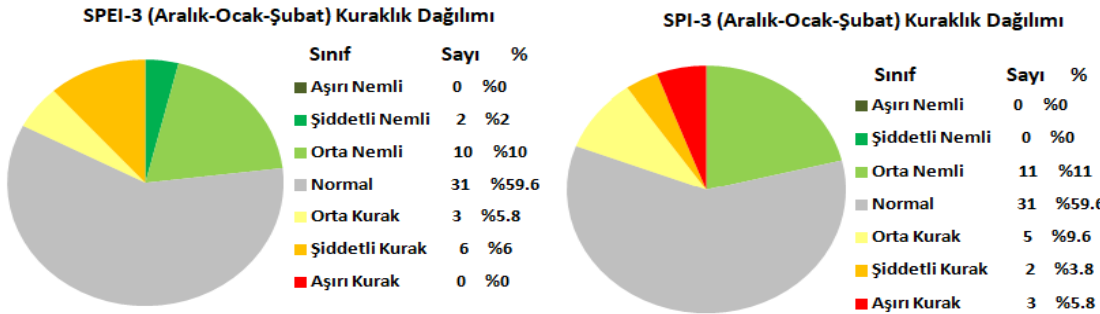
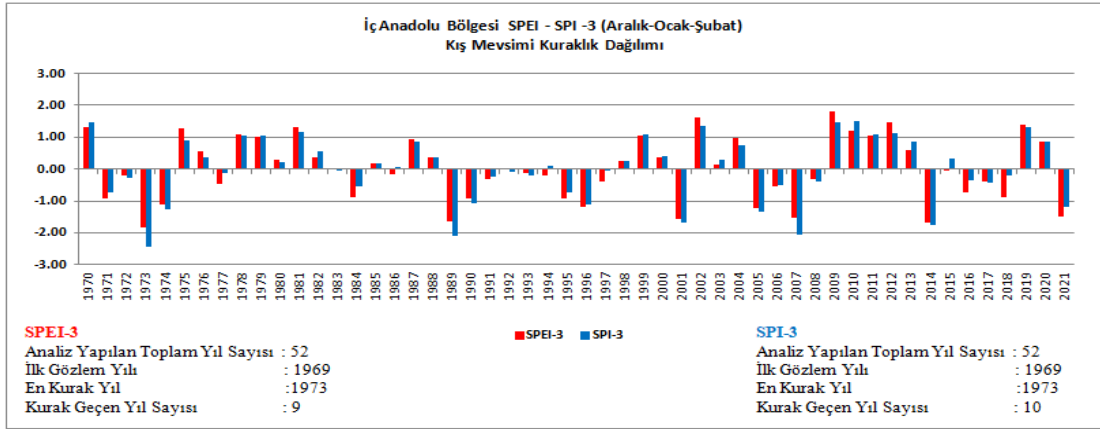
Bölgenin yıllık meteorolojik kuraklık analizinde; SPI’da 10 yıl kurak, 9 yıl ıslak ve 34 yıl normal (hafif kurak – hafif nemli) yıl tespit edilmiştir. 1982, 1989, 1993, 2004, 2008, 2020 ve 2021 yılları orta kurak, 1984 ve 2013 yılları şiddetli kurak ve 1973 yılı aşırı kurak olarak yaşanmıştır. En kurak geçen yıl 1973’dir. SPEI’da 8 yıl kurak, 10 yıl ıslak ve 35 yıl normal (hafif kurak – hafif nemli) yıl tespit edilmiştir. 1989, 1994, 2007, 2017 ve 2021 yılları orta kurak, 2008 ve 2013 yılları şiddetli kurak ve 2020 yılı aşırı kurak olarak yaşanmıştır. En kurak geçen yıl 2020’dir (Şekil 8).



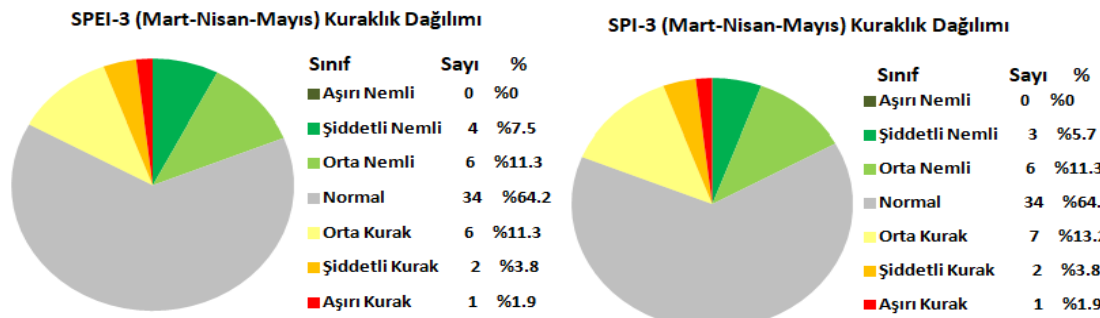
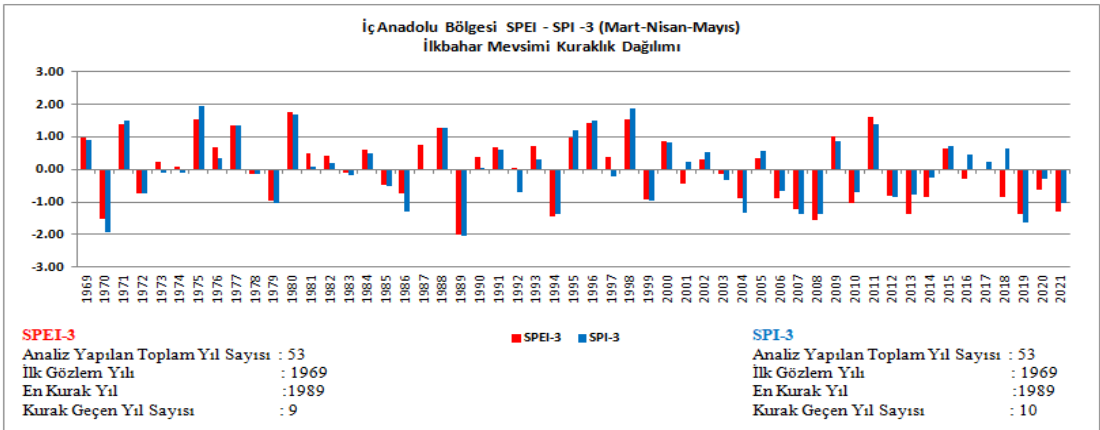
Şekil 8. İç Anadolu Bölgesi Yıllık SPEI/SPI Dağılımı

Bölgede 53 yıllık sürede; SPI’da 10 kış, 10 ilkbahar, 8 sonbahar ve 9 yaz kuraklığı görülürken, SPEI’da 9 kış, 9 ilkbahar, 10 sonbahar ve 8 yaz kuraklığı görülmüştür (Şekil 9-10-11-12). Kış mevsiminde; SPI’da 5 orta kurak, 2 şiddetli kurak, 3 aşırı kurak sınıf görülürken en kurak yıl 1973’dir. SPEI’da 3 orta kurak, 6 şiddetli kurak sınıf görülürken aşırı kurak sınıf hiç görülmemiştir. En kurak yıl 1973’dir (Şekil 9). İlkbahar mevsiminde; SPI’da 7 orta

kurak, 2 şiddetli kurak, 1 aşırı kurak sınıf görülürken en kurak yıl 1989'dur. SPEI'de 6 orta kurak, 2 şiddetli kurak, 1 aşırı kurak sınıf görülmüştür ve en kurak yıl 1989'dur (Şekil 10).

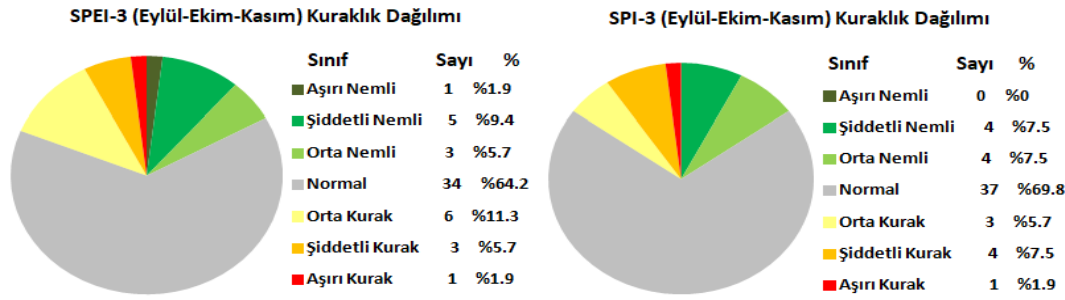
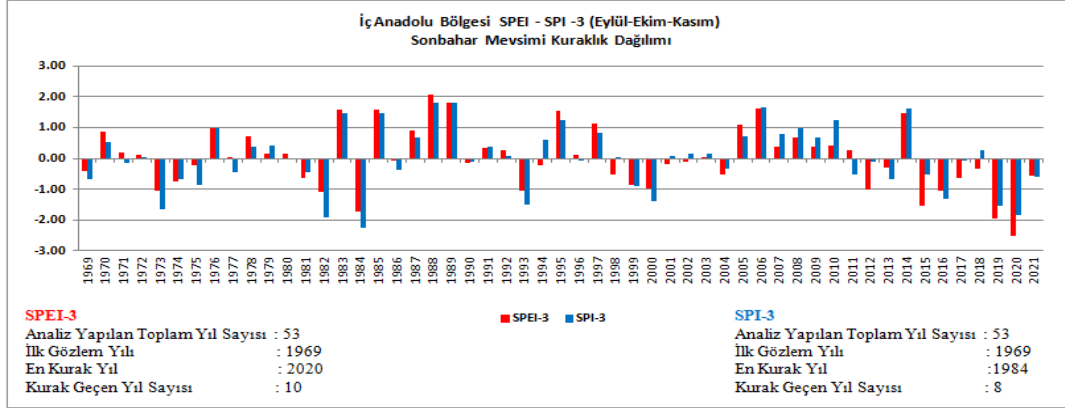


Şekil 9. İç Anadolu Bölgesi SPEI/SPI Yıllık Kış Mevsimi Dağılımı

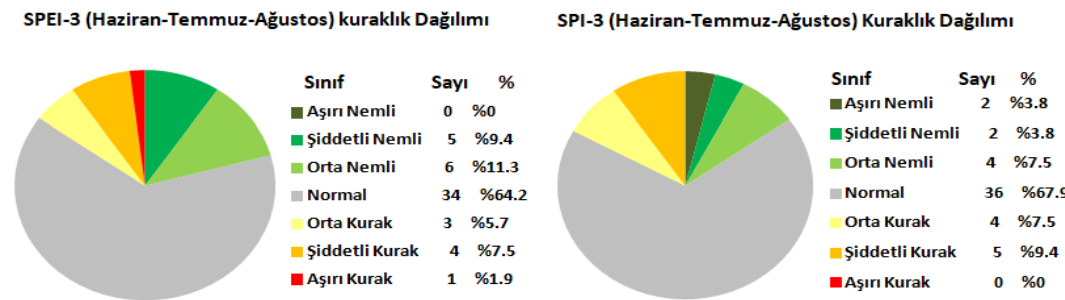
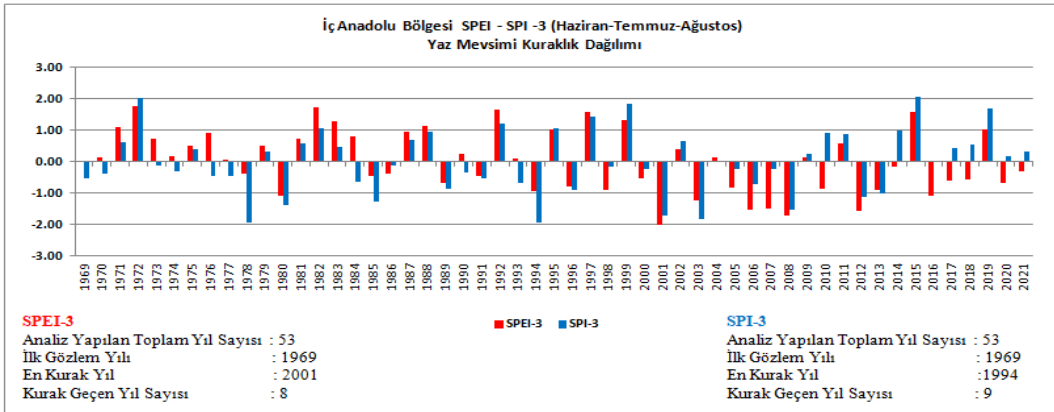


Şekil 10. İç Anadolu Bölgesi SPEI/SPI Yıllık İlkbahar Mevsimi Dağılımı

Sonbahar mevsiminde; SPI'de 3 orta kurak, 4 şiddetli kurak, 1 aşırı kurak sınıf görülürken en kurak yıl 1984'dür. SPEI'de 6 orta kurak, 3 şiddetli kurak, 1 aşırı kurak sınıf görülürken en kurak yıl 2020'dir (Şekil 11). Yaz mevsiminde; SPI'de 4 orta kurak, 5 şiddetli kurak sınıf görülürken aşırı kurak sınıf görülmemiştir. En kurak yıl 1994'dür. SPEI'de 3 orta kurak, 4 şiddetli kurak, 1 aşırı kurak sınıf görülürken en kurak yıl 2001'dir (Şekil 12).



Şekil 11. İç Anadolu Bölgesi SPEI/SPI Yıllık Sonbahar Mevsimi Dağılımı

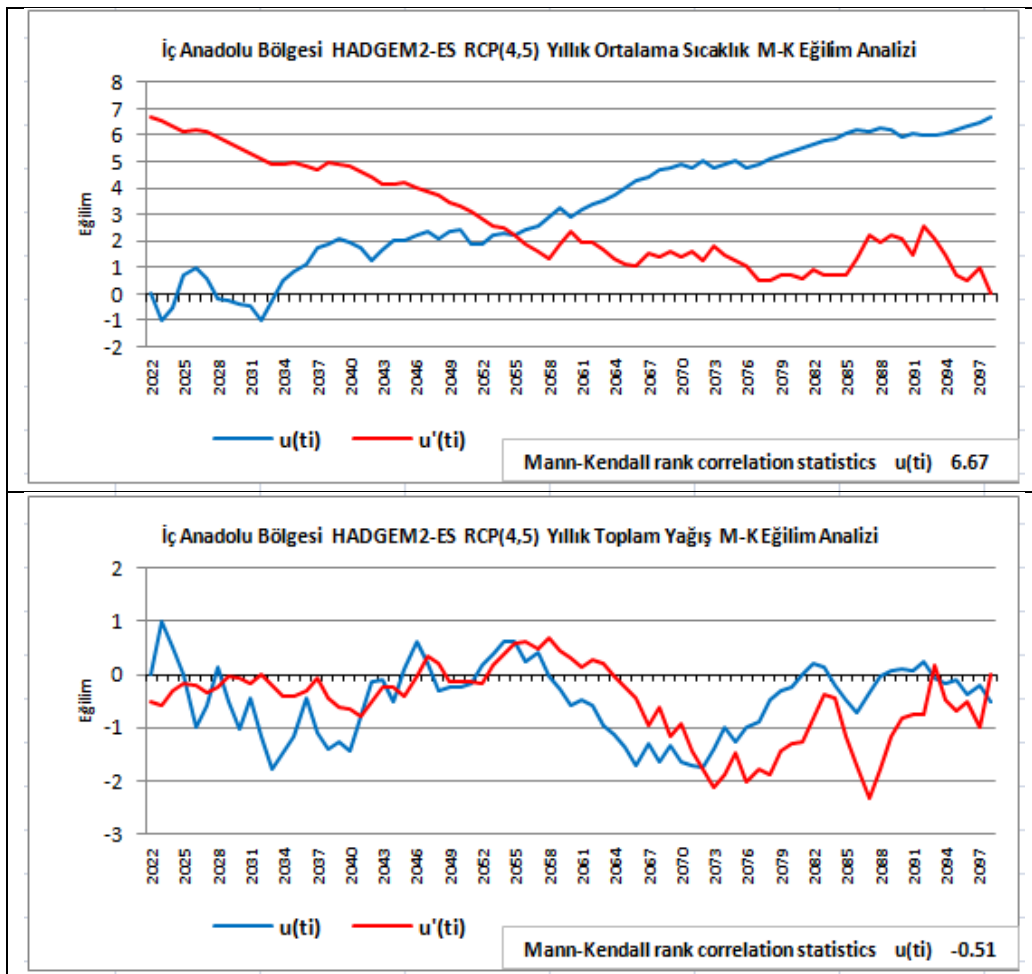


Şekil 12. İç Anadolu Bölgesi SPEI/SPI Yıllık Yaz Mevsimi Dağılımı

Bölgenin yaz mevsiminde artan yağışlarına rağmen SPEI’de ikinci dönemdeki (1995-2021) kuraklıklar dikkat çekicidir. İç Anadolu Bölgesi’nin iç kesimlerinde yıllık Potansiyel Evapotranspirasyonun %56,4 ünden fazlası sadece 3 yaz ayında (haziran, temmuz, ağustos) olmaktadır (MGM, 2016). Yaz sıcaklıklarının yüksek oluşu bölgede evapotranspirasyona etki eden en büyük etkidir. Bölgede artan kuraklık şiddet ve süre üzerinde; yağıştaki artışın potansiyel evapotranspirasyonda ki artış etkisi kadar etkili olmadığı görülmektedir.

Spinoni vd. (2016) çalışmasında; Türkiye, İrlanda, Orta Avrupa, Balkanlar, Letonya ve Estonya gibi ülkelerde artan kuraklık şiddeti üzerinde (Estonya hariç) yağıştaki artış eğiliminin PET teki artış eğilimi kadar önemli olmadığı vurgulanmıştır. Spinoni vd. (2017), Avrupada yaz kuraklıklarının diğer mevsimlerle karşılaştırılmasında, hem uzayda hem de mutlak değerlerde kuraklığın şiddetiyle etkilenen alandaki artışın, Akdeniz bölgesi, Türkiye ve Polonya üzerinde daha fazla olduğu, yaz aylarında ki kuraklıklarda sıcaklık artışının etkisinin açıkça görüldüğü sonucuna ulaşılmıştır.

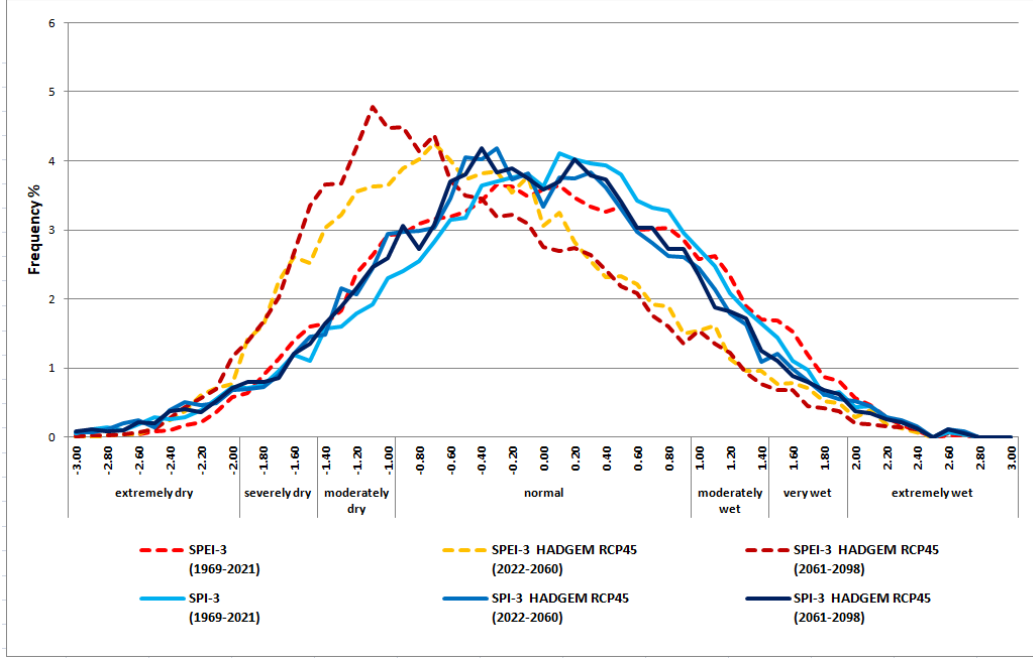
HadGEM2-ES (RCP4.5) bölgesel iklim projeksiyonun İç Anadolu Bölgesinde yıllık ortalama sıcaklıklarda sürekli bir artış eğilimi ve bu eğilimin 2060’lardan itibaren belirginleştiği ve yıllık toplam yağışlarda önemli bir yağış değişiminin tespit edilmediği (düzensiz bir rejim izlediği) öngörülmektedir (Şekil 13).



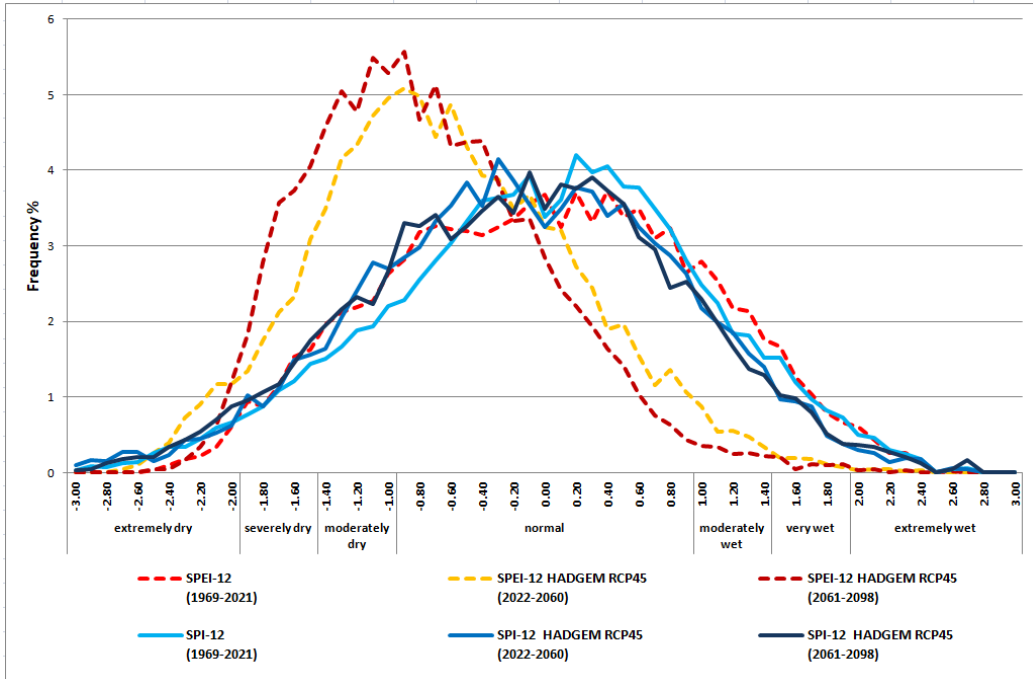
Şekil 13. İç Anadolu Bölgesi HADGEM2-ES RCP(4,5) Projeksiyonun Yıllık Ortalama Sıcaklık ve Yıllık Toplama Yağış M-K Eğilimleri

İklim değişikliğinin bölgede yaşanması muhtemel kuraklıklar üzerindeki etkileri SPEI-3 ve SPEI-12 aylık ölçeklerde her iki dönemde öngörülmektedir (Şekil 14-15). Buna karşın her iki dönemde SPI-3 ve SPI-12 aylık ölçekte yağış eksikliğinden kaynaklı kuraklıklar üzerinde önemli bir değişim görülmemektedir. Gelecekte yaşanması muhtemel kuraklıkların yağış azlığından ziyade sıcaklık artışına bağlı PET artış kaynaklı olacağı öngörülmektedir. Daha sıcak iklim ve daha yüksek potansiyel evapotranspirasyon; özellikle şehir merkezlerinde, tarımda ve suya bağımlı ekosistemlerde su talebini artıracaktır.

SPEI'nin en önemli avantajı, kuraklık değerlendirme sürecinde evapotranspirasyon ve sıcaklık değişkenliğinin rolünü çok iyi tanımlamasına karşın, SPI kuraklık koşullarında bir sıcaklık artışının rolünü belirleyemediği gibi iklim değişikliği senaryolarından bağımsız olarak sıcaklık değişkenliğinin etkisini ve ısı dalgalarının rolünü açıklama konusunda eksik kalmaktadır. Beguería vd. (2013), Homdee vd. (2016) yaptıkları çalışmalarda kurak ve yarı kurak iklimlerde SPI'nin zayıf performansını bildirirken, Byakatonda vd. (2018) iklim değişikliği sebebiyle SPEI'nin yarı kurak bölgelerdeki kuraklıkları karakterize etmede daha sağlam olduğu sonucuna varmışlardır.



Şekil 14. İç Anadolu Bölgesi SPEI-3 ve SPI-3 Aylık Ölçeklerde Mevcut Durum ve HadGEM2-ES RCP(4.5) Projeksiyon İndis Değişim Grafikleri



Şekil 15. İç Anadolu Bölgesi SPEI-12 ve SPI-12 Aylık Ölçeklerde Mevcut Durum ve HadGEM2-ES RCP(4.5) Projeksiyon İndis Değişim Grafikleri

4. Değerlendirmeler

Kuraklığın tarım ve su kaynakları başta olmak üzere pek çok alanda olumsuz etkileri bulunmaktadır. Bu çalışmada, meteorolojik değişkenlere bağlı en yaygın olarak kullanılan SPI ve SPEI indis yöntemleri ile kuraklık olaylarının özellikleri, yıllık ve mevsimsel değişimleri, iklim değişikliğinin kurak koşullar üzerindeki etkileri ve kuraklaşma eğilimi incelenmiştir. Meteorolojik kuraklıkta sıcaklığın rolünü değerlendirmek amacıyla yaşanmış kuraklık olaylarının analizi bölge ve istasyonlar temelinde her iki indis için 3 ve 12 aylık zaman ölçeğinde iki dönem hâlinde (1969-1994 / 1995-2021) incelenirken, yaşanması muhtemel kuraklaşma eğilimi iki dönem hâlinde (2022-2060 / 2061-2098) İç Anadolu Bölgesi için ele alınmıştır.

İç Anadolu Bölgesinde 1994 yılından sonraki sıcak artışının PET üzerinde yaratmış olduğu etki özellikle kurak koşullar üzerinde, mevcut dönemin ikinci yarısında (1995-2021) ve projeksiyonun her iki döneminde SPEI-3 ve SPEI-12 ölçeğinde görülmektedir. Türkiye için yapılan kuraklık projeksiyonları çalışmalarında iklim değişikliğinin yaşanması muhtemel kuraklıkların şiddet, süre, yoğunluk ve sıklığını arttıracığı ve kuraklığın yaratacağı olumsuz etkilerin gelecekte daha da fazla hissedileceği öngörülmektedir (Çamalan vd., 2017a-b; Çamalan, 2019a-b-c; Çamalan ve Çetin, 2022; URL 5). Yapılan bazı diğer çalışmalarda da (Ayva vd., 2023; Turan, 2018), gelecek yüzyılda Türkiye genelinde, özellikle güney bölgelerde sıcaklığın artışıyla beraber buharlaşmanın artacağı, yağışların ise azalacağı, buna bağlı olarak kuraklık olaylarının daha sık görüleceği ve havzalarda su potansiyelinin azalacağı sonucuna ulaşılmıştır. Kuraklığın etkileri en çok canlıların temel ihtiyacı olan gıda ve su kaynakları üzerinde görülmektedir. Bu nedenle kuraklığa ve iklim değişikliğinin kuraklığa olası katkılarına yönelik çalışmaların artırılması ve güncel eylem planlarının hazırlanması önemlidir.

Etik Beyanı

Bu makalenin yazarları, bu çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve / veya yasal-özel izin gerektirmediğini beyan etmektedir.

Yazar katkısı

Sorumlu yazar makalenin tasarımı, verilerin analizi ve yorumlanması; diğer yazarlar verilerin analizi ve yorumlanması kapsamında katkılar sağlamıştır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Teşekkür

Çalışmada kullanılan verileri sağlamasından dolayı Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- Akbaş, A., 2014, Türkiye Üzerindeki Önemli Kurak Yıllar, Coğrafi Bilimler Dergisi CBD, 12(2): 101- 118. https://doi.org/10.1501/Cogbil_0000000155
- Aktürk, G., Zeybekoğlu, U., Yıldız, O., 2022, SPI ve SPEI Yöntemleri ile Kuraklık Araştırması: Kırıkkale Örneği, International Journal of Engineering Research and Development, 14(2): 762-776. <https://doi.org/10.29137/umagd.1100886>
- Ayva, C., Atalay Dutucu, A., Ustaoglu, B., 2023, İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkisi Ve Uyum Önerileri: Kirazdere Havzası Örneği, Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 33(1): 47-64. <https://doi.org/10.18069/firatsbed.1131015>
- Bakanoğulları, F., Bahar, E., Kivrak, C., Gür, M., 2022, Assessment of Meteorological and Agricultural Drought Analysis in Kırklareli province, Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi, 19(4): 756-768. <https://doi.org/10.33462/jotaf.1060752>
- Baykal, T., Taylan, D., Terzi, Ö., 2023, Isparta İli için Gelecekteki Olası Meteorolojik Kuraklık

- Değerlendirmesi, Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 9(1): 90-100. <https://doi.org/10.21324/dacd.1165500>
- Beguería, S., Vicente-Serrano, S.M., Reig, F., Latorre, B., 2013, Standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI) Revisited: parameter fitting, evapotranspiration models, tools, datasets and drought monitoring, *Int. J. Climatol.*, 34 (10): 3001–3023. <https://doi.org/10.1002/joc.3887>
- Burton, I., Kates, R. W., White, G. F. 1978, *The Environment as Hazard*. Oxford University Press, 240 pp.
- Byakatonda, J, Parida, B.P., Moalafhi, D.B., Kenabatho, P.K., 2018, Analysis of long term drought severity characteristics and trends across semiarid Botswana using two drought indices, *Atmospheric Research*, 213: 492-508. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2018.07.002>
- Çamalan, G., Akgündüz, S., Ayvaci, H., Çetin, S., Arabacı, H., Coşkun, M., 2017-a, SPEI indisine göre Türkiye Geneli kuraklık değişim ve eğilim projeksiyonları, IV. Türkiye İklim Değişikliği Kongresi (TİKDEK), İstanbul, TURKEY.
- Çamalan, G., Akgündüz, S., Ayvaci, H., Çetin, S., Arabacı, H., Coşkun, M., 2017-b, According To The SPEI Drought Index, The Drought Trend Projection In Turkey For The Next Century, 8th Atmospheric Sciences Symposium (ATMOS 2017), Istanbul/TURKEY.
- Çamalan, G., Akgündüz, A.S., Çetin, S., Arabacı, H., 2019-a, SPEI Kuraklık İndisi ile Türkiye’de Kuraklık Olaylarının Analizi, 10. Ulusal Hidroloji Kongresi, Muğla Sıtkı Koçaman Üniversitesi, Muğla/TURKEY.
- Çamalan, G., Akgündüz, A.S., Çetin, S., Arabacı, H., 2019-b, Drought Projections Of Turkey With The Standardised Precipitation-Evapotranspiration Index, 9th Atmospheric Sciences Symposium (ATMOS 2019), Istanbul/TURKEY.
- Çamalan, G., Akgündüz, A.S., Çetin, S., Arabacı, H., 2019-c, Türkiye Meteorolojik Kuraklık Projeksiyonları, idRC2019 Uluslararası Afet ve Dirençlilik Kongresi Riskten Dirençliliğe, Eskişehir/TURKEY.
- Çamalan, G., Çetin, S., (2022). Türkiye Kuraklık Projeksiyonları. V.M.Çoşkun, H.Doğan, H.Eroğlu (Ed.) Çevre ve Meteoroloji içinde (s. 97-137). Sonçağ Yayıncılık
- Çetin, B., Kumanlioglu, A., 2023, Gediz Nehri Medar Havzası Meteorolojik ve Hidrolojik Kuraklık Analizleri, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 25(73): 167-180. <https://doi.org/10.21205/deufmd.2023257314>
- Duvan, A., Aktürk, G., Yıldız, O., 2021, Meteorolojik Kuraklığın Zamansal ve Alansal Özelliklerine İklim Değişikliğinin Etkisi, Sakarya Havzası Örneği, *Mühendislik Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi*, 3(2): 207-217. <https://doi.org/10.46387/bjesr.961816>
- Eşit, M., Yüce, M.İ., 2022. Çok Değişkenli Kuraklık Frekans Analizi ve Risk Değerlendirmesi: Kahramanmaraş Örneği, *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 8(2): 368-382. <https://doi.org/10.21324/dacd.1066958>
- Hayes, M.J., Svoboda, M.D., Wilhite, D.A., Vanyarkho, O.V., 1999, Monitoring the 1996 drought using the standardized precipitation index, *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 80(3): 429-438. [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1999\)080%3C0429:MTDUTS%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1999)080%3C0429:MTDUTS%3E2.0.CO;2)
- Homdee, T., Pongput, K., Kanae, S., 2016, A comparative performance analysis of three standardized climatic drought indices in the Chi River basin, Thailand. *Agric. Nat. Resour.*, 50(3): 211–219. <https://doi.org/10.1016/j.anres.2016.02.002>
- Kendall, M.G., 1975, *Rand Correlation Methods*, Charles Griffin, London, UK.
- Mann, H.B., 1945, Nonparametric tests against trend, *Econometrica*, 13, 245–259.
- MGM, 2015, Yeni Senaryolar ile Türkiye İklim Projeksiyonları ve İklim Değişikliği, TR2015-CC, Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Ankara.
- MGM, 2016, Thornthwaite İklim sınıflandırmasına göre Türkiye iklimi, Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Ankara.

- Oğuz, K., Pekin, M.A., Çamalan, G., 2021, Muğla İlinde 1960-2018 Dönemi Kuraklık Analizi, Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 7(1): 89-100, <https://doi.org/10.21324/dacd.774955>
- Oğuz, K., Çamalan, G., Pekin, M.A., 2022, Drought Analysis and Impact of Drought on Crop Yield in Nevşehir City, Nevşehir Journal of Science and Technology, 11(2): 16-30, <https://doi.org/10.17100/nevbiltek.1180084>
- Ozguler, H. , Yıldız, D., 2020, Consequences of the Droughts in the Euphrates - Tigris Basin, International Journal of Water Management and Diplomacy, 1(1): 29-40.
- Poyrazoğlu, M., Arıman, S., 2022, Drought analysis of Kahramanmaraş province with standardized precipitation index method, Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, IOCENS'21 Konferansı Ek Sayısı, 39-52, <https://doi.org/10.17714/gumusfenbil.1000949>
- Spinoni, J., Naumann, G., Vogt, J., Barbosa, P., 2016, Meteorological Droughts in Europe: Events and Impacts – Past Trends and Future Projections, Publications Office of the European Union, Luxembourg, EUR 27748 EN, doi:10.2788/450449.
- Spinoni, J., Naumann, G., Vogt, J.V., 2017, Pan-European seasonal trends and recent changes of drought frequency and severity, Global and Planetary Change, 148(2017): 113-130. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2016.11.013>
- Wilhite, D.A., Glantz, M.H., 1985, Understanding the drought phenomenon: The role of definitions, Water Int., 10: 111–120. <https://doi.org/10.1080/02508068508686328>
- Wilhite, D.A., 1993, Drought Assessment, Management, and Planning: Theory and Case Studies, Natural Resource Management and Policy Series, Vol. 2, Kluwer, 293 pp.
- Van Loon, A.F., 2015, Hydrological drought explained, Wiley Interdiscipl. Rev. Water, 2(4): 359-392. <https://doi.org/10.1002/wat2.1085>
- Vicente-Serrano, S.M., Begueria, S., Lopez-Moreno, J.I., 2010, A multiscalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index, J. Climate, 23(7): 1696–1718. <https://doi.org/10.1175/2009JCLI2909.1>
- Thorntwaite, C.W., 1948, An approach toward a rational classification of climate, Geogr. Rev., 38: 55-94. <https://doi.org/10.2307/210739>
- Tuğrul, T., Hınıs, M.A., 2022, Apa Barajında Kuraklık Analizi, Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Dergisi, 4(2): 161-178. <https://doi.org/10.55213/kmujens.1210753>
- Turan, E.S., 2018, Türkiye'nin İklim Değişikliğine Bağlı Kuraklık Durumu, Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 4(1): 63-69. <https://doi.org/10.21324/dacd.357384>
- Türkeş, M., 2012, Türkiye’de Gözlenen ve Öngörülen İklim Değişikliği, Kuraklık ve Çölleşme, Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi, 4(2): 1-32. https://doi.org/10.1501/Csaum_0000000063
- URL 1, <http://cografyaharita.com/index.html>. (Son Erişim: 30 Ocak 2023).
- URL 2, <https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/standardized-precipitation-evapotranspiration-index-spei>. (Son Erişim: 10 Şubat 2023).
- URL 3, <https://spei.csic.es/index.html>. (Son Erişim: 15 Şubat 2023).
- URL 4, <https://real-statistics.com/time-series-analysis/time-series-miscellaneous/mann-kendall-test/>. (Son Erişim: 20 Şubat 2023).
- URL 5, <https://www.mgm.gov.tr/FILES/genel/raporlar/kuraklilprojeksiyon.pdf> (Son Erişim: 15 Haziran 2023).