

ALKÜ FEN BİLİMLERİ
DERGİSİ



ALANYA
ALAADDİN
KEYKUBAT
ÜNİVERSİTESİ

Cilt:3 Sayı:1 Ocak-Nisan 2021

Volume:3 Issue:1 January-April 2021

ALKU
JOURNAL of SCIENCE

e-ISSN 2667-7814

Alanya
Alaaddin Keykubat University

DERGİNİN KÜNYESİ / JOURNAL INFO

Derginin Adı / Journal Name: ALKÜ Fen Bilimleri Dergisi / ALKU Journal of Science

Kısa Adı/ Short Name:

e-ISSN: 2667-7814

doi prefix: 10.46740/alku.

Yayın Dili / Publication Language : Türkçe / English

Yayın Periyodu / Publication Period: Yılda üç kez (Nisan, Ağustos ve Aralık) / Three times a year (April, August, and December)

Sahibi / Owner: Prof. Dr. Ekrem KALAN, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi rektörü

Sorumlu Yazı İşleri Müdürü / Publishing Manager: Dr. Öğr. Üyesi Sefa YILDIRIM

Kuruluş / Establishment: ALKÜ Fen Bilimleri Dergisi, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi tarafından tüm mühendislik bilimleri ve temel bilimler alanında yılda 3 kez yayınlanan hakemli bir dergidir. Dergimizde, Türkçe ve İngilizce dillerinde orijinal araştırma çalışmaları ve derlemeler yayımlanmaktadır. Bu dergi, hakemli ve açık erişimli bir uluslararası mühendislik bilimleri ve temel bilimler dergisidir. Değerlendirme ve yayınlanma süreçlerinde yazarlardan ücret talep edilmez.

ALKU Journal of Science is an international, peer-reviewed journal which published by Rafet Kayış Engineering Faculty of Alanya Alaaddin Keykubat University in all areas of engineering and basic science. ALKU Journal of Science is a triannually published open access journal operating an online submission and peer review system which allows authors to submit articles online and track their progress. No charges are required from the authors for all the publication steps

Dizinler ve Platformlar / Indexing and Platforms: Google Scholar, Cosmos Impact Factor, ResearchBip, Bielefeld Academic Search Engine (BASE), Asos Index, International Innovative Journal Impact Factor(IIJIF), Scientific Indexing Services(SIS)

Web Adresi/ Web address : <https://dergipark.org.tr/tr/pub/alku>

Yayınlayan Kuruluş / Publisher : Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi / Alanya Alaaddin Keykubat University

Makale gönderim ve takip sistemi / Article submission and tracking system: ULAKBİM Dergi Sistemleri, <https://dergipark.org.tr/tr/pub/alku>

Web barındırma ve teknik destek / Web hosting and technical support: Dergipark Akademik <http://dergipark.gov.tr/>

İletişim / Contact: Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, Alanya, Antalya. E-mail: alkufenbilimleridergisi@alanya.edu.tr Tel/Phone: 0242 5106060 (2545)

EDİTÖR / EDITOR

Dr. Öğr. Üyesi Sefa Yıldırım, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü. Alanya, Antalya

ALAN EDİTÖRLERİ / SUBJECT EDITORS

Dr. Öğr. Üyesi Bertan Beylergil, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü. Alanya, Antalya
Subject: Mechanical/Aerospace/Materials Science Engineering
Alan: Mekanik/ Uzay/ Malzeme Bilimi Ve Mühendisliği

Doç. Dr. Umut Tosun, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü Alanya, Antalya
Subject: Computer Engineering
Alan: Bilgisayar Mühendisliği

Dr. Öğr. Üyesi Aslı Giray, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, Genetik ve Biyomühendislik Bölümü. Alanya, Antalya
Subject: Genetics And Bioengineering
Alan: Genetik ve Biyomühendislik

Dr. Öğr. Üyesi Işık Çiçek, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, İşletme Mühendisliği Bölümü. Alanya, Antalya
Subject: Management Engineering
Alan: İşletme Mühendisliği

Dr. Öğr. Üyesi Didem Sarı Ay, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü. Alanya, Antalya
Subject: Industrial Engineering
Alan: Endüstri Mühendisliği

Dr. Öğr. Üyesi Murat Aksel, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü Alanya, Antalya
Subject: Civil Engineering
Alan: İnşaat Mühendisliği

Dr. Öğr. Üyesi Ciğdem Dülgerbaki, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, Temel Bilimler Bölümü. Alanya, Antalya
Subject: Chemistry
Alan: Kimya

Dr. Öğr. Üyesi İrem Küçükkoğlu, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, Temel Bilimler Bölümü. Alanya, Antalya
Subject: Mathematics
Alan: Matematik

YAYIN KURULU / PUBLISHING BOARD

Hüseyin AKILLI (Prof. Dr., Çukurova Üniversitesi)
Gökhan APAYDIN (Prof. Dr, Karadeniz Teknik Üniversitesi)
Naci ÇAĞLAR (Prof. Dr., Sakarya Üniversitesi)
Hakan ÇELEBİ (Doç. Dr, Aksaray Üniversitesi)
Rossana DIMITRI (Dr. Öğr. Üyesi, University of Salento)
Tamio ENDO (Prof. Dr., Advanced Chemicals, Mie University)
John GELEGENIS (Prof. Dr., Technological Educational Institute of Athens)
Viktor GRIBNIAKN (Prof. Dr., Vilnius Gediminas Technical University)
Anastas IVANOV IVANOV (Doç. Dr., Todor Kableskov Higher School of Transport)
İlker Murat KOÇ (Doç. Dr., İstanbul Teknik Üniversitesi)
Anatoli I POPOV (Prof. Dr., University of Latvia)
Bilsay SÜMER (Dr. Öğr. Üyesi, Hacettepe Üniversitesi)
Cevat SARIOĞLU (Prof. Dr., Marmara Üniversitesi)
Francesco TORNABENE (Dr. Öğr. Üyesi, University of Bologna)
Jamal Seyyed Monfared ZANJANI (Dr., University of Twente)

ALKÜ FEN BİLİMLERİ DERGİSİ 2021:3(1) ALKU JOURNAL OF SCIENCE 2021:3(1) İçindekiler / Contents

1. A non-analog Monte Carlo simulation method for slab albedo problem with linear-anisotropic scattering / Lineer-anizotropik saçılma ile slab albedo problemi için bir Analog Olmayan Monte Carlo simülasyon yöntemi
Bahram Maleki
.....1-13
2. Burgers Benzeri Denklemin Bazı Seyahat Eden Dalga Çözümleri / Some Travelling Wave Solutions of Burgers Like Equation
İbrahim Enam İnan, Doğan Kaya
.....14-28
3. Büyükşehirlerin Kanalizasyon Hatlarının Etkili İşletmesi, İstanbul Örneği / Effective Operation of Sewerage Lines of Metropolitan Cities and the Case of İstanbul
Mehmet Dikici
.....29-43
4. Sakarya İlindeki Halk Pazarlarında Açıkta Satılan Beyaz Peynirlerin Mikrobiyal Kalitelerinin Belirlenmesi / Determination of Microbial Quality of White Cheese That Sale In Sakarya Bazaars
Zeliha Gödek, Nilay Mustafa, Alican Bahadır Semerci, Kenan Tunç
.....44-49
5. Tapu ve Kadastro Programlarının Power Testi ile İncelenmesi, Ardanuç Örneği
Selim Taşkaya
.....50-65
6. Killi Zeminlerin Özelliklerinin Uçucu Kül Kullanarak İyileştirilmesi / Improvement Of the Properties Of Clayed Soils By Using Fly Ash
Kaveh Dehghanian
.....66-72

A non-analog Monte Carlo simulation method for slab albedo problem with linear-anisotropic scattering

Bahram R. Maleki¹ *

¹ Department of Nuclear Engineering, Hacettepe University, Beytepe, Ankara 06800, Turkey

* Bahram.maleki@hacettepe.edu.tr

Abstract

In this study, a non-analog Monte Carlo method is developed to simulate the albedo and transmission factor of an infinite non-multiplying slab medium subjected to a direction-dependent one-speed neutron beam on the left side. In order to obtain more precise results different variance reduction techniques such as forced collision, implicit capture, and Russian-Roulette are taken into consideration. For different incident directions of the neutrons and in the case of both isotropic and linear anisotropic scatterings, the albedo and transmission factor are estimated from the Monte Carlo and compared with the results obtained from the $H_{N=7}$ deterministic method. It is seen that in most cases, the results of both Monte Carlo and $H_{N=7}$ methods are comparable with each other. In some cases, it is also observed that the deterministic method falls short in predicting the albedo and transmission factor, whereas, in contrast, the results of the Monte Carlo are physically meaningful.

Keywords: Anisotropic Scattering, Neutron transport, Monte Carlo, Albedo, Transmission factor

Lineer-anizotropik saçılma ile slab albedo problemi için bir Analog Olmayan Monte Carlo simülasyon yöntemi

Özet

Bu çalışmada, sol taraftan bir anizotropik ve tek hızlı nötron demetine maruz kalan sonsuz çoğaltıcı olmayan bir levha ortamının albedo ve iletim faktörünü simüle etmek için analog olmayan bir Monte Carlo yöntemi geliştirilmiştir. Daha yüksek hassasiyete sahip sonuçlar elde etmek için, simülasyon sırasında zorla çarpışma, örtük yakalama ve Russian-Roulette gibi farklı varyans azaltma teknikleri kullanılmıştır. Nötronların farklı geliş yönleri için, hem izotropik hem de lineer anizotropik saçılımlar durumunda, albedo ve iletim faktörü Monte Carlo'dan tahmin edilip ve $H_{N=7}$ deterministik yönteminden elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Çoğu durumda Monte Carlo ve $H_{N=7}$ Metotlarının sonuçlarının birbiriyle karşılaştırılabilir olduğu görülmektedir. Bazı durumlarda, deterministik yöntemin albedo ve iletim faktörünü tahmin etmede yetersiz kaldığı, buna karşın Monte Carlo'nun sonuçlarının fiziksel olarak anlamlı olduğu görülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Anizotropik saçılma, Nötron transport, Monte Carlo, Albedo, İletim faktörü.

1. INTRODUCTION

In nuclear reactors, the behavior of the neutron is described by the integro-differential neutron transport equation. To learn the neutronic behavior of the systems such as scalar flux, reaction rate, reactor power, etc. we need to solve either the time-dependent or steady-state forms of the neutron transport equations. Unfortunately, except for some simple cases, the neutron transport equations cannot be solved analytically. The main reason is the high number of variables. It is a seven-dimensional problem: three dimensions in space (x, y, z), two in direction ($\mu = \cos \theta, \varphi$), one in energy (E) and one in time (t). Both deterministic and stochastic (i.e., Monte Carlo) solution methods are being used to solve and simulate the neutron transport equations, respectively [1-4].

Deterministic solution methods, by discretizing energy, space, and time variables, using the appropriate approximations for the angular dependency, and finally by applying the boundary and initial conditions, a group of mathematical equations are formed and solved numerically. In addition to numerical solutions error, thus obtained results contain truncation and discretizing errors as well. Deterministic methods are faster, but fall short in addressing the nuclear systems with complex geometries, strong anisotropy of neutron scattering, and complicated neutron energy spectrums [1,4].

Monte Carlo method is a stochastic simulation method that is used to solve deterministic problems using randomly generated numbers between zero and one. In Monte Carlo method, without dealing with the integro-differential equations and also without using different approximations, the neutron motions and interaction types are sampled randomly and used to simulate the neutronic behavior of the system. This solution method can be easily applied on the problems with complex geometry and continuous energy. One of the most restriction in utilizing these methods is the significant Central Processing Unit (CPU) time-cost and uncertainty of the results. Nowadays, advances in computational capabilities render Monte Carlo methodology feasible. The imposed variances can be reduced by increasing the particle numbers in the simulation. However, the technical difficulties in using a large number of histories led to the development and use of several variance reduction techniques [4-9].

In the slab albedo problem, a one-speed non-multiplying slab of the thickness of τ cm, extended from $z = -a$ to $z = a$ and surrounded by the vacuum, is taken into account. Schematic representation of the problem is presented in Figure 1. The angular dependent neutron beam incident on the left side of the slab and on the other surface there is no neutron entrance. Moreover, the neutron scattering is assumed to be linearly anisotropic [10-13].

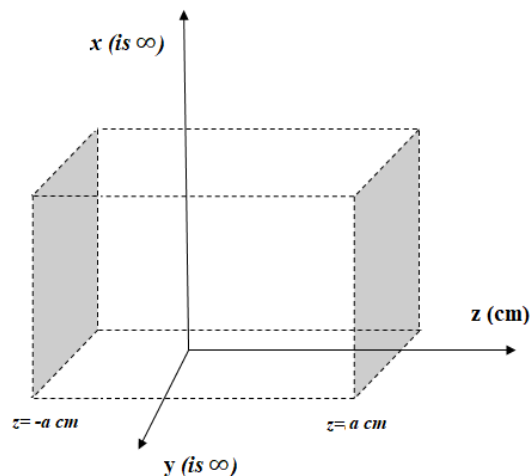


Figure 1. Schematic representation of the non-multiplying infinite slab media.

$$\psi(z = -a, \mu > 0) = \mu^\beta \tag{1}$$

$$\psi(z = a, \mu < 0) = 0.0 \tag{2}$$

where μ is direction cosine and is equal to $\vec{\Omega} \cdot \hat{z}$, $\vec{\Omega}$ is the neutron direction, $\psi(z, \mu) = \int_0^{2\pi} \psi(z, \Omega) d\varphi$ represents the azimuthally integrated angular flux and β is an integer constant.

The one speed, steady-state and azimuthally integrated neutron transport equation for a homogeneous non-multiplying slab media with linear anisotropic scattering is expressed as follows:

$$\mu \frac{\partial \psi(z, \mu)}{\partial z} + \Sigma_t \psi(z, \mu) = \frac{\Sigma_{s_0}}{2} \int_{-1}^1 [1 + 3f_1 P_1(\mu') P_1(\mu)] \psi(z, \mu') d\mu' \tag{3}$$

where Σ_t is the neutron total macroscopic cross section, Σ_{s_0} is the total scattering cross section which is also referred to as zeroth moment of the scattering kernel, f_1 is equal to $\Sigma_{s_1}/\Sigma_{s_0}$ and is named as mean scattering cosine, Σ_{s_1} is the first moment of the scattering kernel that can take both positive and negative values, and $P_1(\mu) = \mu$ is the first order Legendre polynomial. The mean number of secondary neutrons per collision is denoted by c and expressed as the ratio of Σ_{s_0} to Σ_t [14,15].

The scattering kernel that is used in azimuthally integrated neutron transport equation of one-dimensional problems is as follows.

$$\Sigma_s(\mu' \rightarrow \mu) = \sum_{l=0}^{\infty} \frac{2l+1}{2} \Sigma_{s_l} P_l(\mu') P_l(\mu) \tag{4}$$

$\Sigma_s(\mu' \rightarrow \mu)$ describes the probability that a neutron with initial direction cosine of μ' undergoes scattering event and takes a new direction with direction cosine of μ .

Different types of deterministic solution methods were presented to solve the azimuthally integrated neutron transport equations with linearly anisotropic scattering in slab geometry [10-13].

For one-speed problems, the Legendre polynomial expansion of the scattering kernel in general form is expressed as shown in Eq. (5), which describes the probability that a neutron with an initial direction of $\vec{\Omega}'$ is scattered into a new direction of $\vec{\Omega}$ [14-18].

$$\Sigma_s(\vec{\Omega}' \rightarrow \vec{\Omega}) = \frac{1}{2\pi} \Sigma_s(\vec{\Omega}' \cdot \vec{\Omega}) = \sum_{l=0}^{\infty} \frac{2l+1}{4\pi} \Sigma_{s_l} P_l(\vec{\Omega}' \cdot \vec{\Omega}) \tag{5}$$

It is a well-known fact that the scattering is rotationally invariant in one-dimensional problems, that is, the probability that a neutron be scattered from direction $\vec{\Omega}'$ to a new direction $\vec{\Omega}$ only depends on the scattering angle θ_b between $\vec{\Omega}$ and $\vec{\Omega}'$. Therefore, the $\Sigma_s(\vec{\Omega}' \cdot \vec{\Omega})$ can be expressed as follows:

$$\Sigma_s(\mu_b) = \sum_{l=0}^{\infty} \frac{2l+1}{2} \Sigma_{s_l} P_l(\mu_b) \tag{6}$$

where μ_b is called the scattering cosine.

$$\vec{\Omega}' \cdot \vec{\Omega} = \mu_b = \cos(\theta_b) \quad (7)$$

In this manuscript, a novel non-analog Monte Carlo methodology is provided to estimate the albedo and transmission factor of the slab media with linear anisotropic scattering. The obtained results are compared with the results obtained from the H_N deterministic method.

2. NON-ANALOG MONTE CARLO METHOD

To start the Monte Carlo simulation, it is assumed that N_n number of neutrons of the weight of $w_0 = 1$ incident on the left surface of the slab at $z_0 = -a$ cm. In order to sample the incident neutrons directions, the incoming current boundary condition on the left boundary is taken into consideration.

$$J_{in}(-a) = \int_0^1 \mu \psi(-a, \mu) d\mu = \frac{1}{(\beta + 2)} \quad (8)$$

Thus, $(\beta + 2) \mu \psi(-a, \mu)$ can be considered as the probability density function for the incident neutrons' directions. By calculating the cumulative distribution function and using the inverse transform method the incident direction of the neutrons is sampled as follows:

$$\mu_0 = \xi^{\frac{1}{\beta+2}} \quad (9)$$

where ξ represents a uniformly distributed random number between zero and one.

The azimuthal angle of the incident neutron is randomly sampled as:

$$\varphi_0 = 2\pi\xi \quad (10)$$

Due to the inability of using a large number of histories in the Monte Carlo simulations, killing a neutron due to leakage imposes an additional variance on the simulation results. To overcome this problem, the forced collision variance reduction technique is implemented: $e^{-\Sigma_t d_s}$ fraction of the neutron weight is killed due to leakage and the remaining weight is forced to do a collision after traveling a path length of d ($\in [0, d_s]$). Here d_s is the minimum distance to surface in the neutron direction. This method causes neutron to live longer and subsequently have more chance to score, that is, the forced collision technique increases sampling of collisions in specified regions.

$$w_{leak} = w_0 e^{-\Sigma_t d_s} \quad (11)$$

$$w_{int} = w_0 (1 - e^{-\Sigma_t d_s}) \quad (12)$$

$$d = -\frac{1}{\Sigma_t} \ln[1 - \xi(1 - e^{-\Sigma_t d_s})] \quad (13)$$

The new position of the neutron is calculated as:

$$z = z_0 + d\mu_0 \tag{14}$$

In order to minimize the imposed variance due to absorption of a neutron, implicit capture variance reduction technique is implemented. Therefore, Σ_a/Σ_t fraction of the w_{int} is killed due to absorption and the remaining weight undergoes a scattering event.

To sample the new direction of the scattered neutron, first the scattering cosine and its corresponding azimuthal angle are sampled. To sample the scattering cosine the given expression for $\Sigma_s(\mu_b)$ in Eq. (6) is used. Since the $\int_{-1}^1 \Sigma_s(\mu_b) d\mu_b$ is equal to Σ_{s_0} , therefore, $\Sigma_s(\mu_b)/\Sigma_{s_0}$ can be taken as the probability density function for the μ_b .

$$Pdf(\mu_b) = \frac{\Sigma_s(\mu_b)}{\Sigma_{s_0}} = \frac{1}{2} + \frac{3}{2} f_1 \mu_b + \dots + \frac{2N + 1}{2} \frac{\Sigma_{s_N}}{\Sigma_{s_0}} P_N(\mu_b) + \dots \tag{15}$$

The given expression in Eq.(15) is always a positive quantity. In the case of the linearly anisotropic scattering, the two first terms of the series expansion are taken into account. in this case, for $1 < |3f_1| \leq 3$ the $Pdf(\mu_b)$ may become negative, which is an unacceptable condition for the density function, therefore, it cannot be used as a probability density function to sample the scattering cosine. To overcome this difficulty, a sampling method for selecting the scattering angle from the linearly anisotropic distribution function was developed by Coveyou [19-21]. According to this method, the corresponding probability density function for the positive f_1 values is expressed in the form of:

$$Pdf(\mu_b) = \begin{cases} \frac{1}{2} (1 + 3 f_1 \mu_b) & , if 3f_1 \leq 1 \\ \frac{3}{2} (1 - f_1) \left(\frac{1 + \mu_b}{2}\right) + \frac{1}{2} (3f_1 - 1) \delta(\mu_b - 1) & , 1 < 3f_1 \leq 3 \end{cases} \tag{16}$$

The density function corresponding to negative f_1 values is obtained by changing the signs of the f_1 and μ_b in Eq. (16).

In this manuscript, we deal with positive f_1 values. Also, we follow a different sampling method from Coveyou’s method. In our case, the probability density function is re-written as follows.

$$Pdf(\mu_b) = \begin{cases} \frac{1}{2} (1 - 3 f_1) + 3f_1 \left(\frac{1 + \mu_b}{2}\right) & , 3f_1 \leq 1 \\ \frac{3}{2} (1 - f_1) \left(\frac{1 + \mu_b}{2}\right) + \left(1 - \frac{3}{2} (1 - f_1)\right) \delta(\mu_b - 1) & , 1 < 3f_1 \leq 3 \end{cases} \tag{17}$$

For the cases that $3f_1 \leq 1$, a uniformly distributed random number ξ ($\in [0,1]$) is generated. If the ξ be less than $3f_1$ then the $Pdf(\mu_b)$ is taken equal to $\left(\frac{1+\mu_b}{2}\right)$ and used to sample μ_b . Otherwise, $Pdf(\mu_b)$ is taken equal to $\frac{1}{2}$.

$$Pdf(\mu_b) = \frac{1 + \mu_b}{2} \rightarrow \mu_b = -1 + 2\sqrt{\xi} \tag{18}$$

$$Pdf(\mu_b) = \frac{1}{2} \rightarrow \mu_b = -1 + 2\xi \tag{19}$$

In contrast, for the case that $1 < 3f_1 \leq 3$, a uniformly distributed random number $\xi (\in [0,1])$ is generated. If the ξ be less than $\frac{3}{2}(1 - f_1)$ then the $Pdf(\mu_b)$ is taken equal to $\left(\frac{1+\mu_b}{2}\right)$. Otherwise, $Pdf(\mu_b)$ is taken equal to $\delta(\mu_b - 1)$ and subsequently μ_b becomes equal to +1, that is, neutron does not change its direction. The corresponding azimuthal angle for the scattering cosine is sampled randomly as follows:

$$\Phi_b = 2\pi\xi \tag{20}$$

As shown in Figure 2, Φ_b and θ_b are the azimuthal and polar angles of the scattered neutron with respect to its initial direction. These angles are used to obtain the actual direction of the scattered neutron.

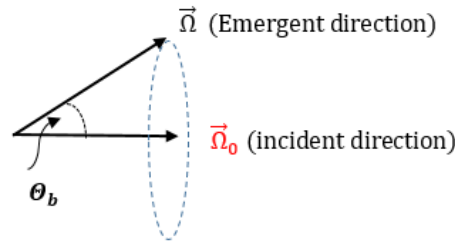


Figure 2. Schematic representation of scattering cosine.

For a particle with initially direction of $\vec{\Omega}_0 = (\sqrt{1 - \mu_0^2} \cos(\varphi_0), \sqrt{1 - \mu_0^2} \sin(\varphi_0), \mu_0)$ that is scattered by angles θ_b and Φ_b with respect to the initial direction. The new direction is given by [22,23]:

$$\mu = \mu_0\mu_b - \sqrt{1 - \mu_0^2} \sqrt{1 - \mu_b^2} \cos(\Phi_b) \tag{21}$$

$$\cos(\varphi) = \frac{1}{\sqrt{1 - \mu^2}} \left[\sqrt{1 - \mu_0^2} \times \mu_b \cos(\varphi_0) + \sqrt{1 - \mu_b^2} \times [\mu_0 \cos(\Phi_b) \cos(\varphi_0) - \sin(\Phi_b) \sin(\varphi_0)] \right] \tag{22}$$

$$\sin(\varphi) = \frac{1}{\sqrt{1 - \mu^2}} \left[\sqrt{1 - \mu_0^2} \times \mu_b \sin(\varphi_0) + \sqrt{1 - \mu_b^2} \times [\mu_0 \cos(\Phi_b) \sin(\varphi_0) + \sin(\Phi_b) \cos(\varphi_0)] \right] \tag{23}$$

In this case, first of all, the μ value is obtained from the Eq. (21), then by using this value the best azimuthal angle that satisfies both Eqs. (22) and (23) are calculated.

To track the transport of the scattered neutron, z_0 , w_0 , μ_0 and φ_0 values are updated to z (Σ_s/Σ_t) w_{int} , μ and φ respectively. The transport of each neutron is monitored until it is killed by Russian-Roulette method.

In the Russian-Roulette method, a threshold weight and a survival weight which are designated by w_{rr} and w_{sur} , respectively, are selected. For the cases that the scattered neutron weight is less than the threshold weight ($w_0 < w_{rr}$) a random number is generated; if this random number be less than the $P_{sur}(= w_0/w_{sur})$ the particle with the new weight of $w_0(= w_{sur})$ is survived; otherwise, the neutron is killed and transport of the other neutrons is simulated. In this manuscript, the threshold and survival weight are set to

$0.25 w_{avinc}$ and $0.5w_{avinc}$, where the w_{avinc} denotes the average weight of the incident neutron and is equal to unity.

Albedo is defined as the reflection probability of the incident neutron and denoted by α . The transmission factor is defined as the transmission probability of the incident neutrons that leak out the scattering region at $z = a$ and denoted by κ . These quantities are tallied as follows.

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^{N_{Ll}} w_{0i} e^{\Sigma_t d_{s_i}}}{N_n \times 1} \tag{24}$$

$$\kappa = \frac{\sum_{j=1}^{N_{Lr}} w_{0j} e^{\Sigma_t d_{s_j}}}{N_n \times 1} \tag{25}$$

where i and j count the number of leakage events that occur at the left and right boundaries of the slab media, respectively.

The absorption probability of the incident neutrons is also scored as follows:

$$P_a = \frac{\sum_{k=1}^{N_{int}} w_{0k} \left(\frac{\Sigma_a}{\Sigma_t} \right)}{N_n \times 1} \tag{26}$$

where k specifies the number of interactions.

3. RESULTS AND DISCUSSIONS

In order to test the validity of the proposed Monte Carlo method, the uncollided and once-collided partial currents at the boundaries are obtained from both Monte Carlo and successive approximation methods and their ratio to the total inlet current are compared with each other. The obtained results for the uncollided and once-collided angular fluxes from the successive approximation method are as follows.

$$\begin{aligned} \psi^{(0)}(z, \mu > 0) &= \mu^\beta e^{\frac{-\Sigma_t}{\mu}(z+a)} \\ \psi^{(0)}(z, \mu < 0) &= 0.0 \\ \psi^{(1)}(z, \mu > 0) &= e^{\frac{-\Sigma_t}{\mu}z} \left[\frac{\Sigma_{s0}}{2} \int_a^z A(z') e^{\frac{\Sigma_t}{\mu}z'} dz' \right] + e^{\frac{-\Sigma_t}{\mu}z} \left[\frac{3\Sigma_{s1}}{2} \int_a^z B(z') e^{\frac{\Sigma_t}{\mu}z'} dz' \right] \\ \psi^{(1)}(z, \mu < 0) &= e^{\frac{-\Sigma_t}{\mu}z} \left[\frac{\Sigma_{s0}}{2} \int_a^{-z} A(z') e^{\frac{\Sigma_t}{\mu}z'} dz' \right] + e^{\frac{-\Sigma_t}{\mu}z} \left[\frac{3\Sigma_{s1}}{2} \int_a^{-z} B(z') e^{\frac{\Sigma_t}{\mu}z'} dz' \right] \end{aligned}$$

where

$$\begin{aligned} A(z) &= \int_{-1}^0 \psi^{(0)}(z, \mu') d\mu' + \int_0^1 \psi^{(0)}(z, \mu') d\mu' \\ B(z) &= \int_{-1}^0 \mu' \psi^{(0)}(z, \mu') d\mu' + \int_0^1 \mu' \psi^{(0)}(z, \mu') d\mu' \end{aligned}$$

In this manuscript, in order to compare our results with the results presented in the literature the total neutron cross section is taken equal to 1.0 cm^{-1} [10]. To implement the provided Monte Carlo simulation the scattering and absorption cross sections are required. Using the mean number of secondary neutrons per collision(c) which is used as an input parameter in the reference article [10], these cross sections are obtained as $\Sigma_{s_0} = c\Sigma_t$ and $\Sigma_a = \Sigma_t - \Sigma_{s_0}$.

The number of incident neutrons in the Monte Carlo simulation is set to $2.0E + 6$. In order to compare the Monte Carlo and successive approximation methods, for different selected parameters, the ratios of the partial currents at boundaries to inlet current are presented in Tables 1 and 2. It is seen that the results are in good agreement with each other.

Table 1. Ratio of the partial currents to inlet current for $\Sigma_t = 1.0 \text{ cm}^{-1}, \beta = 0.0, f_1 = 0.1, \tau = 1.0 \text{ cm}$.

	Monte Carlo Method	Successive approximation method
$\frac{J^{-(0)}(-a)}{J^{+(0)}(-a)}$	0.0	0.0
$\frac{J^{+(0)}(a)}{J^{+(0)}(-a)}$	0.2194642	0.2193840
$\frac{J^{-(1)}(-a)}{J^{+(0)}(-a)}$	0.0174553	0.0174908
$\frac{J^{+(1)}(a)}{J^{+(0)}(-a)}$	0.0131680	0.0131473

Table 2. Ratio of the partial currents to inlet current for $\Sigma_t = 1.0 \text{ cm}^{-1}, \beta = 1.0, f_1 = 0.1, \tau = 2.0 \text{ cm}$.

	Monte Carlo Method	Successive approximation method
$\frac{J^{-(0)}(-a)}{J^{+(0)}(-a)}$	0.0	0.0
$\frac{J^{+(0)}(a)}{J^{+(0)}(-a)}$	0.0750605	0.0750684
$\frac{J^{-(1)}(-a)}{J^{+(0)}(-a)}$	0.0161776	0.0161959
$\frac{J^{+(1)}(a)}{J^{+(0)}(-a)}$	0.0063186	0.0063312

For different input parameters, the mean value of all scattering cosines that are sampled during the Monte Carlo simulation is shown in Table 3. It is observed that, the mean value of the sampled scattering cosines becomes almost equal to mean scattering cosine (f_1) value. Also it is seen that by increasing the slab thickness the results become more accurate.

Table 3. Average value for the all scattering cosines sampled during the Monte Carlo simulation.

	τ	0.1 cm	0.5 cm	1.0 cm	2.0 cm
$\beta = 0.0, c = 0.8, f_1 = 0.00$	$\langle \mu_b \rangle$	-0.000696	-0.000651	-0.000578	-0.000164
$\beta = 1.0, c = 0.1, f_1 = 0.10$	$\langle \mu_b \rangle$	0.097965	0.100966	0.099243	0.099892
$\beta = 3.0, c = 0.8, f_1 = 0.50$	$\langle \mu_b \rangle$	0.49941	0.500270	0.499993	0.499996

For different types of inlet current, different f_1 values, and different thicknesses the albedo and transmission factor are obtained from the Monte Carlo and compared with the results calculated from the H_N deterministic method presented by S. Bulut and M. Ç. Güleçyüz [10]. The H_N solution method depends on the use of the angular distributions of the method of elementary solutions; where the orthogonality relations of the singular eigenfunctions together with the values of the angular distributions at the boundaries of the given medium lead to the solution of the problem.

3.1. Case 1: Direction-independent inlet

In this test case the β value is taken zero, that is, the incident neutron does not have any directional preference. Tables 4 and 5 represent the comparison between the deterministic and Monte Carlo methods. For the constant f_1 values, it is seen that by increasing the thickness the albedo increases and transmission factor decreases, where the results of both methods show the same performance.

On the other hand, it is known that by increasing the mean scattering cosine value, the forward scattering contribution increases; leading to a reduction in albedo and an increase in the transmission factor. As seen in both Tables, the Monte Carlo results satisfy this condition. But the H_N deterministic method cannot satisfy this physical property generally, where as shown in Table 4, for the case $\tau = 1.0 \text{ cm}$, by increasing the f_1 value the transmission factor goes up and then decreases.

In addition, it is observed that by increasing the c value, both the albedo and transmission factor experience an increase.

Table 4. Comparison of Monte Carlo and deterministic methods for $\beta = 0.0$ and $c = 0.1$.

f_1	Method	$\tau = 0.1 \text{ cm}$		$\tau = 0.5 \text{ cm}$		$\tau = 1.0 \text{ cm}$		$\tau = 2.0 \text{ cm}$	
		α	κ	α	κ	α	κ	α	κ
0.0	Monte Carlo	0.007184	0.839513	0.017830	0.457757	0.020850	0.231683	0.021716	0.065773
	$H_{N=7}$ method	0.007182	0.839537	0.017770	0.437934	0.020747	0.231808	0.021624	0.065840
0.1	Monte Carlo	0.006552	0.840201	0.015878	0.459721	0.018514	0.233548	0.019272	0.0666778
	$H_{N=7}$ method	0.006556	0.840028	0.015973	0.459480	0.018056	0.268279	0.019297	0.066656
0.5	Monte Carlo	0.003807	0.843025	0.008787	0.466894	0.010064	0.240746	0.010387	0.070729
	$H_{N=7}$ method	0.004041	0.842978	0.008691	0.466414	0.009595	0.240028	0.009769	0.070218

Table 5. Comparison of Monte Carlo and deterministic methods for $\beta = 0.0$ and $c = 0.8$.

f_1	Method	$\tau = 0.1 \text{ cm}$		$\tau = 0.5 \text{ cm}$		$\tau = 1.0 \text{ cm}$		$\tau = 2.0 \text{ cm}$	
		α	κ	α	κ	α	κ	α	κ
0.0	Monte Carlo	0.064994	0.896493	0.205770	0.621731	0.280209	0.416248	0.328250	0.197271
	$H_{N=7}$ method	0.064925	0.896574	0.205616	0.621975	0.280152	0.416245	0.327951	0.197270
0.1	Monte Carlo	0.059861	0.901529	0.190666	0.636773	0.261523	0.434061	0.308712	0.212082
	$H_{N=7}$ method	0.059874	0.901624	0.190654	0.636790	0.261711	0.433792	0.309080	0.212005
0.5	Monte Carlo	0.036724	0.924655	0.121410	0.706122	0.172801	0.521132	0.212524	0.294540

$H_{N=7}$ method	0.039096	0.922396	0.123621	0.703233	0.173106	0.518755	0.211456	0.293647
------------------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------

3.2. Case 2: Direction-dependent inlet I

In this test case, β value is taken equal to one, that is, the angular flux boundary condition due to incoming neutrons becomes equal to $\psi(-a, \mu > 0) = \mu$. The albedo and transmission factor resulted from the Monte Carlo method for $c = 0.1$ and $c = 0.8$ are given in Tables 6 and 7, respectively, and compared with the results obtained from the $H_{N=7}$ deterministic method.

It is seen that the results are in good agreement. But for the case $\tau = 1.0 \text{ cm}$ and $c = 0.1$, as shown in Table 6, by increasing the f_1 value the transmission factor obtained from $H_{N=7}$ method goes up and then decreases whereas we observe a logical increase in the Monte Carlo results.

Table 6. Comparison of Monte Carlo and deterministic methods for $\beta = 1.0$ and $c = 0.1$.

f_1	Method	$\tau = 0.1 \text{ cm}$		$\tau = 0.5 \text{ cm}$		$\tau = 1.0 \text{ cm}$		$\tau = 2.0 \text{ cm}$	
		α	κ	α	κ	α	κ	α	κ
0.0	Monte Carlo	0.005843	0.868926	0.015785	0.509205	0.018950	0.270416	0.019927	0.080970
	$H_{N=7}$ method	0.005848	0.868836	0.015727	0.509319	0.018855	0.270514	0.019849	0.081037
0.1	Monte Carlo	0.005181	0.869655	0.013734	0.511156	0.016468	0.272425	0.017333	0.082007
	$H_{N=7}$ method	0.005211	0.869280	0.013833	0.510934	0.016179	0.284335	0.017342	0.081973
0.5	Monte Carlo	0.0027459	0.872340	0.006972	0.518952	0.008219	0.280663	0.008562	0.086964
	$H_{N=7}$ method	0.002650	0.872475	0.006158	0.518446	0.006924	0.279635	0.007079	0.086095

Table 7. Comparison of Monte Carlo and deterministic methods for $\beta = 1.0$ and $c = 0.8$.

f_1	Method	$\tau = 0.1 \text{ cm}$		$\tau = 0.5 \text{ cm}$		$\tau = 1.0 \text{ cm}$		$\tau = 2.0 \text{ cm}$	
		α	κ	α	κ	α	κ	α	κ
0.0	Monte Carlo	0.052922	0.915698	0.183236	0.6602346	0.258764	0.451589	0.309459	0.218208
	$H_{N=7}$ method	0.080289	0.902352	0.183145	0.660511	0.258691	0.451620	0.309551	0.218042
0.1	Monte Carlo	0.047691	0.920650	0.167552	0.676176	0.238683	0.470466	0.289054	0.234098
	$H_{N=7}$ method	0.047750	0.920789	0.167461	0.676060	0.239103	0.470341	0.289368	0.234003
0.5	Monte Carlo	0.026928	0.941748	0.099528	0.746841	0.148704	0.563601	0.190718	0.324647
	$H_{N=7}$ method	0.026608	0.941926	0.097190	0.745789	0.144947	0.560960	0.185259	0.319629

3.3. Case 3: Direction-dependent inlet II

In this test case, β value is taken equal to three. The results are presented in Tables 8 and 9. It is observed that the results of both methods are close to each other. But as shown in bold in Table 9, in the case of isotropic scattering and $\tau = 0.1 \text{ cm}$, the calculated transmission factor from the H_7 method is equal to 0.993709 where by increasing the f_1 value it experience a decrease and then goes up. In contrast the

corresponding result in the Monte Carlo method is obtained equal to 0.927789 where by increasing the f_1 value the transmission factor increases.

Table 8. Comparison of Monte Carlo and deterministic methods for $\beta = 3.0$ and $c = 0.1$

f_1	Method	$\tau = 0.1 \text{ cm}$		$\tau = 0.5 \text{ cm}$		$\tau = 1.0 \text{ cm}$		$\tau = 2.0 \text{ cm}$	
		α	κ	α	κ	α	κ	α	κ
0.0	Monte Carlo	0.004994	0.887883	0.014155	0.553539	0.017367	0.309422	0.018466	0.098940
	$H_{N=7}$ method	0.004988	0.887634	0.014115	0.553506	0.017296	0.309458	0.018390	0.098890
0.1	Monte Carlo	0.004335	0.888510	0.012068	0.555518	0.014815	0.311538	0.015706	0.100110
	$H_{N=7}$ method	0.004353	0.887972	0.012147	0.555132	0.014563	0.311705	0.015728	0.100041
0.5	Monte Carlo	0.0021180	0.891006	0.005578	0.563558	0.006727	0.320598	0.007067	0.106049
	$H_{N=7}$ method	0.0017653	0.891570	0.004178	0.563240	0.004727	0.319439	0.004835	0.104768

Table 9. Comparison of Monte Carlo and deterministic methods for $\beta = 3.0$ and $c = 0.8$

f_1	Method	$\tau = 0.1 \text{ cm}$		$\tau = 0.5 \text{ cm}$		$\tau = 1.0 \text{ cm}$		$\tau = 2.0 \text{ cm}$	
		α	κ	α	κ	α	κ	α	κ
0.0	Monte Carlo	0.045200	0.927789	0.165102	0.692578	0.240004	0.485261	0.293050	0.240200
	$H_{N=7}$ method	0.042604	0.993709	0.164980	0.692655	0.239889	0.485157	0.293087	0.240092
0.1	Monte Carlo	0.039965	0.932963	0.148645	0.708985	0.219498	0.504614	0.271900	0.257293
	$H_{N=7}$ method	0.040014	0.933062	0.148720	0.708792	0.219289	0.504927	0.271676	0.257259
0.5	Monte Carlo	0.020807	0.952535	0.082267	0.779291	0.128642	0.602215	0.170715	0.356147
	$H_{N=7}$ method	0.018643	0.954429	0.075862	0.781155	0.120234	0.600592	0.161206	0.348426

4. CONCLUSIONS

A rigorous non-analog Monte Carlo method is proposed to simulate the albedo and transmission factor of an infinite non-multiplying slab medium. Using the corresponding expression for the inlet current, a new probability density function is generated to sample the direction of the incident neutrons. To minimize the imposed variances due to either complete leak or complete absorption of a neutron, forced collision and implicit capture variance reduction techniques are employed. Furthermore, the Russian-Roulette technique is used to reduce simulation time. For neutron scattering, sampling is performed on the scattering cosine to determine the new direction of the scattered neutron. The validity of the proposed method is confirmed through comparison with solutions for the uncollided and once-collided angular fluxes resulted from the successive approximation method. The Monte Carlo results are also compared with the results of the $H_{N=7}$ deterministic method, and it is observed that the results of the Monte Carlo are physically meaningful.

5. ACKNOWLEDGEMENT

I would like to express my gratitude to my supervisor Prof. Mehmet Tombakoğlu for all his guidance and helpful advice throughout this study.

REFERENCES

- [1] Hoffman, A. J. (2013), "A Time-Dependent Method of Characteristics Formulation with Time Derivative Propagation", PhD thesis, University of Michigan.
- [2] Duderstadt, J. J. (1976), Nuclear reactor analysis. Wiley.
- [3] Hanuš, M. (2014), Mathematical Modeling of Neutron Transport, PhD thesis, University of West Bohemia.
- [4] Wu, Yican. (2019), Neutronics of advanced nuclear systems. Springer.
- [5] Kalos, M. H., & Whitlock, P. A. (2009), Monte carlo methods. John Wiley & Sons.
- [6] Seco, J., & Verhaegen, F. (2013), Monte Carlo techniques in radiation therapy, CRC press.
- [7] Dupree, S. A., & Fraley, S. K. (2012), A Monte Carlo primer: A Practical approach to radiation transport. Springer Science & Business Media.
- [8] Haghghat, A. (2016), Monte Carlo Methods for Particle Transport, Crc Press.
- [9] Saidi, P., Sadeghi, M., and Tenreiro, C. (2013), "Variance reduction of Monte Carlo simulation in nuclear engineering". In Theory and Applications of Monte Carlo Simulations". Intech Open.
- [10] Bulut, S., and M. Ç. Güleçyüz. (2005), "The HN method for slab albedo problem for linearly anisotropic scattering", Kerntechnik 70.5-6, 301-308.
- [11] Karataşlı, Muhammet, Tahsin Özer, and Ahmet Varinlioğlu. (2015), "Second Type Chebyshev Polynomial Approximation to Linearly Anisotropic Neutron Transport Equation in Slab Geometry", Suleyman Demirel University Journal of Science 10.2.
- [12] Güleçyüz, M. Ç., A. Kaşkaş, and C. Tezcan. (1999), "Slab albedo problem for anisotropic scattering using singular eigenfunction solution of the CN equations", Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer, 61.3, 329-338.
- [13] Grandjean, P., and C. E. Siewert. (1979), "The FN method in neutron-transport theory. Part II: applications and numerical results", Nuclear Science and Engineering 69.2, 161-168.
- [14] Stacey, Weston M. (2007), Nuclear reactor physics. Vol. 2. Weinheim: wiley-vch.
- [15] Prinja A.K., Larsen E.W. (2010), General Principles of Neutron Transport. In: Cacuci D.G. (eds) Handbook of Nuclear Engineering. Springer, Boston, MA.
- [16] Schwenk-Ferrero, (1986), Aleksandra. "GANTRAS: A system of codes for the solution of the multigroup transport equation with a rigorous treatment of anisotropic neutron scattering. Plane and spherical geometry, gscs.
- [17] İNÖNÜ, Erdal. (1970), "Orthogonality of a set of polynomials encountered in neutron-transport and radiative-transfer theories". Journal of Mathematical Physics, 11.2, 568-577.
- [18] MIKA, Janusz R. (1961), "Neutron transport with anisotropic scattering", Nuclear science and engineering, 11.4: 415-427.

- [19] Coveyou, R. R. (1965), "A monte carlo technique for selecting neutron scattering angles from anisotropic distributions", Nuclear science and engineering, 260-262.
- [20] Lux, Iván. (1982), "Semicontinuous selection of scattering angles from low-order Pn scattering densities", Nuclear science and Engineering 82.3,332-337.
- [21] Lux, I. (1991), and K. Koblinger. Monte Carlo Particle Transport Methods: Neutron and Photon Calculations, CRC Boca Raton.
- [22] Bielajew, Alex F. (2001), "Fundamentals of the Monte Carlo method for neutral and charged particle transport", The University of Michigan.
- [23] Singkarat, Somsorn. (1990), "Study of the multiple scattering effect in TEBENE using the Monte Carlo method". No. CTH-RF--69. Chalmers Univ. of Tech.

Burgers Benzeri Denklemin Bazı Seyahat Eden Dalga Çözümleri

İbrahim Enam İNAN¹ , Doğan KAYA² 

¹Fırat Üniversitesi Eğitim Fakültesi, Matematik ve Fen Bilgisi Eğitimi Bölümü, İlköğretim Matematik Öğretmenliği, Elazığ, Türkiye. ainan@firat.edu.tr

²İstanbul Ticaret Üniversitesi, İnsan ve Toplum Bilimleri Fakültesi, Matematik Lisans Programı, İstanbul, Türkiye. dogank@ticaret.edu.tr

Özet

Bu makalede, Burgers benzeri denklemin bazı seyahat eden dalga çözümlerini bulmak için Bäcklund Dönüşümü, Benzerlik indirgeme ve Adomian Ayrıştırma yöntemleri denkleme uygulanmıştır. Yukarıdaki yöntemlerin denkleme uygulanması sonucunda denklemin rasyonel, hiperbolik ve trigonometrik çözümleri elde edilmiştir. Daha sonra Mathematica 11.2 programını kullanarak bu çözümlerin, denklemini sağladığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Burgers benzeri denklem, Bäcklund dönüşümü, Benzerlik indirgeme, Adomian Ayrıştırma metodu.

Some Travelling Wave Solutions of Burgers Like Equation

Abstract

In this article, we have applied the Bäcklund Transformation, Similarity reduction and Adomian Decomposition methods to the equation to find some exact solutions of Burgers like equation. As a result of the application of abovementioned methods to the equation, we obtained the rational, hyperbolic and trigonometric solutions of the equation. Later, using Mathematica 11.2 program, we saw that these solutions satisfy the equation.

Keywords: Burgers like equation, Bäcklund transformation, Similarity reduction, Adomian Decomposition method.

1.GİRİŞ

Lineer olmayan kısmi diferansiyel denklemler uygulamalı matematik ve fizikte önemli bir yere sahiptir. Bu denklemler ses, ısı, difüzyon, elektrostatik, elektrodinamik, hidrodinamik, elastikiyet ve kuantum mekaniği gibi çeşitli kavramların modern bilimsel mantığının temellerini oluştururlar. Bu denklemleri çözmek için birçok analitik yöntem bulunmuştur [1-11]. Bulunan bu yöntemlerin yanı sıra lineer olmayan kısmi diferansiyel denklemleri çözmek için yardımcı bir denklem kullanarak çözüme ulaşabileceğimiz birçok metod vardır. Bu metodlar kullanılarak kısmi diferansiyel denklemler adi diferansiyel denklemlere dönüştürülür. Buradaki lineer olmayan kısmi diferansiyel denklemler, adi diferansiyel denklemler yardımıyla çözülür. Bu metodların bazıları [12-27] da verilmiştir. Ayrıca bu metodların ve bu metotlara benzer diğer pek çok metodun bazı lineer olmayan kısmi diferansiyel denklemlere uygulamaları [28-46] de verilmiştir. Bu çalışmada, Burgers benzeri denkleme; Bäcklund Dönüşümü, Benzerlik indirgeme ve Adomian Ayrıştırma metodları uygulanarak bu denklemin rasyonel, trigonometrik ve hiperbolik çözümleri elde edilmiştir.

2. METODLARIN ANALİZİ

2.1.HOMOJEN BALANS METODU

Matematiksel fizikte bazı lineer olmayan kısmi diferansiyel denklemlerin özel çözümlerinin bulunmasında Homojen balans metodunun nasıl kullanıldığına bakalım. Bunun için iki değişkenli bir kısmi diferansiyel denklem

$$\Psi(u, u_x, u_t, u_{xx}, u_{xt}, u_{tt}, \dots) = 0 \quad (2.1.1)$$

şeklinde verilmiş olsun. Burada, Ψ bir polinom denklemi olup, polinomdaki alt simgeler ise kısmi türevleri göstermektedir. $w = w(x, t)$ fonksiyonunun (2.1.1) denkleminin yaklaşık çözümü olduğunu kabul edelim. Ancak, (2.1.2) deki fonksiyonların uygun bir lineer kombinasyonu şeklinde yazılan ve sadece bir değişkene bağlı olan $f = f(w)$ fonksiyonu (2.1.1) denkleminin bir gerçek çözümüdür. $f(w)$ dönüşümü kullanılarak (2.1.1) denklemi

$$\Psi(f(w), f(w)_x, f(w)_t, f(w)_{xx}, f(w)_{xt}, f(w)_{tt}, \dots) = 0 \quad (2.1.2)$$

şeklinde yazılabilir. Burada $f(w)$ fonksiyonunun nasıl bulunduğunu $w = w(x, t)$ ve (2.1.2) deki fonksiyonların uygun bir lineer birleşimlerinin yaklaşık çözümlerinin nasıl oluşturulacağı tartışılacaktır. Matematiksel fizikteki lineer olmayan bir denklemin özel çözümlerinin bulunmasında kullanılan bu metot, Homojen balans metodu olarak bilinir ve bu metot dört basamaktan oluşur.

(i) (2.1.2) denklemindeki fonksiyonların uygun bir lineer kombinasyonları seçilerek bunların katsayıları hesaplanır. Yani, verilen denklemdeki en yüksek mertebeden lineer olmayan terim ve en yüksek mertebeden lineer olan terim alınarak seçilen uygun bir lineer birleşim kullanılarak $f(w)$ fonksiyonunun gerekli türevleri ile beraber $w(x, t)$ fonksiyonunun kısmi türevlerindeki en yüksek eşitlikle beraber $f(w)$ ve $w(x, t)$ dönüşümleri kullanılarak (2.1.1) denklemi polinom şekline dönüştürülür. Burada oluşturulan en yüksek derecedeki eşitlikler çok önemlidir. Örneğin, verilen bir lineer olmayan kısmi diferansiyel denklemin en yüksek dereceden lineer olmayan terimi uu_x ve en yüksek mertebeden lineer olan terimi u_{xxx} olsun. (2.1.2) eşitliğindeki fonksiyonların lineer bir birleşiminin

$$u = \frac{\partial^{m+n} f(w)}{\partial x^m \partial t^n} + f(w)$$

eşitliğinin $(m + n)$. mertebeden daha düşük tüm kısmi türevli terimleri

$$u = f^{(m+n)} w_x^m w_t^n + w(x, t) \quad (2.1.3)$$

eşitliğindeki mevcut kısmi türevlerinin $(m + n)$. mertebesinden daha düşük tüm terimleri şeklinde olduğunu kabul edelim. Burada, $m \geq 0, n \geq 0$ olarak tanımlanan tamsayılardan oluşması gerekir. Bu durumda (2.1.3) eşitliği kullanılırsa,

$$uu_x = f^{(m+n)} f^{(m+n+1)} w_x^{(2m+1)} w_t^{2n} + w(x, t) \quad (2.1.4)$$

eşitliğinin mevcut kısmi türevlerinin $2(m + n) + 1$ mertebesinden daha düşük tüm terimleri

$$u_{xxx} = f^{(m+n+3)} w_x^{(m+3)} w_t^n + w(x, t) \quad (2.1.5)$$

eşitliğinin mevcut kısmi türevlerinin $(m + n + 3)$ mertebesinden daha düşük terimleri (2.1.4) ve (2.1.5) eşitliklerindeki $w(x, t)$ fonksiyonunun en yüksek mertebeden kısmi türevleri eşitlenirse, $2m + 1 = m + 3$ ve $2n = n$ elde edilir. Buradan da $m = 2$ ve $n = 0$ bulunur. Bulunan bu m ve n değerleri (2.1.3) eşitliğinde kabul edilen lineer kombinasyonda yerine yazılırsa

$$u = \frac{\partial^2 f(w)}{\partial x^2} + f(w) \quad (2.1.6)$$

şeklinde bir lineer birleşim seçilebilir. Yine benzer şekilde, verilen bir lineer olmayan kısmi diferansiyel denklemin en yüksek dereceden lineer olmayan terimi uu_x ve en yüksek mertebeden lineer olan terimi u_{xx} olsun. (2.1.2) ile verilen fonksiyonların lineer bir kombinasyonunun

$$u = \frac{\partial^{m+n} f(w)}{\partial x^m \partial t^n} + f(w)$$

eşitliğinin $(m + n)$. mertebeden daha düşük tüm kısmi türevli terimleri

$$u = f^{(m+n)} w_x^m w_t^n + w(x, t) \quad (2.1.7)$$

eşitliğinin mevcut kısmi türevlerinin $(m + n)$. mertebesinden daha düşük tüm terimleri şeklinde olduğunu kabul edelim. Burada, $m \geq 0, n \geq 0$ olan tamsayılardan oluşmalıdır. Bu durumda (2.1.7) eşitliği kullanılırsa,

$$uu_x = f^{(m+n)} f^{(m+n+1)} w_x^{(2m+1)} w_t^{2n} + w(x, t) \quad (2.1.8)$$

eşitliğinin mevcut kısmi türevlerinin $2(m + n) + 1$ mertebesinden daha düşük tüm terimleri

$$u_{xx} = f^{(m+n+2)} w_x^{(m+2)} w_t^n + w(x, t) \quad (2.1.9)$$

eşitliğinin mevcut kısmi türevlerinin $(m + n + 2)$ mertebesinden daha düşük terimleri (2.1.8) ve (2.1.9) eşitliklerindeki $w(x, t)$ nin en yüksek mertebeden kısmi türevleri eşitlenirse, $2m + 1 = m + 2$ ve $2n = n$ elde edilir. Buradan da $m = 1$ ve $n = 0$ bulunur. Bulunan bu m ve n değerleri (2.1.7) eşitliğinde kabul edilen lineer birleşimde yerine yazılırsa

$$u = \frac{\partial f(w)}{\partial x} + f(w) \quad (2.1.10)$$

şeklinde bir lineer birleşim seçilebilir.

(ii) Birinci basamakta seçilen lineer birleşim (2.1.1) denkleminde yerine konularak, $w(x, t)$ nin en yüksek mertebeli türevleri ile bütün terimleri bir araya getirilerek sıfıra eşitlenir. Daha sonra $f(w)$ için bir adi diferansiyel denklem elde edilir ve bu denklem çözülür. Burada birçok durumda $f(w)$ bir logaritmik fonksiyondur.

(iii) Adi diferansiyel denklem ve onun yukarıda elde edilen çözümünden faydalanılarak, (ii) bendinde elde edilen ifadelerdeki $f(w)$ fonksiyonunun çeşitli türevlerine ait lineer olmayan terimler $f(w)$ nin daha yüksek mertebeli türevlerine dönüştürülür. Bu işlem yapıldıktan sonra, $f(w)$ fonksiyonunun aynı mertebeli türevleri bir araya getirilerek, $f(w)$ nin aynı mertebeli türevlerinin katsayıları sıfıra eşitlenir, bunun sonucunda $w(x, t)$ fonksiyonu için bir denklemler dizisi elde edilir. Bu denklemlerin sol tarafları $w(x, t)$ fonksiyonunun muhtelif türevlerinde k . dereceden homojen fonksiyonlardır. Buradaki k , $f^{(k)}$ nin mertebesidir. Bu denklemin homojen özellikleri göz önüne alınarak, $w(x, t)$ bazı sabitlerin bulunması gereken bir üstel fonksiyon olarak kabul edilir. Kabul edilen üstel fonksiyon $w(x, t)$, her bir k . dereceli

homojen denkleminde yerine konarak bazı sabitlerin bulunması gereken bir dizi lineer olmayan cebirsel denklemler elde edilir. Bu lineer olmayan cebirsel denklemler için bir çözüm mevcutsa, o zaman $w(x, t)$ ve (i) bendinde seçilen lineer birleşimin katsayıları hesaplanır.

(iv) (i) bendinde seçilen lineer birleşim, (ii) ve (iii) bendinde hesaplanan $f(w)$ ve $w(x, t)$ yazılarak (2.1.1) denkleminin tam çözümü bulunmuş olur. Bu kesimin başında da belirtildiği gibi, açıklanan bu metodun iki uygulamasını aşağıda vererek ve bu iki uygulamayı kullanarak, bazı lineer olmayan kısmi diferansiyel denklemlerin çözümleri bulunacaktır [8].

2.2. BÄCKLUND DÖNÜŞÜMÜ

Metodun lineer olmayan bir kısmi diferansiyel denkleme nasıl uygulandığına bakalım. Verilen iki değişkenli bir kısmi diferansiyel denklem

$$u_t = K(u, u_x, u_{xx}, \dots) \quad (2.2.1)$$

şeklinde olsun. Homojen balans metoduna göre (1) denkleminin Bäcklund dönüşümü

$$u = \frac{\partial^\alpha}{\partial x^\alpha} f(w) + u_0 \quad (2.2.2)$$

olduğunu kabul edelim. Burada $f = f(w)$ ve $w = w(x, t)$ şeklindedir ve u ile u_0 fonksiyonları da (2.2.1) denkleminin iki çözümüdür. α , u nun en yüksek mertebeden türevli lineer terimi ile u fonksiyonunun en yüksek mertebeli lineer olmayan teriminin dengelenmesi ile tespit edilen bir sabittir. (2.2.2) dönüşümü (2.2.1) denkleminde yerine yazılarak elde edilen denklem en yüksek kuvvetten w_x parantezine alınır, parantezin içinde f fonksiyonuna bağlı bir adi diferansiyel denklem elde edilir ve bu denklem çözülerek $f(w)$ fonksiyonu bulunur. Bulunan bu $f(w)$ fonksiyonundan yararlanarak diğer bütün $f(w)$ ya bağlı olan türevler f', f'', \dots şeklinde ifade edilir ve son durumda denklem f', f'', \dots parantezlerine alınır. Daha sonra parantez içinde bulunan w ya bağlı türevler birlikte yazılarak $w(x, t)$ hesaplanır. Hesaplanan $f(w)$ ve $w(x, t)$ fonksiyonları (2.2.2) dönüşümünde yerine yazılarak Bäcklund dönüşümü bulunur. Böylece, α ya bağlı olarak gerekli türevler alınır ve $u(x, t)$ çözüm fonksiyonu hesaplanmış olur. Bulunan bu $u(x, t)$ fonksiyonu (2.2.1) ile ele alınan lineer olmayan kısmi diferansiyel denklemin solitary dalga çözümüdür [9].

2.3. BENZERLİK İNDİRGEME

Bu metodu açıklamak için genel lineer olmayan bir kısmi diferansiyel denklemi göz önüne alalım [8]. Bu iki değişkenli bir kısmi diferansiyel denklem

$$u_t = K(u, u_x, u_{xx}, \dots) \quad (2.3.1)$$

şeklinde olsun. Homojen balans metoduna göre (2.3.1) denkleminin Benzerlik indirgemesinin

$$u = \frac{\partial^\alpha}{\partial x^\alpha} f(w) + u_0 \quad (2.3.2)$$

şeklinde olduğunu kabul edelim, burada α , u fonksiyonunun en yüksek mertebeden türevli lineer terimi ile, u fonksiyonunun en yüksek mertebeli lineer olmayan teriminin dengelenmesi ile tespit edilen bir sabittir. Bu yöntemde, (2.2.2) dönüşümünden farklı olarak w ve u_0 fonksiyonlarını arıyoruz, burada $w = w(x, t)$ ve $u_0 = u_0(x, t)$ şeklinde fonksiyonlardır. Daha sonra (2.3.2) dönüşümü (2.3.1) denkleminde yerine

yazılarak en yüksek kuvvetten w_x parantezine alınır, geriye kalan ifadelerde f fonksiyonunun farklı türevlerinin parantezlerine alınarak, f fonksiyonunun farklı türevlerinin katsayıları tespit edilir. Burada, f fonksiyonunun farklı türevlerinin katsayıları oranı w nın bir fonksiyonudur ve sadece w için f bir adi diferansiyel denklemdir. Daha sonra w_x in en yüksek kuvvetinin katsayısı kullanılarak w nın bir fonksiyonu olan Γ nın belirlendiği her yerde, diğer katsayılar bulunurken $w_x^n \Gamma_i(w)$, ($i = 1, 2, \dots$) oluşumundan yararlanır. Burada, $\Gamma_i(w)$, w nın bazı keyfi fonksiyonlarıdır. Ayrıca, herhangi bir matematiksel ifade kullanıldığında (diferansiyel, integral, logaritma alma, üstel, kuvvet alma, ...) bu ifadeler $\Gamma(w)$ ile belirlenir ve genelliği bozmaksızın bazı serbestlikler kullanılır. Bu serbestliklerin ne olduğunu uygulanan denklemlerde yeri geldiğinde verilecektir. Sonuç olarak bu adımlar takip edilerek verilen lineer olmayan kısmi diferansiyel denklemin rasyonel, trigonometrik ve hiperbolik olarak sırası ile ilerleyen çözümleri ile tek dalga çözümleri bulunmuş olacaktır [9].

2.4. ADOMIAN AYRIŞIM METODU

Adomian ayrışım metodunun bir seri metodu olduğu ve birçok cebirsel, lineer ve lineer olmayan diferansiyel denklemlere başarılı bir şekilde uygulandığı bilinmektedir. Metot genel olarak şu şekilde açıklanabilir. F , hem lineer hemde lineer olmayan terimleri içeren genel bir lineer olmayan adi diferansiyel operatör olmak üzere

$$Fu(x, t) = g(x, t) \quad (2.4.1)$$

denklemini verilmiş olsun. (2.4.1) denkleminde L ; verilen diferansiyel denklemin en yüksek mertebeden türevini, R ; lineer operatörün kalan kısmını ve N ; ise lineer olmayan terimi göstermek üzere (2.4.1) denklemini

$$Lu + Ru + Nu = g \quad (2.4.2)$$

şeklinde ayrıştırarak yeniden yazalım. L operatörünün tersi de mevcut olan bir lineer operatör olmak üzere, (2.4.2) eşitliği

$$Lu = g - Ru - Nu \quad (2.4.3)$$

şeklinde yazılabilir. (2.4.3) ile verilen eşitliğin her iki tarafına L operatörünün tersi olan L^{-1} operatörü sol taraftan uygulanırsa

$$L^{-1}Lu = L^{-1}g - L^{-1}Ru - L^{-1}Nu \quad (2.4.4)$$

eşitliği elde edilir. L ikinci mertebeden ve tersi mevcut olan lineer bir operatör olarak kabul edildiğinden, (2.4.4) eşitliğinde gerekli işlemler yapılırsa

$$u(x, t) = u(x, 0) + L^{-1}(g(x, t)) - L^{-1}Ru - L^{-1}Nu \quad (2.4.5)$$

çözüm fonksiyonu bulunabilir. (2.4.5) ile elde edilen eşitlikteki Nu lineer olmayan terimleri

$$Nu = \sum_{n=0}^{\infty} A_n(u_0, u_1, \dots, u_{n-1})$$

şeklinde ifade edilmektedir. Burada, A_n polinomları özel Adomian polinomları olup bu polinomlar daha sonra incelenecektir. (2.4.5) eşitliğindeki $u(x, t)$, ayrıştırılmış seri çözüm fonksiyonudur. Bu seri çözüm fonksiyonunun birinci terimi u_0 , verilen başlangıç şartı olan $u(x, 0)$ ve $L^{-1}g$ sağ taraf fonksiyonunun

integrali olmak üzere $u_0 = u(x, 0) + L^{-1}g$ ile bulunur. Daha sonra seri çözümün birinci terimi olan u_0 terimi kullanılarak serinin takip eden u_1, u_2, \dots terimleri elde edilerek Adomian ayrışımının seri çözüm fonksiyonu

$$u(x, t) = \sum_{n=0}^{\infty} u_n(x, t) \quad (2.4.6)$$

şeklinde elde edilir. Bu serinin yakınsak olduğu literatürde birçok çalışmada teorik olarak gösterilmiştir. Bu seri çözümü kullanarak (2.4.5) eşitliği tekrar yazılacak olursa,

$$\sum_{n=0}^{\infty} u_n = u_0 - L^{-1}R \sum_{n=0}^{\infty} u_n - L^{-1} \sum_{n=0}^{\infty} A_n \quad (2.4.7)$$

elde edilecek seri genel şekilde yazılabilir. Bu (2.4.7) eşitliği açık bir şekilde yazılacak olursa

$$\begin{aligned} u_1 &= -L^{-1}Ru_0 - L^{-1}A_0, \\ u_2 &= -L^{-1}Ru_1 - L^{-1}A_1, \\ u_3 &= -L^{-1}Ru_2 - L^{-1}A_2, \\ &\vdots \\ u_{n+1} &= -L^{-1}Ru_n - L^{-1}A_n, n \geq 0 \end{aligned} \quad (2.4.8)$$

eşitlikleri elde edilir. Buradaki A_n polinomlarının her biri lineer olmayan terim için genelleştirilebilir. Yapılacak bu genelleştirmede A_0 sadece u_0 terimine, A_1 sadece u_0 ve u_1 terimlerine, A_2 ise u_0, u_1, u_2 terimlerine bağlı olmak üzere (2.4.8) eşitliğindeki bütün A_n polinomları elde edilebilir. Genel olarak, A_n Adomian polinomlarının bir kaç tanesi

$$\begin{aligned} A_0 &= f(u_0), \\ A_1 &= u_1 \left(\frac{d}{du_0} \right) f(u_0), \\ A_2 &= u_2 \left(\frac{d}{du_0} \right) f(u_0) + \left(\frac{u_1^2}{2!} \right) \left(\frac{d^2}{du_0^2} \right) f(u_0), \\ A_3 &= u_3 \left(\frac{d}{du_0} \right) f(u_0) + u_1 u_2 \left(\frac{d^2}{du_0^2} \right) f(u_0) + \left(\frac{u_1^3}{3!} \right) \left(\frac{d^3}{du_0^3} \right) f(u_0), \\ &\vdots \end{aligned} \quad (2.4.9)$$

şeklinde verilmektedir. Ayrışım polinomlarının en genel hali ise

$$A_n = \frac{1}{n!} \left[\frac{d^n}{d\lambda^n} \Phi \left(\sum_{k=1}^{\infty} \lambda^k u_k \right) \right], n \geq 0 \quad (2.4.10)$$

şeklinde formüle edilmektedir [10].

3.ÖRNEK Burgers benzeri denklemi göz önüne alındığında,

$$u_t + u_x + uu_x + \frac{1}{2}u_{xx} = 0 \quad (3.1)$$

(3.1) ile verilen denklemin Homojen Balans metoduna göre

$$u(x, t) = \frac{\partial^\alpha}{\partial x^\alpha} f(w) + u_0 \quad (3.2)$$

şeklinde Bäcklund dönüşümünü arayalım. Verilen denklemde, en yüksek dereceden lineer terim olan u_{xx} ve en yüksek dereceden lineer olmayan terim uu_x dengelenirse $\alpha = 1$ bulunur ve (3.2) dönüşümü

$$u(x, t) = \frac{\partial}{\partial x} f(w) + u_0 \quad (3.3)$$

veya

$$u(x, t) = f'w_x + u_0 \quad (3.4)$$

şeklinde olur. (3.4) dönüşümü (3.1) denklemine yerine yazılır ve yeniden düzenlenirse,

$$\begin{aligned} \left(\frac{1}{2}f''' + f'f''\right)w_x^3 + \left(f''w_xw_t + f''w_x^2 + f'^2w_xw_{xx} + f''w_x^2u_0 + \frac{3}{2}f''w_xw_{xx}\right) \\ + \left(f'w_{xt} + f'w_{xx} + f'w_x(u_0)_x + f'w_{xx}u_0 + \frac{1}{2}f'w_{xxx}\right) = 0 \end{aligned} \quad (3.5)$$

elde edilir ve (3.5) eşitliğinde w_x^3 ün katsayısı sıfıra eşitlenirse

$$\frac{1}{2}f''' + f'f'' = 0$$

şeklinde bir lineer olmayan adi diferansiyel denklem elde edilir. Bu diferansiyel denklemden

$$f = \ln w \quad (3.6)$$

çözümü elde edilir. Bu çözümden

$$f'^2 = -f''$$

olarak bulunur. Bulunan bu ifade (3.5) eşitliğinde yerine yazılırsa son durumda,

$$\left(w_xw_t + w_x^2 + w_x^2u_0 + \frac{1}{2}w_xw_{xx}\right)f'' + \left(w_{xt} + w_{xx} + w_x(u_0)_x + w_{xx}u_0 + \frac{1}{2}w_{xxx}\right)f' = 0 \quad (3.7)$$

elde edilir. Daha sonra f' ve f'' katsayılarını kullanarak

$$w_x \left(w_t + w_x + w_xu_0 + \frac{1}{2}w_{xx}\right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(w_t + w_x + w_xu_0 + \frac{1}{2}w_{xx}\right) = 0 \quad (3.8)$$

elde edilir. Buradan kolaylıkla görülebilir ki (3.8) denklemini

$$w_t + w_x + w_xu_0 + \frac{1}{2}w_{xx} = 0 \quad (3.9)$$

sağlar. (3.4) ve (3.6) eşitliklerinden aradığımız Bäcklund dönüşümü

$$u(x, t) = \frac{\partial}{\partial x} \ln w + u_0 \quad (3.10)$$

şeklinde elde edilir ve burada w , (3.9) denklemini sağlar. (3.1) denkleminin başlangıç çözümü $u_0 = 0$ alınrsa, bu durumda (3.9) ve (3.10) sırası ile

$$w_t + w_x + \frac{1}{2}w_{xx} = 0 \quad (3.11)$$

$$u(x, t) = \frac{\partial}{\partial x} \ln w \quad (3.12)$$

şekline gelir. (3.11) denkleminin bir özel çözümü

$$w(x, t) = 1 + \exp\left(x - \frac{3}{2}t\right)$$

olarak alınır ve bu (3.12) eşitliğinde yerine yazıldığında (3.10) denkleminin solitary dalga çözümü

$$u(x, t) = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \tanh\left(x - \frac{3}{2}t\right)$$

olarak bulunur.

→ (3.1) ile verilen denklemini tekrar göz önüne alıp, Benzerlik indirgeme metodu kullanılarak çözümünü arayalım. (3.1) denkleminin Benzerlik çözümünün (3.4) dönüşümünden

$$u(x, t) = f'w_x + u_0 \quad (3.13)$$

şeklinde olduğunu kabul edelim. (3.13) dönüşümü (3.1) denkleminde yerine yazılıp düzenlenirse

$$\begin{aligned} & \left(\frac{1}{2}f'''' + f'f''\right)w_x^3 + \left(f''w_xw_t + f''w_x^2 + f'^2w_xw_{xx} + f''w_x^2u_0 + \frac{3}{2}f''w_xw_{xx}\right) \\ & + \left(f'w_{xt} + f'w_{xx} + f'w_x(u_0)_x + f'w_{xx}u_0 + \frac{1}{2}f'w_{xxx}\right) \\ & + \left((u_0)_t + (u_0)_x + u_0(u_0)_x + \frac{1}{2}(u_0)_{xx}\right) = 0 \end{aligned} \quad (3.14)$$

elde edilir. (3.14) eşitliği f', f'' ve f'^2 parantezlerine alınır ve bu eşitlik

$$\begin{aligned} & \left(\frac{1}{2}f'''' + f'f''\right)w_x^3 + w_xw_{xx}f'^2 + \left(w_xw_t + w_x^2 + w_x^2u_0 + \frac{3}{2}w_xw_{xx}\right)f'' + \left(w_{xt} + w_{xx} + \right. \\ & \left. w_x(u_0)_x + f'w_{xx}u_0 + \frac{1}{2}w_{xxx}\right)f' + \left((u_0)_t + (u_0)_x + u_0(u_0)_x + \frac{1}{2}(u_0)_{xx}\right) = 0 \end{aligned} \quad (3.15)$$

şeklinde yazılabilir. Bir önceki örnekteki açıklamalar göz önüne alınır

$$w_xw_{xx} = w_x^3\Gamma_1(w), \quad (3.16)$$

$$w_xw_t + w_x^2 + w_x^2u_0 + \frac{3}{2}w_xw_{xx} = w_x^3\Gamma_2(w), \quad (3.17)$$

$$w_{xt} = w_x^3\Gamma_3(w), \quad (3.18)$$

$$w_{xx} + w_x(u_0)_x + f'w_{xx}u_0 + \frac{1}{2}w_{xxx} = w_x^3\Gamma_4(w), \quad (3.19)$$

$$(u_0)_t + (u_0)_x + u_0(u_0)_x + \frac{1}{2}(u_0)_{xx} = w_x^3\Gamma_5(w), \quad (3.20)$$

burada $\Gamma_i (i = 1, 2, \dots, 5)$ w nın belirlenecek bazı keyfi fonksiyonlarıdır. u_0 ve w nın belirlenmesinde genelliği bozmaksızın aşağıdaki kuralların kullanılabilmesi için iki serbestlik vardır:

(a) $u_0 = u'(x, t) + \frac{\partial}{\partial x}\Omega$, şeklindeyse o zaman, $\Omega = 0$ alınabilir. ($f(w) \rightarrow f(w) - \Omega$ dönüşümü yapılarak).

(b) $w(x, t)$, $\Omega(w) = w_0(x, t)$ şeklindeki bir denklem ile tanımlanmış ise $\Omega = w$ olarak alınabilir. ($w \rightarrow \Omega^{-1}(w)$ dönüşümü yaparak).

(a) ve (b) serbestlikleri kullanılarak (3.16) - (3.20) denklemlerinin genel çözümleri bulunabilir. Şöyle ki (3.16) ve (3.17) eşitlikleri alınır ve yukarıda verilen (a) ve (b) serbestlikleri kullanılırsa,

$$w = x\theta(t) + \sigma(t) \quad (3.21)$$

olarak hesaplanır. (3.17) ve (3.21) eşitlikleri kullanılarak

$$w_x = \theta(t), w_{xx} = 0, w_x^2 = \theta^2(t), w_t = x \frac{d\theta}{dt} + \frac{d\sigma}{dt}$$

bağıntıları bulunur. Bunlar (3.17) de yerlerine yazılırsa,

$$u_0 = -\frac{1}{\theta} \left(x \frac{d\theta}{dt} + \frac{d\sigma}{dt} \right) - 1 \quad (3.22)$$

elde edilir. Elde edilen (3.21) ve (3.22) bağıntıları (3.16) - (3.20) denklemlerinde kullanılırsa

$$\Gamma_1 = \Gamma_2 = 0, \Gamma_3 = A, \Gamma_4 = -A, \Gamma_5 = -A^2w - B \quad (3.23)$$

$$\sigma'' - 2A\theta^2\sigma' = \theta^4(A^2\sigma + B) \quad (3.24)$$

$$\frac{d\theta}{dt} = A\theta^3$$

bağıntıları bulunur. Bu ifadelerden yararlanarak (3.15) denklemini yeniden düzenlenirse

$$\frac{1}{2}f''' + f'f'' - (A^2w + B)$$

elde edilir. Burada $f' = P(w)$ olarak alınırsa yukarıda bulunan denklem

$$\frac{1}{2}P'' + PP' - (A^2w + B) = 0 \quad (3.25)$$

denklemine dönüşür, burada üç durum söz konusudur. Bunlar:

(i) $A = B = 0$ olması durumu:

(3.25) denklemini $\frac{1}{2}P'' + PP' = 0$ olur. Burada bir defa integral alınır,

$$\frac{1}{2}P' + \frac{1}{2}P^2 + c_2 = 0 \quad (3.26)$$

denklemini elde edilir. Bu elde edilen denklemdeki c_2 keyfi sabiti için bazı özel durumlar göz önünde bulundurularak, denklemin rasyonel, trigonometrik ve hiperbolik çözümleri bulunabilir. Şöyle ki, (3.26) denkleminde $c_2 = 0$ alınır,

$$P = \frac{1}{w}$$

çözümü elde edilir. (3.23) eşitliğinden

$$\sigma'' = 0, \sigma' = c_1, \sigma = c_1t + c_0 \quad (3.27)$$

olarak hesaplanır. Ayrıca (3.24) eşitliğinden

$$\theta = \theta_0$$

bulunur ve burada özel olarak

$$\theta = \theta_0 = 1 \quad (3.28)$$

alınabilir. Bulunan bu (3.27) ve (3.28) sonuçlar (3.21) ve (3.22) eşitliklerinde yerlerine yazılırsa

$$w = x + c_1 t + c_0 \text{ ve } u_0 = -c_1 - 1$$

eşitlikleri bulunur. Bulunan bu ifadeler (3.13) dönüşümünde yerlerine yazılırsa verilen denklemin benzerlik çözümlerinden biri olan rasyonel çözüm fonksiyonu

$$u(x, t) = \frac{1}{(x + c_1 t + c_0)} - c_1 - 1$$

elde edilmiş olur.

(3.26) denkleminde $c_2 > 0$ alınır, özel olarak $c_2 = \frac{1}{2}$ alındığında

$$P = -\tan(w)$$

bulunur. $w = x + c_1 t + c_0$ eşitliği P fonksiyonunda yerine yazılır ve $u_0 = -c_1 - 1$ olduğu göz önüne alınır, bulunan ifade (3.13) dönüşümünde yerine konursa, denklemin benzerlik çözümlerinden olan trigonometrik çözüm fonksiyonu

$$u(x, t) = -\tan(x + c_1 t + c_0) - c_1 - 1$$

olarak bulunur.

(3.26) denkleminde $c_2 < 0$ alınır, özel olarak $c_2 = -\frac{1}{2}$ alındığında

$$P = \coth(w)$$

bulunur. $w = x + c_1 t + c_0$ olarak yukarıda yerine yazılır yerine yazılır ve $u_0 = -c_1 - 1$ olduğu göz önüne alınır, bulunan ifade (3.13) dönüşümünde yerine konursa, denklemin benzerlik çözümlerinden bir diğeri olan

$$u(x, t) = \coth(x + c_1 t + c_0) - c_1 - 1$$

hiperbolik çözüm fonksiyonu bulunmuş olur.

(i) $A = 0$ ve $B \neq 0$ olması durumu:

(3.23) eşitliğinde

$$\sigma'' = B, \sigma' = Bt + c_1, \sigma = \frac{1}{2}Bt^2 + c_1 t + c_0$$

olarak hesaplanır. Ayrıca (3.24) eşitliğinden

$$\theta = \theta_0$$

bulunur ve burada özel olarak

$$\theta = \theta_0 = 1$$

alınabilir. Bulunan sonuçlar (3.21) ve (3.22) eşitliklerinde yerlerine yazılırsa

$$w = x + \frac{1}{2}Bt^2 + c_1t + c_0 \text{ ve } u_0 = -Bt - c_1 - 1$$

bulunur. Bulunan bu ifadeler (3.13) dönüşümünde yerlerine yazılırsa

$$u = P(w) - Bt - c_1 - 1$$

eşitliği elde edilir. Buradaki $P(w)$ fonksiyonu

$$\frac{1}{2}P'' + PP' - B = 0$$

denklemini sağlar.

(ii) $A \neq 0$ ve $B = 0$ olması durumu:

Genellik bozulmaksızın $A = -\frac{1}{2}$ alınabilir (3.24) eşitliğinden

$$\frac{d\theta}{dt} = -\frac{1}{2}\theta^3$$

elde edilir. Bu çözümlerse $\theta = t^{-\frac{1}{2}}$ elde edilir. (3.14) eşitliğinde θ yerine $\theta = t^{-\frac{1}{2}}$ yazılırsa

$$\sigma'' + t^{-1}\sigma' - \frac{1}{4}t^{-2}\sigma = 0$$

denklemini elde edilir ve bu denklem çözümlerse

$$\sigma = t^{-\frac{1}{2}}$$

çözümü elde edilir. Bulunan bu değerler (3.21) ve (3.22) eşitliklerinde yerlerine yazılırsa

$$w = \frac{x}{t^{\frac{1}{2}}} + \frac{1}{t^{\frac{1}{2}}} \text{ ve } u_0 = \frac{1}{2}\left(\frac{x}{t} + \frac{1}{t}\right) - 1$$

eşitlikleri bulunur. Bulunan bu değerler (3.13) dönüşümünde yazılırsa

$$u = P(w) \frac{1}{t^{\frac{1}{2}}} + \frac{1}{2}\left(\frac{x}{t} + \frac{1}{t}\right) - 1$$

bulunur. Burada $P(w)$ fonksiyonu

$$\frac{1}{2}P'' + PP' + \frac{1}{4}w = 0$$

denklemini sağlar. Böylece verilen denklemin benzerlik çözümleri bulunmuş olur.

→ (3.1) ile verilen Burgers like denklemi, Adomian ayrışım metodu ile çözelim. Verilen denklemin standart operatör oluşumu

$$L_t(u) + u_x + Nu + \frac{1}{2}L_{xx}(u) = 0 \quad (3.29)$$

şeklinde ifade edilir. Burada, $Nu = uu_x$ lineer olmayan terimi, $L_t = \frac{\partial}{\partial t}$

ve $L_{xx} = \frac{\partial^2}{\partial x^2}$ lineer diferansiyel operatörlerini ifade etmektedir. Burada, L_t^{-1} ters operatörünün var olduğunu kabul edelim ve bunu $L_t^{-1} = \int_0^t (\cdot) dt$ şeklinde tanımlayalım. Bu ters operatörü (3.29) denklemine uygulanırsa

$$L_t^{-1}L_t(u) = -L_t^{-1}(u_x) - L_t^{-1}(Nu) - \frac{1}{2}L_t^{-1}L_{xx}(u) \quad (3.30)$$

elde edilir. (3.30) eşitliğinden

$$u(x, t) - u(x, 0) = -L_t^{-1}(u_x) - L_t^{-1}(Nu) - \frac{1}{2}L_t^{-1}L_{xx}(u) \quad (3.31)$$

yazılabilir. Burada $Nu = uu_x = \sum_{n=0}^{\infty} A_n$ şeklinde ifade edilir ve A_n Adomian polinomları da bir önceki bölümde olduğu gibi oluşturulur. u_0 , bilindiğinden $n \geq 1$ olmak üzere $u_n(x, t)$ elemanları şu şekilde

$$\begin{aligned} u_1 &= -L_t^{-1}(u_0)_x - L_t^{-1}(A_0) - \frac{1}{2}L_t^{-1}L_{xx}(u_0), \\ u_2 &= -L_t^{-1}(u_1)_x - L_t^{-1}(A_1) - \frac{1}{2}L_t^{-1}L_{xx}(u_1), \\ u_3 &= -L_t^{-1}(u_2)_x - L_t^{-1}(A_2) - \frac{1}{2}L_t^{-1}L_{xx}(u_2), \\ &\vdots \\ u_n &= -L_t^{-1}(u_{n-1})_x - L_t^{-1}(A_{n-1}) - \frac{1}{2}L_t^{-1}L_{xx}(u_{n-1}), n \geq 1, \end{aligned} \quad (3.32)$$

yazılabilmektedir. $u_0 = u(x, 0)$ verildiğine göre ayrışım serisinin diğer terimleri (3.32) yineleme formülü kullanılarak

$$\begin{aligned} u_0 &= \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \tanh\left(\frac{x}{2}\right), \\ u_1 &= -L_t^{-1}(u_0)_x - L_t^{-1}(u_0(u_0)_x) - \frac{1}{2}L_t^{-1}L_{xx}(u_0) = -\frac{3}{8}t \operatorname{sech}^2\left(\frac{x}{2}\right) \\ u_2 &= -L_t^{-1}(u_1)_x - L_t^{-1}(u_1(u_0)_x + u_0(u_1)_x) - \frac{1}{2}L_t^{-1}L_{xx}(u_1) = -\frac{9}{32}t^2 \operatorname{sech}^2\left(\frac{x}{2}\right) \tanh\left(\frac{x}{2}\right) \\ u_3 &= -L_t^{-1}(u_2)_x - L_t^{-1}(u_2(u_0)_x + u_1(u_1)_x + u_0(u_2)_x) - \frac{1}{2}L_t^{-1}L_{xx}(u_2) = -\frac{9}{128}t^3(-2 + \\ &\quad \cosh(x)) \operatorname{sech}^4\left(\frac{x}{2}\right) \end{aligned} \quad (3.33)$$

serinin dört terimi elde edilir. Bu elde edilen terimler (2.4.6) serisinde yerlerine yazılarak

$$u(x, t) = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \tanh\left(\frac{x}{2}\right) - \frac{3}{8}t \operatorname{sech}^2\left(\frac{x}{2}\right) - \frac{9}{32}t^2 \operatorname{sech}^2\left(\frac{x}{2}\right) \tanh\left(\frac{x}{2}\right) - \frac{9}{128}t^3(-2 + \cosh(x)) \operatorname{sech}^4\left(\frac{x}{2}\right) + \dots$$

ayrışım serisi oluşturulur ve yukarıdaki seri çözüm fonksiyonu kapalı fonksiyon olarak

$$u(x, t) = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \tanh\left(\frac{1}{2}x - \frac{3}{4}t\right)$$

şeklinde ifade edilir.

3. SONUÇ

Bu makalede, Burgers benzeri denklemin bazı seyahat eden dalga çözümlerini bulmak için Bäcklund Dönüşümü, Benzerlik indirgeme ve Adomian Ayrıştırma yöntemleri denkleme uygulanmıştır. Yukarıdaki yöntemlerin denkleme uygulanması sonucunda denklemin rasyonel, hiperbolik ve trigonometrik çözümleri elde edilmiştir. Daha sonra Mathematica 11.2 programını kullanarak bu çözümlerin denklemini sağladığı görülmüştür.

4. NOT

Bu makale İbrahim Enam İnan'ın doktora tezinin ilgili kısımlarından hazırlanmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] Y. Shang, Backlund transformation, Lax pairs and explicit exact solutions for the shallow water waves equation, Appl.Math.Comput. 187 (2007) 1286-1297.
- [2] T.L. Bock, M.D. Kruskal, A two-parameter Miura transformation of the Benjamin-Ono equation, Phys. Lett. A 74 (1979) 173-176.
- [3] V.B. Matveev, M.A. Salle, Darboux Transformations and Solitons, Springer, Berlin, 1991.
- [4] A.M. Abourabia, M.M. El Horbaty, On solitary wave solutions for the two-dimensional nonlinear modified Kortweg-de Vries-Burger equation, Chaos Solitons Fractals 29 (2006) 354-364.
- [5] W. Malfliet, Solitary wave solutions of nonlinear wave equations, Am. J. Phys. 60 (1992) 650-654.
- [6] Y. Chuntao, A simple transformation for nonlinear waves, Phys. Lett. A 224 (1996) 77-84.
- [7] F. Cariello, M. Tabor, Painleve expansions for nonintegrable evolution equations, Physica D 39 (1989) 77-94.
- [8] M.L. Wang, Exact Solutions for a Compound KdV-Burgers equations, Phys. Lett. A 213 (1996) 279-287.
- [9] E. Fan, Two new application of the homogeneous balance method, Phys. Lett. A 265 (2000) 353-357.
- [10] G. Adomian, A Review of the Decomposition Method and some Recent Results for Nonlinear Equations, Math. Comp. Model., 13 (1990) 17-43.
- [11] P.A. Clarkson, New similarity solutions for the modified boussinesq equation, J. Phys. A: Math. Gen. 22 (1989) 2355-2367.
- [12] W. Malfliet, Solitary wave solutions of nonlinear wave equations, Am. J. Phys. 60 (1992) 650-654.
- [13] E. Fan, Extended tanh-function method and its applications to nonlinear equations, Phys. Lett. A 277 (2000) 212-218.
- [14] S. A. Elwakil, S.K. El-labany, M.A. Zahran, R. Sabry, Modified extended tanh-function method for solving nonlinear partial differential equations, Phys. Lett. A 299 (2002) 179-188.

- [15] H. Chen, H. Zhang, New multiple soliton solutions to the general Burgers-Fisher equation and the Kuramoto-Sivashinsky equation, *Chaos Soliton Fract* 19 (2004) 71-76.
- [16] Z. Fu, S. Liu, Q. Zhao, New Jacobi elliptic function expansion and new periodic solutions of nonlinear wave equations, *Phys. Lett. A* 290 (2001) 72-76.
- [17] S. Shen, Z. Pan, A note on the Jacobi elliptic function expansion method, *Phys. Let. A* 308 (2003) 143-148.
- [18] H. T. Chen, Z. Hong-Qing, New double periodic and multiple soliton solutions of the generalized (2+1)-dimensional Boussinesq equation, *Chaos Soliton Fract* 20 (2004) 765-769.
- [19] Y. Chen, Q. Wang, B. Li, Jacobi elliptic function rational expansion method with symbolic computation to construct new doubly periodic solutions of nonlinear evolution equations, *Z. Naturforsch. A* 59 (2004) 529-536.
- [20] Y. Chen, Z. Yan, The Weierstrass elliptic function expansion method and its applications in nonlinear wave equations, *Chaos Soliton Fract* 29 (2006) 948-964.
- [21] M. Wang, X. Li, J. Zhang, The $\left(\frac{\xi'}{\xi}\right)$ -expansion method and travelling wave solutions of nonlinear evolutions equations in mathematical physics, *Phys. Lett. A* 372 (2008) 417-423.
- [22] S.Guo, Y. Zhou, The extended $\left(\frac{\xi'}{\xi}\right)$ -expansion method and its applications to the Whitham-Broer-Kaup-like equations and coupled Hirota-Satsuma KdV equations, *Appl.Math.Comput.* 215 (2010) 3214-3221.
- [23] H. L. Lü, X. Q. Liu, L. Niu, A generalized $\left(\frac{\xi'}{\xi}\right)$ -expansion method and its applications to nonlinear evolution equations, *Appl. Math. Comput.* 215 (2010) 3811-3816.
- [24] L. Li, E. Li, M. Wang, The $\left(\frac{\xi'}{\xi}, \frac{1}{\xi}\right)$ - expansion method and its application to travelling wave solutions of the Zakharov equations, *Appl. Math-A J. Chin. U* 25 (2010) 454-462.
- [25] J. Manafian, Optical soliton solutions for Schrödinger type nonlinear evolution equations by the $\tan\left(\frac{\phi(\varphi)}{2}\right)$ - expansion Method, *Optik* 127 (2016) 4222-4245.
- [26] Mostafa M.A Khater, Emad H.M. Zahran, Soliton Solutions of Nonlinear Evolutions Equation by using the Extended $\exp(-\varphi(\xi))$ -expansion method, *International Journal of Computer Applications*, 145, 3 (2016) 1-5.
- [27] J.H. He, Exp-function method for nonlinear wave equations, *Chaos Solitons Fractals* 30 (2006) 700-708
- [28] Mostafa M.A Khater, "Extended $\exp(-\varphi(\xi))$ -Expansion Method for Solving the Generalized Hirota-Satsuma Coupled KdV System", *Global Journal of Science Frontier Research: F Mathematics and Decision Sciences*, 15, 7, Version 1.0 Year 2015.
- [29] Mostafa M.A Khater and Emad H.M. Zahran, "Modified extended tanh function method and its applications to the Bogoyavlenskii equation", *Applied Mathematical Modelling*, 40, 1769-1775, 2016.
- [30] İ.E.İnan. Kısmi Diferensiyel Denklemler için Bazı yaklaşım Metotları ve Uygulamaları. Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye, 2004.
- [31] G. Ebadi, A. Biswas, "Application of the $\left(\frac{\xi'}{\xi}\right)$ -expansion method for nonlinear diffusion equations with nonlinear source", *Journal of the Franklin Institute*, 347, 7, 1391-1398, 2010.

- [32] Zheyina Yan, “New explicit travelling wave solutions for two new integrable coupled nonlinear evolution equations”, *Physics Letters A*, 292, 100-106, 2001.
- [33] M.M.A. Khater, A.R. Seadawy and d. Lu, “Dispersive solitary wave solutions of new coupled Konno-Oono, Higgs field and Maccari equations and their applications”, *Journal of King Saud University*, 30, 417–423, 2018.
- [34] X. Zhao, L. Wang, W. Sun, “The repeated homogeneous balance method and its applications to nonlinear partial differential equations”, *Chaos Solitons and Fractals*, 28, 448–453, 2006.
- [35] A. Biswas, E. Topkara, S. Johnson, E. Zerrad, S. Konar, “Quasi-stationary optical solitons in non-Kerr law media with full nonlinearity”, *Journal of Nonlinear Optical Physics & Materials*, 20, 309–325, 2011.
- [36] A. Biswas, A.B. Aceves,” Dynamics of solitons in optical fibers”, *Journal of Modern Optics*, 48, 1135–1150, 2001.
- [37] A.M. Wazwaz, “Burgers hierarchy: Multiple kink solutions and multiple singular kink solutions”, *Journal of the Franklin Institute*, 347, 618–626, 2010.
- [38] E.M.E. Zayed, M.A.M. Abdelaziz, “The two variables $\left(\frac{G'}{G}, \frac{1}{G'}\right)$ -expansion method for solving the nonlinear KdV-mKdV equation”, *Mathematical Problems in Engineering*, article ID 725061, 14 pp, 2012.
- [39] Mostafa M.A Khater and Emad H.M. Zahran,” New solitary wave solution of the generalized Hirota-Satsuma couple KdV system”, *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 6, 1324-1331, 2015.
- [40] J. Manafian Heris, M. Lakestani, “Solitary wave and periodic wave solutions for variants of the KdV-Burger and the K(n, n)-Burger equations by the generalized tanh-coth method”, *Communications in Numerical Analysis*, 1–18, 2013.
- [41] A.M.Wazwaz, H. Triki,” Multiple soliton solutions for the sixth-order Ramani equation and a coupled Ramani equation”, *Applied Mathematics and Computation*, 216, 332–336, 2010.
- [42] A.M. Wazwaz, “The tanh–coth method for solitons and kink solutions for nonlinear parabolic equations”, *Applied Mathematics and Computation*, 188 (2), 1467–1475, 2007.
- [43] J. Manafian Heris, I. Zamanpour,” Analytical treatment of the coupled Higgs equation and the Maccari system via Exp-function method”, *Acta Universitatis Apulensis*, 33, 203–216, 2013.
- [44] A. Ergun, Süreksiz Difüzyon Operatörünün Çözümünün İntegral Temsili Jump Koşulları, *Cumhuriyet Bilim Dergisi*. 39 (1) (2018), 842-863.
- [45] A. Ergun, R. Amirov, Kesintili difüzyon operatörü için Direkt ve Ters problemler noktaları, *TWMS J. App. Müh. Matematik*. 9 (1) (2019), 9-21.
- [46] R. Amirov, A. Ergun, S. Durak, Yarı Ters Problemler Sturm-Liouville Denklemleri. Kısmi Diferansiyel Denklemler için Sayısal Yöntemler. 37 (1) (2021), 915-924.

Büyükşehirlerin Kanalizasyon Hatlarının Etkili İşletmesi, İstanbul Örneği

Mehmet Dikici ¹ *

¹ İnşaat Mühendisliği Bölümü, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Alanya, Antalya, Türkiye
mehmet.dikici@alanya.edu.tr

Özet

Şehirleşmenin iklim değişikliğine sebep olduğu tartışmaları sürerken, mega kentlerin altyapı sorunları ve çözümleri artan nüfus artışına dayalı olarak sürekli güncellenen bir hizmet sahası olmuştur. En önemli altyapı hizmeti şüphesiz su ve kanalizasyon çalışmalarıdır. İkisi bütüncül anlamda birbirinden ayrılmaz olsa da iş bölümü olarak, kullanılmış suların uzaklaştırılması, arıtılması ve alıcı ortama gönderilmesi işini kanalizasyon işletmesi olarak da sınıflandırabiliriz. Plansız kentleşme mega kentlerin altyapı hizmetlerini güçleştirmiştir. Yerel yönetimlerin çoğu zaman engel olamadığı plansız kentleşmenin sonucu oluşan sorunlar ile altyapı idarecileri yüz yüze kalmaktadır. Bu çalışmada öncelikle, kanalizasyon işletmesinin temel tanım ve ilkelerinden bahsedilmiştir. Etkili bir kanal temizliği için olması gereken, araç gereç ve uygulama pratikleri anlatılmıştır. 23 Avrupa ülkesinin nüfusundan büyük bir mega kent olan İstanbul örneği ile bütüncül bir yönetim sistemi ortaya konmuştur. Projelendirmeden bakım, onarım, işletme, arıtma ve deniz deşarjına kadar süreçler için yapılması gerekenler maddeler halinde özetlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Kanal, temizlik, bakım onarım, kanalizasyon işletmesi, İstanbul.

Effective Operation of Sewerage Lines of Metropolitan Cities and the Case of İstanbul

Abstract

While the debate over urbanization has caused climate change, infrastructure problems and solutions for mega-cities have been a constantly updated service, based on growing population growth. The most important infrastructure service is undoubtedly water and sewer work. Although the two are inseparable from each other in a holistic sense, we can also classify the work as the sewerage operation; the disposal of used water, the treatment and the sending of the receiving center. Unplanned urbanization has strengthened the infrastructure services of mega-cities. Problems increased that arise as a result of unplanned urbanization, which local governments often can not avoid and infrastructure administrators face. In this study, firstly, the basic definitions and principles of sewerage operation were mentioned. The tools and application practices that need to be done for an effective channel cleaning were described. An example of İstanbul, a mega-city that is bigger than the population of 23 European countries, has been proposed a holistic management system. Design, repair, maintenance, operation, treatment, sea discharge were summarized as advices that they should be performed in effective sewerage operation.

Key words: Channel, cleaning, maintance, sewerage operation, İstanbul.

1. GİRİŞ

Son yıllarda iklim değişikliği, küresel ısınma veya şehirleşmenin insan yaşamına etkisi ciddi olarak hissedilmeye başlanmıştır. Artan nüfus ve sanayileşme neticesinde onlarca milyonluk büyük şehirler meydana gelmiştir. Uzun vadeli, bilimsel imar, yatırım ve kalkınma planları yapılmayan kentler, çevre felaketleri ile karşı karşıya kalmıştır. Tarım alanları ve ormanlık alanların binalara terk edilmesi, alt yapısı tamamlanmadan yerleşim yerlerinin çoğalması, hava kirliliği, gürültü kirliliği ve çevre kirliliğine dolayısıyla iklim değişikliğine de sebep olmaktadır. Altyapıların çevre açısından da başlıcası su ve kanalizasyon hizmetleridir. Kentlerin su hizmeti olmadan hayat olmayacağı gibi, aynı şekilde, kullanılmış suların uzaklaştırılması hizmeti olan kanalizasyon işletmesi de en az su hizmeti kadar önemlidir. Dünyada kullanılabilir tatlı su kaynaklarının az olması, artan nüfus ve iklim değişikliğine bağlı olarak gelecek nesiller için gerekli tedbirlerin alınmasını zorunlu kılmış ve bu yönde tedbirler alınmaya başlanmıştır. Diogo ve diğ. [3] kanalizasyon işletmesine etki eden faktörleri ele aldığı çalışmada yeterli ve çevreci bir maliyet analizi yapmıştır, Brandt ve diğ. [5] kanalizasyon ve arıtmadaki koku ve korozyonun azaltılması yöntemlerini araştırmıştır, Fowdar ve diğ. [4] yağmur sularının kanalizasyon işletmesine baskısının azaltılmasını ele almıştır. Kanalizasyon işletmesinin kırsal bölgelerdeki doğal ortamda çok hayati bir önemi olmasa da, kentlerde ve özellikle de mega kentlerde son derece önem arz etmektedir. Nowakowska ve diğ. [7] şehir kanalizasyon sistemlerinin SWMM modelleme programı ile modellemesini araştırmış ve Wrocław için alan çalışması yaparak bölgesel parametreleri elde etmiştir. Kumar ve diğ. 2016 'da [2] Delhi şehri için bütüncül bir kanalizasyon yönetiminin gerekliliğini ele almış ve mevcut işletmenin yetersizliğini göstermiştir.

Dünyanın birçok bölgesinde, büyük şehirlerdeki su gibi kanalizasyon hizmetleri de, yerel yönetimler tarafından kısa vadeli yapılmış, merkezi yönetimlerin şehirleşmeyi körükleyecek yanlış politikalarına engel olunamamıştır. İstanbul'da bu yanlış uygulamaya örnek bir mega kenttir. Bu çalışma kapsamında, mevcut olumsuzluğa rağmen etkili bir kanalizasyon işletmesi ile kentin plansız büyümesinden kaynaklanan çevre kirliliğinin en aza indirgenmesinin yolları incelenmiştir. Kanalizasyonun tarihçesinden, tanımlarından, işletme kuralları ve yöntemlerinden günümüz için şehir altyapı işletmecilerine ışık tutacak uygulamalar ve çözüm önerilerinden bahsedilmiştir. İstanbul örneği ile plansız kentleşme sonucu oluşan büyükşehirlerin kanalizasyon hatlarının işletmesi, bakım ve onarımı için etkili çözüm önerileri sunulmuştur.

2. MALZEME VE YÖNTEM

2.1. Tarihçe

Meskûn bölgelerde kullanılmış suların kanallarda toplanabilmesi için her binada basınçlı suyun mevcut olması gerekir. Aksi halde kullanılmış sular septik çukurlarda toplanmalıdır. Eski zamanlarda şehirlerde basınçlı su olmadığından kullanılmış su kanallarından önce yağmur suyu kanalları inşa edilmiştir. Önceleri yağış sularının zararlarından korunmak için inşa edilen kanallar daha sonra değiştirilerek kullanılmış su kanalları haline getirilmiştir. Bu günkü manada olmasa bile ilk kanallar Hindistan'da ve daha sonra da Mısır'da inşa edilmiştir. İlk çağlarda Romalılar ve Etrüskler (Ön Türkler) daha ileri seviyede kullanılmış su kanalları inşa etmişlerdir. Eti'ler ve diğer Türk boyları da su ve kanal inşaatlarında devirlerinin en ileri tekniklerini tatbik etmişlerdir. Orta çağda, ortaya çıkan isyan ve harplerden dolayı yerleşim merkezlerinin emniyetinin temini her şeyin önüne geçmiştir. Bilhassa Avrupa'daki din ve mezhep kavgaları ve derebeylik düzeni su ve kanalizasyon işlerinin ihmeline sebep olmuştur. Bu ihmal o derecede fazla idi ki Viyana ve Londra gibi büyük şehirlerde kullanılmış sular pencerelerden caddelere atılmaya başlanmıştır. İngiltere'de 1831 senesindeki büyük kolera salgınından sonra çevre sağlığı tesislerine önem verilmeye başlanmıştır. Almanya'da ilk kullanılmış su kanalları inşaatına 1842 senesinde Hamburg'da başlanmıştır [8]. İstanbul'da, Bizans ve Roma devrinden kalma kanalizasyon hatları sur içi denilen tarihi yarımada da mevcuttur. Günümüz teknolojisiyle yapılan hazır

beton büzlere gelene kadar, yerinde dökme beton, tonoz veya kutu kesitler ile yapılan kolektörler veya kazısız teknolojiyle yapılan tüneller hâlihazırda kent kanalizasyon hatlarını oluşturmaktadır.

2.2. Kanalizasyon İşletmesi ile ilgili Temel Tanımlar

2.2.1. Kanalizasyon İşletmesi

Evsel veya sanayi atıklarından oluşan kullanılmış suların çevreyi kirletmeden arıtma tesislerine gönderilmesine kadar ki işleme kanalizasyon, ileri biyolojik arıtmadan geçirildikten sonra, rusubatin alıcı ortama deşarj edilmesine arıtma süreci denir. Her iki aşamaya birden kanalizasyon işletmesi de denebilir. Kanalizasyon hatları; çoğunlukla yerden 3-6 m aşağıda yapılan kazılar ile oluşturulan hendeklere döşenen borular veya kazı yapılması uygun olmayan yerlerde kazısız teknoloji ile yapılan derin tünellerden ve kum tutucu, su alma yapısı gibi ara tesislerden oluşur.

2.2.2 Kullanılmış Sular

İşletmesi yapılan kolektörlerin içindeki kullanılmış sular (rusubat) kaynağı itibari ile dört ana gruba ayrılır. Bu kullanılmış sular aşağıda kısaca tanımlanmıştır;

Evlerden Gelen Kullanılmış Sular

Şehir içme suyu şebekesiyle evlere verilen temiz suların çeşitli şekillerde kullanıldıktan sonra aldıkları şekildedir. İçerisinde bol miktarda organik madde, sabun, deterjan artıkları, kâğıt parçaları ve mutfak artıkları ihtiva eder. Bu suların içindeki maddeler zamanla ayrışabilir niteliktedir. Ayrışma sonucunda H₂S (Hidrojen Sülfür), NH₃ (Amonyak), CO₂ (Karbon Dioksit) ve CH₄ (Metan) gazları ortaya çıkar, ayrışma esnasında ağır kokular etrafa yayılır. Ayrıca patojen bakteriler de ihtiva edebileceğinden bu sular bekletilmeden arıtılıp uzaklaştırılmalıdır.

Sanayi Tesislerinden Gelen Kullanılmış Sular

Sanayi tipine bağlı olup, alıcı ortama doğrudan verilebilecek kadar temiz olanların yanında kanallara ve tasfiye tesislerine verilemeyecek derecede kirli olanları vardır. Sanayi tesislerinden gelen asitli sular, sıcak sular (40 dereceden fazla), benzin ve gazolin gibi maddeleri ihtiva eden sular, fenol, siyanür ve arsenik gibi zehirli kimyasal madde ihtiva eden sular kanallara doğrudan bağlanamazlar.

Yağmur Suları

Binaların çatılarından, caddelerden bahçe ve parklardan gelen yağmur suları olup, toz, toprak, çakıl gibi maddelerle yaprak süprüntü ve çöp artıkları gibi organik maddeleri ihtiva ederler. Sokakları temiz olmayan yerleşim merkezlerinde ilk düşen yağmurlardan sonra kolektörlerde ani tıkanmalar yaşanabilir.

Yeraltı Suları

Yeraltında genellikle kanalların bağlantı yerlerinden sızan sular genel olarak temizdir. Projelendirme esnasında kanal debisinin hesabında miktar olarak göz önünde bulundurulur.

2.3. Kanalizasyon İşletmeciliği İlkeleri

Yukarıda karakteristik özellikleri belirtilen kullanılmış suların kanalizasyon hatları ile alıcı ortama verilmesi kapsamını dört ana başlıkta ele alınabilmektedir.

2.3.1. İşletmede birinci öncelik doğru projenin yapılmasıdır

Yerel yönetimlerin proje dairesi tarafından, havza bazında çevre koruma projeleri hazırlanır ve yatırımcı daire tarafından imalatı yapılır. Yapılan doğru projeler ve nizami imalatlar işletmenin kolaylığını sağlar. Aksi takdirde, sürekli tıkanıklığa sebep olan, işletme yükünü ağırlaştırıcı hatlar ile karşı karşıya kalınır. Belirlenme yöntemleri ve kriterler ile hesaplar, kanalların içinde çökme olmaması ve kanalın aşınmasına sebep olmayacak minimum ve maksimum hızları elde edecek eğimler projelendirme için önemlidir [1].

Sık sık çöküntü olan eski tonoz veya kutu kesitlerin ve artan nüfusa göre çapları yetersiz olan hatların bilgileri ile imalat esnasında görülen aksaklık ve işletme açısından yarar sağlayacak değişiklikler ilgili birime bildirilerek doğru projenin yapılması sağlanır.

Kolektörlerin iş sonu kabul heyetlerinde GİS elemanı, şebeke ve işletme teknik elemanının bulunması, eğitim kontrolü ve imalat kalitesinin sağlanması açısından önemlidir.

2.3.2. İkinci önemli husus denetimdir

Sanayi atık sularının kolektörlere giriş noktasında ilgili kontrol dairesi kolektörlere giriş kriterlerini denetler. Bu denetim kolektörlerin zarar görmemesini ve daha uzun ömürlü olmasını ve işletmenin kolaylığını sağlar. İkinci önemli denetim ise muayene bacalarından yapılan doluluk tespit denetimidir.

Periyodik denetimlerin yanı sıra yerel olarak değişen rusubat doluluk miktarına göre de bir iş programı yapılır. Daha büyük çaplı bir maliyet olmadan idarenin kombine araçları ile kısmi iyileştirme sağlanır. Kolektörler üzerindeki kum ve taş tutucuların özellikle her yağıştan sonra kontrolü yapılır. Arıtma tesislerine gelen rusubatın kontrolü ise ilgili birimle koordineli olarak yapılır. Deniz deşarjlarının kontrolü de, düzenli olarak sahillerdeki belirli noktalardan yapılır.

2.3.3. Üçüncü önemli husus, kolektörlerde güvenli ve yeterli temizliğin yapılmasıdır

Kolektör hattının üzerindeki muayene bacaları gerekli trafik tedbirleri alındıktan sonra kapakları açılarak kolektör havalandırılır. Bacalardaki sıkışmış gazın dışarı çıkışı sağlandıktan sonra iş elbiseli, eldivenli elemanlarca gaz detektörü yardımıyla gaz seviyesi ölçülür. Uygun ise emniyet kemeri takılı, gaz maskeli eleman bacaya iner ve doluluk tespiti yapılır. Akış normal ve bir doluluk yok ise baca kombine araç ve işçi marifetiyle yıkanır, kapağı kapatılır. Eğer bir kısmı doluluk var ise membaı yönüne doğru kanal açma başlığı atılıp, ileri noktalar kontrol edilir, vakum yardımı ile bir iyileştirme sağlanır. Eğimin az olduğu kolektörler üç ayda bir, herhangi bir problem görülmeyen kolektörler yılda bir, kesişen kolektörler ayda bir, kum tutucu ve çevirme yapıları her yağış esnasında ve sonrasında muayene edilir.

Temizlikte esas olan kolektörlerdeki rusubatın vakumlanarak dışarı çıkarılıp, döküm sahasına nakledilmesidir. Yalnız kanal tıkanıklığının giderilmesi sorunu ötelemektir. Uygun aralıklarla muayene bacaları olan bu kolektörlerde, debinin müsait olduğu mevsimlerde, işçilerin kolektöre inerek, el arabası yardımıyla rusubatu bacalara getirmesi ve asansör yardımıyla dışarı çıkarılması yöntemi ile en verimli temizlik yapılır.

2.3.4. Dördüncüsü, bakım onarım sürekli olmalıdır

Kolektörlerin daha uzun ömürlü olması için zarar verici atık suların girişinin önlenmesi gerekir. Bu da sanayi tesislerinin sağlıklı ve düzenli periyodik denetimlerinin yapılması ile ilgilidir. Vatandaşların kaçak olarak, rabit bağlantılarını tekniğine uygun yapmamaları, diğer altyapı yapan kurumların çalışmaları esnasında dış müdahalelerle, mevcut hatlara zarar vermeleri, imalatın kalitesiz yapılması veya eski hatların mukavemetini kaybederek çökmesi neticesinde zaman zaman çöküntü tamirata yapılır.

Gerekli emniyet tedbirleri alındıktan sonra çöküntü olan kısım temizlenir, hattın çöken kısmı yerine yeniden aynı çapta imalat yapılarak kısmi iyileştirme sağlanır.

Ayrıca, muayene bacalarının kireçle yıkanması ve aktif karbon uygulaması ile aşırı koku olan bacalarda bakım çalışması yapılır.

2.3.5. Beşincisi, yağmur suyu ayırık sistem olmalıdır

Yağmursuyu ve atık su kanallarının ayırık sistem işletilmesinin düşünülmesi ile birlikte işletme ağırlığı da bir kat daha artmıştır. Yağmursuyu kanallarının bakımı daha hızlı bir işletim ağını gerektirir. Her yağış esnasında ve sonrasında yağmursuyu kanallarının temizliği gerektiği gibi, yağmursuyu ızgaralarının da temizliği gerekir.

Yağmur suyu kanalı olmayan yerleşim bölgelerinde durum daha zordur. Yüzey suları, önüne toz, toprak ve çöp gibi her türlü organik veya inorganik malzemeler ile birlikte atık su kolektörlerine girerler. Bu ise kolektörlerin savak noktalarından sızmalara ve geri tepmelere sebep olur. Normal şartlarda yeterli olan kesitler, yağmur sularının karışması ile bu tür işletme problemlerine yol açar. Çoğunlukla ani ve yoğun yağışlarda sel baskınları yağmursuyu kanalı olmayan düşük kotlarda bulunan noktalarda oluşur.

Ayrıca, yağmur suyu kanalları yüzeye daha yakın olduğundan, bakım onarım başlığında belirtilen hususlar yönünden, hatlara dış müdahaleler daha yoğundur.

2.3.6. Altıncısı, dereler periyodik olarak ıslah edilmelidir

Kolektör hatlarının yetersiz olduğu veya hiç olmadığı yerlerde dereler karışık sistem gibi çalışmakta, kurplarda ve menfezlerde yer yer tıkanıklığa sebep olmaktadır. Yağışlarda ise sel baskınlarına yol açacağından atık su kolektör hatlarının işletmesini sağlamak açısından, zaman zaman temizlik ve kesit düzenlemesi yapılır. Öncelikle yerleşim bölgelerinde bulunan derelerin, membaından denize döküldüğü noktalara kadar kuşaklama kolektörlerinin tamamlanması gerekir. Sadece yağmur suyu taşıyan derelerin işletilmesi ise yağmursuyu ızgaralarının periyodik bakımı ve kaba malzemeler için yapılmış olan kum ve taş tutucuların bakımı ile sağlanır.

Toplumsal bir yara olarak, vatandaşın evinin önünden geçen dereyi bir çöp deposu gibi kullanması gerçeği vardır. Zaman zaman yapılan dere temizliklerinde yatak, dolap, otomobil lastiği ve hatta eski araba kaportası bile çıkarıldığına şahit olunmuştur. Derelerin ıslah projeleri ile birlikte ağaçlandırılması toplumsal bilinç sağlanana kadar tel çitler ile koruma altına alınması gerekir.

2.4. Mega Kentlerde Kanalizasyon Hatlarında Temizlik Pratikleri

Yeraltı sistemlerinde aktif olarak çalışmayan insanların çok azı ayaklarının altında yatan karmaşık boru ve kablo ağını ve önemini anlar. Yeraltındaki hatlar ister yerel otorite, ister merkezi hükümet olsun karar vericiler tarafından da zaman zaman ihmal edilmiştir. Yeraltı hatlarının döşenmesi ve bakımı sahipleri olan belediyeler ve yol yetkilileri için yoğun uğraş alanıdır. 1997’de İngiltere’deki yollar ve yaya yolları çeşitli nedenlerle (yeni servis, tamir veya bakım için) bir yıl içinde 4 milyon kez kazılmıştır. Sadece Londra’da 2004’de 1 milyon kazı yapılmıştır. Yeraltındaki borular ve kablolar ağı çok büyüktür ve şehirleşme ile giderek artmaktadır. Örneğin, İngiltere’de 396.000 km su, 353.000 km kanalizasyon, 275.000 km gaz ve 482.000 km elektrik kablo hattı vardır. 1945’ten bu yana Japonya’da döşenen kanalizasyon hattı toplam uzunluğu 390.000 km’ dir. Diğer ülkelerde de durum aynıdır. Hollanda’da gömülü kablo ve boru hattı uzunluğu 1,75 milyon km’ dir [8]. Türkiye’de mevcut kanalizasyon hatlarından ekonomik ömrü dolup da yenilenmesi gereken hatların toplam uzunluğu ise 30.000 km olarak belirlenmiş olup, bu hatların yenilenmesi için gerekli yatırım ihtiyacı yaklaşık 10.800.000.000 TL (2017) olarak hesaplanmıştır [9].

Kanalizasyon borularının yaşları 0 ile 100 yıl arasında değişir. Boru malzemesi genellikle beton ve kil (ve az oranda dökme demir ve plastikler) den oluşur. Boru çapı 250 ile 2000 mm arasında değişir. Yaşlanan kanalizasyon hatlarında kusurlar; bağlantıda kaçıklık, birikinti-kir, çatlaklar, kök uzantısı ve

çökme şeklinde gelişir. Tıkanma veya kapasite kaybı nedeniyle reaktif müdahale gerekebilir. Bu durumda boru hattı temizlenir ve arkasından sabit veya robot destekli kamera ile incelenir. Sorunsuz eski boru hatlarına proaktif (önleyici bakım) inceleme-temizleme (veya inceleme-temizleme-inceleme) de uygulanabilir. Kapalı devre televizyon kamera (CCTV) en genel iç inceleme tekniğidir. Diğer doğrudan veya destekleyici incelemeler: Radyografi, akustik, termografi, emiyon, ultra ses, magnetik teknik, titreşim, mikrodalga, kızılötesi ve lazer tarama'dır. Satelite kamera ve sonar sistemi sadece CCTV ve/veya diğer tekniklerle hasarsızlık veya dereceli hasarlılık tayin edilir. Kanalizasyon boruları için; i) İç, ii) Cidar ve iii) Dış inceleme olmak üzere 3 farklı kategori vardır. İç inceleme en ekonomik ve tercih edilendir. Eski boru hattını incelemeyen sonra rehabilitasyon yöntemi, gerekçeleri ve gerekleri tartışılır. Geleneksel açık kazılı sistemle tamir yenileme yapılabildiği gibi, kazısız teknolojiler de önemli alternatiflerdir. Başlıca kazısız teknikler; yerinde kürlenme ile astarlama, kaymalı astarlama CIPP, CIPP - GRP, parça astarlama, deforme baskı boru ile astarlama, ısı ile şekil alan sıkı geçmeli boru astarlama, kimyasal harç ile sıvama teknikleri, beton harç ile kaplama uygulamaları, boru patlatma tekniği, robotik rehabilitasyondur.

Kuzey Amerika için verilen istatistikler kanalizasyon sisteminin %70'e yakın oranının bakım gerektirdiği yönündedir. Bundan dolayı, idarelerin yapı ve rehabilitasyon harcamalarında kanalizasyonun payı çok yüksektir ve içme suyuna oranı genellikle 2 kattır.

Kanalizasyon sisteminin performansı atık suyu ve seli hidrolik denge bozulmadan iletmesine bağlıdır. Sistem, minimum ekolojik hasar ve iyi yapısal kararlılık göstermelidir. Çevreye verdiği zarar ve diğer nedenlerle (sağlık ve güvenlik) açık kazı yerine kazısız teknolojiler öne çıkmaktadır. Zira yolların kazı için kapanmasından sebeple farklı yollar ve fazla yakıt, zaman israfı ve ayrıca sosyal yönü de dikkate alınmalıdır.

2.4.1. Kanal temizliği

Atık su kanallarının temizliği su ve kanalizasyon idarelerinin ana görevlerinden biridir. Almanya' da sadece Kuzey Westfalen' de senede 40.000 km kanal temizliği yapılmaktadır. Bunların maliyeti 50 Milyon Euro üzerindedir. Almanya'da kilometre başına düşen temizlik gideri 1250 Euro civarındadır [8].

Kanallardaki debinin azlığı kanaldaki katı cisimlerin ve atıkların akışını zorlaştırır. Bu durum rusubat, tortu, çamur ve katı cisimlerin kanallarda birikmesine sebep olur. Bu yüzden kanal temizliği ve kontrolü çok önemlidir. Bu bölümde kanal temizliğinin optimum derecede ve en iyi şekilde yapılabilmesi için işletim adımları ve öneriler verilmiştir. Su ve kanalizasyon idarelerinde temizlik işleriyle görevli mühendisler ve teknik elemanlar bu bölümde verilen temizlik aşamalarının planlanması ve uygulanmasından sorumludurlar. Yüksek basınçla temizlik, temizlik aşamalarındaki en önemli noktadır ve pratikte % 95 oranında bu uygulama kullanılır. Bu bölüm, kanal temizleme aşamasının daha iyi anlaşılabilmesi için bilgiler içermektedir.

Kanalların tıkanması ve atık suyun akamaz duruma gelmesi halinde temizlik zorunludur (Şekil 1). Bazı durumlarda az da olsa su akışı olabilir çok kirlenmiş suyun akış hızı yavaşlar ve katı atıkları taşıyamaz duruma gelir.

Bazen kanalizasyon hatlarında kükürt oluşumu görülebilir. Çok fazla kükürt oluşur ve su konsantrasi azalırsa koku oluşur ve çevreye büyük oranda rahatsızlık verir. Kanallar; şaft, baca, arıtma, mazgal, konutlarla olan bağlantı, basınç, pompa ve vakum aletleri, nozulları vs.' yi kapsar.

Esas çalışmalar;

- Kontrol; yürütme, ölçümler, yoğunluk ölçümü, TV ile denetleme robotu, dokümantasyon,

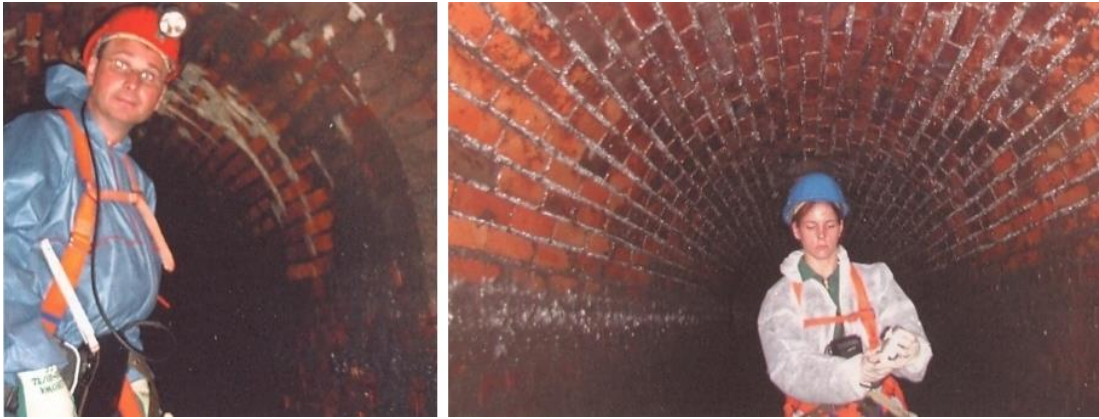
- Hidrolik; kanal duvarlarındaki kirliliğin, kanal daralmalarının, katılaşmaların, türbülansların azaltılması,
- Modernleştirme ve düzenleme; mazgallar, kapaklar, bağlantılar, atıkların uzaklaştırılması,
- Diğer işler; havalandırma, kokunun engellenmesi, kanaldaki farelerden kurtulma vs.



Şekil 1. Kombine ile kanal temizliği

Aşamalar;

- Kanalizasyon idareleri, temizliğin şeklini planlamasını, sıklığını yerel koşullara ve teknik zorluklara göre belirlerler (Şekil 2).
- Kanallar ve kesişme noktalarındaki birikme, temizlik planından sonra kontrol edilmelidir. En az iki sene bir optik aletler ile de kontrol yapılabilir.



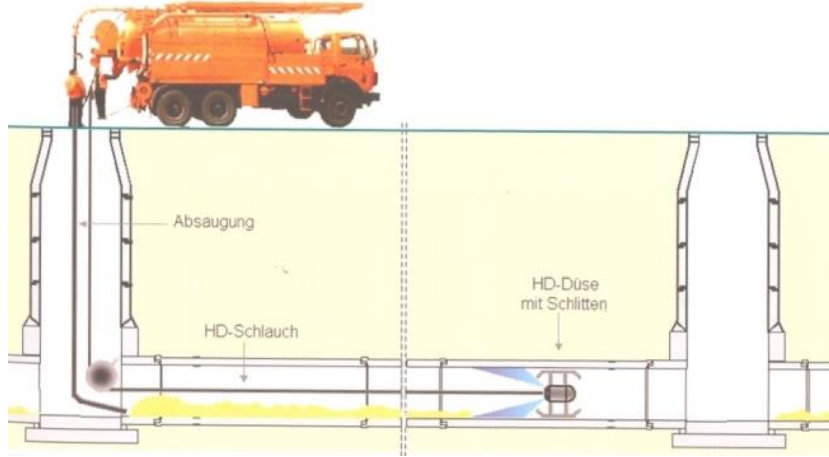
Şekil 2. Kanallarda yapılan incelemeye örnekler (tonoz yapılar)

2.4.2. Temizleme Yöntemi ve Araç-Gereçler

Yüksek Basınçla Temizleme Yöntemi

Kanal temizliğinin % 90'ından fazlası düzenli bakım ve yüksek basınçla temizleme sayesinde yapılır. Bu aşamalarda sadece istisnai durumlarda kanalizasyona girilir. Gerekli teknik araç gereçler ise; su tankı, yüksek basınç pompası, su hortumu, çekme hortumu ve temizleme nozullarıdır.

Kanal içinde bulunan ya da kanal duvarlarına yapışmış tortu ve pislikler, yüksek basınçlı su sayesinde çözülür ve temizleme aracı sayesinde emilir. Daha sonra elde edilen tortu ve çamurun drenaj ve arıtması yapılır. Böylece içindeki kimyasal maddeler etkisizleştirilmiş olur (Şekil 3).



Şekil 3. Kanal temizliğinin şema halinde gösterimi (kombine aracı)

Yüksek Basınçla Temizleme Araçları

- a) Yüksek basınçlı temizlik aracı, tazyikli suyun basıncı sayesinde kanal duvarlarını temizler ve bunları emme araçlarıyla kanaldan yukarı çekilir.
- b) Emme araçları çamur ve tortuyu şaft (baca) ve kanallardan yukarı çeker.
- c) Hem tazyikle yıkama hem de çekme özelliğine sahip kombine araçlar da vardır. Bu araçlarda su tankı ile atıkların çekildiği iki farklı hazne vardır. Konteynırlar arasında bir duvar bulunmaktadır.
- d) Ayırıştırma araçları çamur kütlelerini ve kirli suyu birbirinden ayırır. Tortu ve çamurlar atık haznesinde saklanır. Kirli su ise mekanik olarak temizlenir ve tekrar yıkama bölümüne iletilir.
 - Araçlar satın alınırken maksimum kapasiteleri göz önünde tutulmalıdır.
 - Motor güçleri yeterli olmalıdır.
 - Yedek parçaların bulunması motorun ve araçların ömürlerini korur.
 - Araçların satın alınmadan önce test edilmesi önerilir (Şekil 4).



Şekil 4. Yüksek basınçla temizliğin genel görünümü (aparatar)

Araçların Kullanımı

Öncelikli olarak doğru aracın seçilmesi gerekmektedir. Araçların manevra kabiliyeti, gerekli pompa gücü ve hortum uzunluğu dikkat edilmesi gereken unsurlardır. Bunların dışında kanal durumuna göre beklenen atık miktarı da araç seçimindeki önemli bir faktördür. Ayrıca kışın donmaması için kaloriferli ve ısıtmalı araçlar da mevcuttur (Şekil 5).



Şekil 5. Araçların kullanım koşulları (kırsal ve kentsel yerler)

- a) Kavşakta temizlik ve çekme aracının birlikte çalışması,
- b) Arazide ulaşılması zor bir shaft (baca)

Yüksek Basınçlı Yıkama Hortumları

Hortumların seçiminde işin boyutu, hortumun taşıyabileceği su kapasitesi ve basınçları göz önünde tutulmalıdır. Hortum büyüklüklerine göre önerilen hortum debi-akım tipleri aşağıdaki gibidir;

Hortum boyutu	Debi-Akım (lt/dk)
DN 19	200
DN 25	200 – 325
DN 32	325 – 650
DN 38	650 – 800

Hortumların içindeki su basıncı hortumun iç duvarında sürtünme kaybına yol açar. Bu pompanın gücüne, hortumun kalınlığına ve uzunluğuna bağlıdır. Hortumlar lastik ya da plastikten yapılmaktadır ve genelde 120 – 250 m uzunluğunda olmalıdır.

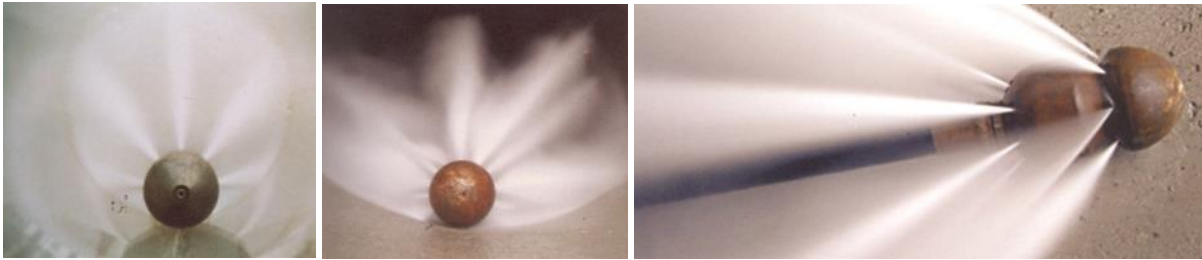
- Hortumda sürtünme nedeni ile oluşan basınç kayıpları her metre başına 0,3 – 0,4 bar arasındadır.
- Örneğin; 120 m' lik lastik bir hortumda dakikada 300 lt pompalanırsa, basınç kaybı 40-50 bar civarında olur.
- Plastik hortumlar daha hafif olup suda yüzebilirler. Aynı zamanda içerisindeki sürtünme azdır. Bu durum kanal içine hortum çekilirken avantaj sağlar.
- Plastik hortum üreten şirketler, bu hortumların ilk 10 – 20 m' sini lastikten yaparlar.

Nozullar (Başlık)

Temizlik için kullanılan çeşitli nozullar vardır. Bunlar aşağıdaki gibidir;

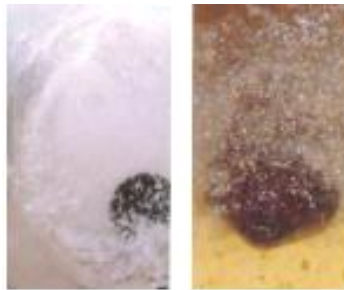
- Yuvarlak Nozullar: DN 600' e kadar olan kanal duvarlarını temizlemek için kullanılır (Şekil 6). Nozullar, üzerlerindeki delik sayısına ve suyu püskürtme açılarına göre sınıflandırılır. Yüksek açılarda kanal duvarlarındaki kirlenmeleri çözme kuvveti artmış olur.

Yuvarlak uçlu nozullar püskürtme açıları nedeniyle kanallarda hava akımı oluştururlar. Bu akımlar Aerosol oluşumuna neden olabilir. Daha büyük püskürtme açılarında ya da küçük basınç ve akım değerlerinde bu risk azalır.



Şekil 6. Yuvarlak nozul örnekleri (su püskürtme aparatı)

- Dönen Nozullar: Tüm kanal duvarına yayılmış sert tortuları çözmek için kullanılır (Şekil 7). Dönen nozul, tüm kanal duvarını temizleyecek biçimde ayarlanmalıdır. Basıncılı suyun püskürtülmesi, nozulun ortasındaki dönen bir başlık sayesinde yapılır. Böylece temizlik daha az miktarda fakat daha yüksek enerjideki suyla yapılmış olur.



Şekil 7. Dönen nozullara örnekler

- Yassı (düz) Nozullar (Dip-Taban Temizleyici): DN 500 ' den büyük kanallarda dipte kalan çözülmüş, gevşek tortuları uzaklaştırmak ve taşımak için kullanılır (Şekil 8). Bu nozullarla kanal dipleri ve buradaki ağır tortu ve çamur temizlenir. Yassı nozullar, yuvarlak nozullardan daha büyük kesitler için kullanılır. Yassı nozulların püskürtme gücü, 320 lt/dk' dan fazladır [8].



Şekil 8. Yassı (düz) nozul örnekleri

Fışkırtıcı (Enjektör) nozullar (Şekil 9.), çok yüksek miktarda su püskürtebilir (yaklaşık dk' da 3 m³' den fazla).



Şekil 9. Fışkırtıcı (Enjektör) nozullara örnekler

- **Öne doğru (ilerleyen) Nozullar:** Tıkanıklıkları çözmek için kullanılmaktadır (Şekil 10). Bu nozullar sayesinde tıkanıklıklar çözülebilir. Tortu ve çamurun taşınmadığı yerlerde, bu nozullar taşımaya yardımcı olurlar. Bazı yuvarlak nozullar, tıkanıklıkları çözmeleri için ilerleyen nozullarla donatılmıştır.

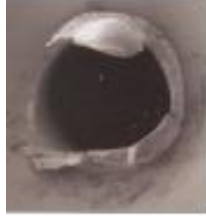


Şekil 10. Öne doğru (ilerleyen) nozullara örnekler

Nozul Delikleri

Nozul delikleri, nozul içlerine monte edilmiş olup, deliklerden su akışı temizlik verimini belirleyen faktörlerdendir. Hızlı püskürten nozullar daha güçlüdür. Nozul delikleri hasar görmemelidir (Şekil 11). Uygun nozul seçimi yapılmalıdır. Basınç ve enerji kaybını nozulun çeşidi, büyüklüğü, pompanın gücü, hortumun hammaddesi, uzunluğu ve genişliği belirler. Temizlik verimi de bu parametrelerden etkilenir. Nozulun çalışması mevcut su kütlesi için az ise basınç artırılabilir. Araçlardaki pompalar basıncı düzenler.

Öneriler: Nozul ve delikleri düzenli biçimde kontrol etmek gerekir. Araçtaki motor devir sayısı ve basınç aletinin kontrolüyle nozul deliklerindeki su kontrol edilir.



Şekil 11. Hasar görmüş bir nozul deliğinin mikroskop altındaki görünüşü

Çekme (Emme) Aşaması

Temizlikte kullanılan suyun araca çekilmesi için enjektörler de kullanılabilir. Kanaldaki kütlelerin çekilmesi için enjektörler derin bacalarda yardımcı olabilir (Şekil 12).



Şekil 12. Çekme pervanesi

Emme pervanesi pisliklerin ve suyun akıp gitmesini engeller. Böylece suyun dönüşümü esnasında daha az kayıp olur (Şekil 13).



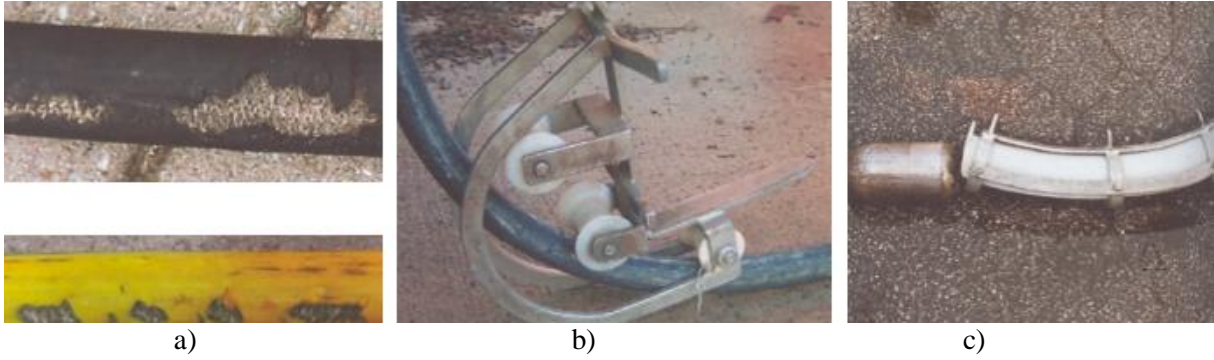
a)

b)

Şekil 13. a) Filtreli enjektörler, su birikintilerinden (gölet, dere) araçlara su çekebilirler, Şekil 13. b) Enjektörlerle araç daha hızlı doldurulur

Dönme Menteşesi ve Güvenlik Borusu

Hortumun dönmemesi için dönme menteşesi kullanılır. Nozulun kanalda dönmemesi ya da kontrolsüz hareket etmemesi için güvenlik borusu nozul ile su hortumu arasında kullanılır. Hortumun kuyudan sarkıtılırken ve kuyu içindeyken korunması gerekmektedir. Dönen makaralar nozulu tahliye şaftına yaklaştırana kadar kanal dibinde tutar ve böylece aerosol oluşumu azaltılır. Dönen parça, hortum ve döndürme parçası arasında sürtünme kuvveti oluşturur, bu yüzden hareketli makaralar tercih edilir (Şekil 14).



Şekil 14. a) Hasar görmüş bir hortum, b) Dönen makaralar, c) Dönen parça

Temizlik suyun akış yönünde uygulanır. Yüksek basınçla temizliğin aşamaları şunlardır:

- Yüksek basınç nozulu bacadan sarkıtılır,
- Hortum ve nozul, pompanın da yardımıyla çıkış shaftına kadar ilerler,
- Hortum ve nozul, motorlu makarayla geri çekilir,
- Tazyikli su, çözülmüş tortu ve çamurla beraber temizlik aracına çekilir.

Temizlik başarısına, nozul seçiminin yanında nozul basıncı, etkisi ve nozulun geri çekilme hızı gibi parametreler etki eder. Örneğin çok az su varsa, ya da nozul çok hızlı geri çekildiyse, kanalda tortular kalabilir ve tekrar bir temizliğe ihtiyaç duyulabilir. Büyük kirlenmelerde önerilenler; Enjektör nozullar kullanmak, temizlik parametrelerine uymak, Örnek: Püskürtme ≥ 280 lt/dk ve nozul geri çekimi ≤ 24 m/dk [8].

3. BULGULAR

İstanbul'un Su ve Kanalizasyon Altyapısı

İstanbul medeniyetler boyunca tarih sahnesinde yerini almış ve kıtalararası coğrafi konumu itibariyle de her devirde cazibe merkezi olmuştur. Hızlı nüfus artışı ve beraberinde gelen sanayileşme, plansız kentleşmeyi rant merkezli bir yapılaşmaya dönüştürmüştür. Altyapısı buna bağlı olarak yetersiz olan İstanbul'un en önemli sorunu içme suyu teminidir ve Melen Projesi'nin tamamlanmasıyla kısmen birinci öncelikten çıkması düşünülmektedir. En az onun kadar önemli altyapı çalışması ise kullanılmış suların alıcı ortamlara ulaştırılması hizmetidir. Mevcut ve halen yapılmakta olan, kanalizasyon hatları, kolektör, tünel ve atık su arıtma tesisleri, Marmara Denizi kirlenmeden çok önce yapılmalıydı. Yağmur suyu kanalları olmayan yerler, derelerin kanalizasyon hattı gibi kullanıldığı bölgeler ve ileri biyolojik arıtmasız deniz deşarjı olan sahillerin olması, işletmeyi her koşulda yetersiz kılacak sebeplerdir. İstanbul gibi mega kentlerin kanalizasyon işletmesi ilkeleri, yöntemleri ve sürekli temizliği ile ilgili pratikler 2. bölümde incelenmiştir. Kanal temizliği bölümünde izah edilen şartların, kentin temizlik ihalelerinde teknik şartname olarak kullanılmasına rağmen, uygulamada eksiklikler mevcuttur [6]. Bu durumda göz önünde bulundurularak, İstanbul örneğinde kanalizasyon sistemlerinin en verimli şekilde işletmesinin yolları sonuç bölümünde ele alınmıştır.

4. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Mühendislik, mevcut olumsuz şartlara rağmen optimum çözümü gerçekleştirmektir. Bu anlamda, yaşayan bir şehirde altyapı sisteminin eksik ve yanlış kısımlarına rağmen işletilmesi oldukça güçtür. İstanbul'un öncelikle mevcut durumunun envanterinin çıkarılması, eksik kısımlarda yatırım önceliklerinin belirlenmesi, işleyen kısımların sürdürülebilirliğinin sağlanması ve bütüncül bir

sistem anlayışı ile entegre bir kanalizasyon yönetimine çözüm odaklı yaklaşılması gerekmektedir. Bu amaçla aşağıda öncelik sırasına göre belirlenen bir master plan yapılmalıdır.

- 1- İstanbul'un nazım planına göre bölgesel olarak bir nüfus artış hesabı yapılmalı
- 2- Yapılması planlanan büyük projeler ve çevresindeki yapılanma hesap edilmeli
- 3- Mevcut içme suyu havzaları korunmalı, yerleşimlerden arındırılmalı ve kamulaştırılmalı
- 4- Mevcut derelerin taşkın risk haritaları çıkarılmalı, bu veriler dikkate alınmadan imar izinleri verilmemeli
- 5- İklim değişikliği modellemelerine göre deniz seviyeleri ölçülmeli ve hesaplarda dikkate alınmalı
- 6- Yağmur suyu kanalizasyon hatları taşkın önceliğine göre tamamlanmalı, mevcut olanların bakım, onarımı ve temizliği sürekli yapılmalı
- 7- Yağmur suyu depoları yapılmalı ve toplu konutlarda yağmur suyundan geri dönüşüm teşvik edilmeli
- 8- Ayrık sistem olmayan kanalizasyon ve yağmur suları ayrıştırılmalı
- 9- Yeraltı suları tespit edilip, beslenmesi için yağmur suları yönlendirilmeli
- 10- Tüm dereler ve sahiller kuşaklama kolektörleri ile çevrilmeli, atık su girişi önlenmeli
- 11- Kanal şebekelerinden ana kolektörlere gönderilen atık suyun giriş noktaları denetlenmeli ve kanala girmeden arıtılması gereken yerlerde arıtma tesisi yaptırılmalı
- 12- Kanal projelendirme aşamasında kriterler gözetilmeli, eğim, boru çapı ve baca mesafesi gibi hesaplar doğru yapılmalı
- 13- Yağmur suyu ve kanalizasyon hatlarının doluluk oranları muayene bacalarından kontrol edilip veya robotla boru içleri görüntülenip gerekli periyodik temizlik sürekli yapılmalı
- 14- Kanal temizliği yapılırken güçlü kombine araçları kullanılmalı, idarece yapılmıyorsa ihale teknik şartnameleri titiz hazırlanmalı
- 15- İstanbul için kentleşmenin müsaade etmediği yerlerde derinlerdeki temizlik ve doluluk tespiti için yeni yöntemler araştırılmalı, yeterli miktarda bacası olmayan ve debisi yüksek tüneller için çalışma yapılamamakta, bu yüzden yerel olarak yeni temizlik yöntemleri üzerinde çalışılmalı
- 16- Kanal görüntüleme ve ses dalgaları gönderen cihazlar (sonar) ile kolektör içerisine girmeden hattın durumunu tespit etme teknikleri üzerinde de çalışılmalı
- 17- Kum tutucu yapıları periyodik olarak temizlenmeli, penstok kapakları düzenli olarak çalıştırılmalı
- 18- Arıtma tesislerinin tamamı ileri biyolojik olmalı ve deniz deşarjı dip akıntıya verilmeli, sızıntı olan bağlantılar yenilenmeli
- 19- Sahillerin belirli noktalarından sürekli numuneler alınıp, tahlil yapılmalı, kirlilik tespit edilen noktalar anlık tetkik edilmeli, gerekli tedbirler alınmalı
- 20- Kanalizasyon SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) sistemi kurulmalı, anlık olarak içme suyu debileri gibi, kanal debi ve doluluk oranları da sürekli takip edilmeli ve kayıt altına alınmalıdır.

KAYNAKLAR

- [1] A. Ardıçlıoğlu, (2014). Kanalizasyon Sistemleri, Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Kayseri
- [2] D. Kumar, R. McMasters, (2016). " Foster, Holistic and Efficient Sewage System Development for Delhi", Pipelines Conference, Kansas City, pp.740-749, July 17-20.
- [3] A. Diogo, F. Barros, L. Tiago, S. Joana et al. (2018). "An effective and comprehensive model for optimal rehabilitation of separate sanitary sewer systems", Science of The Total Environment, Volume: 612, pp. 1042-1057.

- [4] H. Fowdar, B. Hatt, P. Breen, et al. (2017). “Designing living walls for greywater treatment,” Water Research, Volume 110, pp. 218-232.
- [5] F. Brandt, E. Manfred, S. Claudio, L. Chernicharo, C. Augusto, (2017).” Alternatives to odor and corrosion control in sanitary sewerage systems and treatment plants”, Engenharia Sanitaria Ambiental volume: 22 Issue: 4 pp. 611-623.
- [6] İSKİ, (2017). Atık su ve Yağmursuyu Hatlarında Temizlik Ve Görüntüleme İşine Ait Özel Teknik Şartname, İstanbul.
- [7] M. Nowakowska, B. Kazmierczak, A. Kotowski, et al., (2017). “Identification, Calibration and Validation of Hydrodynamic Model of Urban Drainage System in the example of the City of Wrocław”, Ochrona Srodowiska, Volume: 39 Issue: 2 pp. 51-60.
- [8] Schlüter, M., (2004). BİT El Kitabı: Kanalizasyon Temizliği, Yeraltı Altyapısı Enstitüsü gGmbH, Exterbruch 1, 45886 Gelsenkirchen (www.ikt.de), Almanya.
- [9] Öztürk, M., (2017). Kanalizasyon Bakımı Onarımı ve Temizliği, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara.

Sakarya İlindeki Halk Pazarlarında Açıkta Satılan Beyaz Peynirlerin Mikrobiyal Kalitelerinin Belirlenmesi

Zeliha GÖDEK^{ID}, Nilay MUSTAFA^{ID}, Alican Bahadır SEMERCİ^{ID}, Kenan TUNÇ^{ID}*

Sakarya Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümü

ktunc@sakarya.edu.tr

Özet

Bu çalışmada Sakarya ilindeki halk pazarlarında açıkta satılan beyaz peynirlerin mikrobiyal kalitelerinin belirlenmesi amaçlandı. Çalışmada 43 adet beyaz peynir örneği kullanıldı. Peynirler toplam koliform, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas* sp. ve maya-küf içerikleri bakımından incelendi. Çalışmada yayma ekim yöntemi kullanılmış ve sonuçları Koloni Oluşturan Birim (kob) olarak değerlendirildi. Örneklerdeki ortalama toplam koliform sayısı 1,62 (log₁₀ kob/g), *Escherichia coli* 1,25 (log₁₀ kob/g) *Pseudomonas* sp. 0,06 (log₁₀ kob/g), *Staphylococcus aureus* 1,19 (log₁₀ kob/g), maya-küf 1,9 (log₁₀ kob/g) olarak tespit edildi. Örneklerin pH değerinin 4,7-6,4 aralığında olduğu belirlendi. Araştırma sonucunda peynir örneklerinin hijyenik açıdan düşük kalitede oldukları tespit edildi.

Anahtar Kelimeler: beyaz peynir, *Escherichia coli*, koliform, mikrobiyolojik kalite, Sakarya.

Determination of Microbial Quality of White Cheese That Sale In Sakarya Bazaars

Abstract

In this study, it was aimed to determine the microbial quality of white cheese sold in the public bazaar in Sakarya Province. 43 white cheese samples were used in the current work. The cheese samples were examined for their total coliform, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas* sp. and mould-yeast contents. Spread plate method was used in this study and the result were evaluated as Colony Forming Unit (CFU). The mean value of total coliform counts in the samples was 1.62 (log₁₀ CFU / g), whereas it was measured to be 1.25 (log₁₀ CFU / g) for *Escherichia coli*, 0.06 (log₁₀ CFU / g) for *Pseudomonas* sp., 1.19 (log₁₀ CFU / g), for *Staphylococcus aureus* and 1.9 (log₁₀ CFU / g) for yeast-mold. The pH values of the samples were determined to be in the range of 4.7-6.4. As a result, cheese samples investigated were found to be of low quality in hygienic terms.

Keywords: white cheese, *Escherichia coli*, coliform, microbiological quality, Sakarya.

1. GİRİŞ

İnsanların; dengeli ve yeterli beslenmesinde, hayvansal kaynaklı gıda maddeleri önemli bir yere sahiptir. Hayvansal kaynaklı gıdalardan en çok süt ve süt ürünleri kullanılmaktadır. Süt bir insanın günlük ihtiyacı olan protein, kalsiyum, vitamin ve mineralleri yeterli ve dengeli bir şekilde içermektedir. Süt ürünlerinin hacimli olması, naklinin zor olması ve çabuk bozulabilmesi gibi sebeplerden dolayı peynir gibi daha dayanıklı ürünlere işlenmesi gerekmektedir[1,2,3].

Dünyada en fazla çeşidi olan gıdalardan biri peynirdir. Bu durumun başlıca sebebi, peynirin sütteki besin unsurlarının önemli bir kısmını yoğun bir şekilde içermesi, uzun dayanma süresine sahip olması ve buna bağlı olarak süt tüketiminin bol olduğu mevsim ve yörelerde alışlagelmiş tekniklerle kısa sürede sütün peynire işlenerek değerlendirilebilmesidir [4].

Peynir yapımına yaklaşık 8000 yıl önce başlanmış ve günümüzde dünya çapında 2000'den fazla peynir çeşidi olduğu sanılmaktadır. Pek çok peynir çeşidinin üretimi dört bileşen olan süt, peynir mayası, mikroorganizmalar ve tuzdan oluşmaktadır. Peynir; jel oluşumu, peynir altı suyu atılması, asit üretimi ve tuz eklenmesi gibi birkaç ortamda işlenir, ardından olgunlaştırılır. Pişirme sıcaklığı ve lor işleme teknikleri gibi işleme parametrelerindeki farklılıklar, her bir peynir türünün özelliklerini belirlemede önemli bir rol oynarken, peynir mikroflorası, her bir peynir çeşidinin benzersiz özelliklerinin geliştirilmesinde kritik ve önemli bir rol oynamaktadır [5].

Açıkta satılan gıdalar, özellikle de alt yapısı yetersiz, çevre koşulları olumsuz bölgelerde insan sağlığını tehdit etmektedir. Patojen mikroorganizmalarla kontaminasyon sonucunda gerek yapısal özelliklerine, gerekse alınan miktarına bağlı olarak gıda zehirlenmesi görülebilmektedir. Geleneksel yöntemlerle üretilen beyaz peynir çiğ süttten, üretim aşamasında veya üretim sonrasında patojen bakteriler tarafından kontamine olmaktadır [6,7]. Bu üretim koşullarından dolayı süt ve süt ürünleri kaynaklı enfeksiyon ve gıda zehirlenmelerinin riski artmaktadır. Özellikle çiğ süttten elde edilen peynirler halk sağlığı açısından büyük riskler oluşturmaktadırlar [8].

Bu çalışmada Sakarya ilindeki halk pazarlarında açıkta satılan beyaz peynirler mikrobiyolojik hijyen yönünden değerlendirmeye alınmıştır. Bu peynirlerin insan sağlığı açısından risk oluşturup oluşturmadığının belirlenmesi ve Türk Gıda Kodeksi Mikrobiyoloji Kriterler Tebliği'ne uygunluğunun tespit edilmesi amaçlanmıştır. Mikroorganizma sayımları Plak Kültürü Metoduna göre yapılarak, sonuçlar Koloni Oluşturan Birim (kob) olarak değerlendirilmiştir.

2. MALZEME VE YÖNTEM

Sakarya ili halk pazarlarında 43 farklı noktadan açıkta satılan olgunlaştırılmamış taze beyaz peynir örneği alındı. Örnekler; steril kavanozlara aseptik koşullarda 100 g olacak şekilde alınıp soğuk zincir korunarak Sakarya Üniversitesi Mikrobiyoloji Laboratuvarına getirildi. Örnekler aynı gün içerisinde analize tabi tutulmuş ve *Staphylococcus* sp., *Pseudomonas* sp., maya-küf, koliform grubu bakteriler ve *E. coli* varlığı yönünden incelendi [9-11].

2.1. Mikrobiyolojik Analizler İçin Örneklerin Hazırlanması

+4 °C'de laboratuvara getirilen örnekler aynı gün içerisinde analize alındı. Dilüsyonların hazırlanması amacı ile peynir numuneleri steril bıçak yardım ile parçalanıp stomacher poşetlerine 10 g tartılarak koyuldu. Stomacher yardımıyla homojenize edilen örnekler 90 mL %0.1'lik peptonlu suya (Merck, 1.07214) aktarıldı. Homojenizasyon işleminden sonra hazırlanan her örneğin 10⁻¹'den 10⁻⁵'e kadar dilüsyonları hazırlandı. Ekim için her bir dilüsyondan 100 µL alınıp yayma plak yöntemine göre ekim yapıldı. Örnekler *Staphylococcus aureus* [9], koliform grubu bakteri, *Escherichia coli* [10], maya-küf [11] ve *Pseudomonas* sp. yönünden analiz edildi. Mikrobiyolojik analizlerde kullanılan besiyeri ve inkübasyon koşulları Tablo 1'de verildi.

Tablo 1. Mikrobiyolojik analizlerde kullanılan besiyeri ve inkübasyon koşulları

Mikroorganizma	Besiyeri	Supplement (İlave madde)	İnkübasyon			
			Sıcaklık	Süre	Koloni Özellikleri	pH
Koliform <i>Escherichia coli</i>	Eozin Metilen-mavi Laktoz Sukroz	-	37-44°C	24- 48 saat	Koliform: pembe menekşe	7,1

	(EMB) Agar (Merck,1.01342)				renkli mukoid, gri kahverengi merkezli <i>Escherichia coli</i> : Menekşe renkli, metalik parlak	
<i>Pseudomonas</i> sp.	<i>Pseudomonas</i> Selektif CN, CFC Agar Base (Merck,1.07620)	5 mL gliserol- <i>Pseudomonas</i> CN Selektif ilavesi(Merck,1.07624)	37°C	24-48 saat	Sarı-yeşil	7,1
<i>Staphylococcus aureus</i>	Baird-Parker Agar Base(Merck,1.05406)	50 mL yumurta sarısı-tellurit emülsiyonu (Merck,1.03785)	37°C	24-48 saat	Siyah-parlak 10.-1.5 mm çapında dar beyaz kenarlı 2.5mm genişliğinde şeffazonlu koloni	6,8
Maya-Küf	Potato Dextrose Agar (Merck, 1.01342)	-	25°C	72 saat	-	5,6

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Peynirin; çeşitli hammadde, uygulanan teknolojik işlem, mikrobiyolojik özellikler, olgunlaşma süre ve sıcaklık gibi birçok değişik faktör nedeniyle genel özellikleri ve kalite değerleri değişmektedir [12,13]. Dünya genelinde yaygın tüketilen ve fazla sayıda çeşidi bulunan peynirin mikrobiyolojik kalitesi halk sağlığı açısından çok önemlidir. [14,15]. Ülkemizde açıkta satılan gıdaların büyük bir kısmı semt pazarlarında tüketiciye sunulmaktadır.

Bu çalışmada Sakarya ili genelindeki halk pazarlarından 43 adet beyaz peynir örneği alındı. Alınan peynirler toplam koliform, *E. coli*, *Staphylococcus aureus* *Pseudomonas* sp. ve maya-küf içerikleri bakımından incelendi ve sonuçları Tablo 2’de verildi. Yapılan analizler sonucunda, 43 adet beyaz peynir örneğinin %74’ünde koliform grup bakterilerinin bulunduğu tespit edildi. Peynir örneklerindeki toplam koliform sayıları ise 0,30-5,23 (log₁₀ kob/g) arasında bulundu. Koliform grubu bakteri içeren 32 adet beyaz peynirden 29’unda *E. coli* belirlendi. Örneklerin *E. coli* sayıları 0,30- 5,20 (log₁₀ kob/g) arasında değişmektedir.

Tablo 2. Beyaz Peynir örneklerindeki mikroorganizma oranları(%) ve pH'ları

Parametreler	Numune Sayı	Pozitif Numune		Mikroorganizma Sayısı (log ₁₀ kob/g)			
		Sayı	%	X	S	En Az	En Çok
Toplam Koliform	43	32	74	1,62	1,52	0,30	5,23
<i>E. coli</i>	43	29	67	1,25	1,42	0,30	5,20
<i>S. aureus</i>	43	26	60	1,19	1,45	0,30	5,38
Maya-Küf	43	32	74	1,9	1,71	0,47	5,38
<i>Pseudomonas</i> sp.	43	5	12	0,06	0,22	0,47	0,9
pH	43	-	-	5,33	0,44	4,7	6,4

x:ortalama, s: standart sapma

Açıkta satılan gıdalarda *E. coli* üremesi daha sık görülmektedir [6]. Kars ilinde üretilen ve tüketime sunulan kuru tuzlanmış taze civil peynirinin bazı mikrobiyolojik özellikleri üzerine bir araştırma yapılmıştır. İncelenen 35 civil peynir örneğinin %74,3'ünün de koliform bakteri ve *E. coli* olduğu bildirilmiştir [17]. Türk Gıda Kodeksi'ne göre, peynirlerde koliform grubu bakteriler için izin verilen sınır $10^2/g$ 'dır. *E. coli*'nin ise peynirde bulunmaması gerekmektedir [18]. Çalışmamızda incelenen beyaz peynir örneklerinin %27.9'unda toplam koliform bakteri sayısının Türk Gıda Kodeksi'nin belirlediği sınırdan fazla olduğu tespit edildi. Yine Türk Gıda Kodeksine göre peynirlerde bulunmaması gereken *E. coli* ise çalışmamızda incelenen 43 örneğin 29'unda tespit edilmiştir. *E. coli* peynirlerde erken şişme denilen yapı bozukluğu ile tat ve aroma bozukluklarına neden olmaktadır. Söz konusu bakterinin peynirlere çiğ süttten geçtiği, pastörize edilmiş sütte bulunmadığı ve taze peynirlere yapım aşamasında bulaştığı da düşünülmektedir. Bu nedenle gıdalarda koliform grubu bakterilerin varlığı kötü hijyen koşullarına, yetersiz ve yanlış ısı işlem uygulamalarına, ısı işlem sonrası rekontaminasyona işaret etmektedir [19].

Stafilokokal intoksikasyonlar (Sİ), pek çok ülkede bakteriyel gıda kaynaklı zehirlenmeler arasında ilk sıralarda yer almaktadır. Peynir, stafilokokal gıda zehirlenme vakalarının en yaygın görüldüğü gıdalardan biridir [20]. TSE'ye göre peynirlerde *S. aureus*'un bulunmaması gerektiği belirtilmektedir [21]. Kars ilindeki 35 adet kuru tuzlanmış taze civil peynirinin mikrobiyolojik özelliklerinin araştırıldığı bir çalışmada örneklerin %8,6'sında koagülaz (+) stafilokok bakteri olduğu bildirilmiştir [17]. Burdur il merkezindeki semt pazarlarından temin edilen 100 adet salamura beyaz peynir örneği mikrobiyolojik yönden analiz edilmiş olup örneklerin % 83'ünde stafilokok grubu mikroorganizma olduğu tespit edilmiştir [22]. Amasya bölgesinde tüketime sunulan 50 adet çiğ süt ve 60 peynir örneğinin kontaminasyon düzeyleri araştırılmıştır. Sonuç olarak, 11 peynir ve 2 çiğ süt örneğinin koagülaz pozitif stafilokok yönünden Türk Gıda Kodeksine uygun olmadığı rapor edilmiştir [23]. Yaptığımız çalışmada ise incelenen 43 adet beyaz peynir örneğinin 26'sında *S. aureus* tespit edilmiştir. Bu sonuçlar tüketilen peynirlerin mikrobiyolojik kalitesinin düşük olduğunu göstermektedir. Çalışmamızda ve literatürde yapılan çalışmalardan açıkta satılan peynir örneklerinin stafilokok açısından kötü hijyen koşullarına sahip olduğu görülmüştür. *S. aureus*'un gıdaya bulaşmasındaki en önemli faktörün insan olduğu saptanmıştır. Çünkü sağlıklı insanların %30-40'ının burun mukozasında *S. aureus* bakterisi bulunmaktadır. Gıda üretim yerlerinde çalışan personellerin *S. aureus* taşıyıcılığının araştırıldığı bir çalışmada personelin %26-36.9'unun *S. aureus* taşıyıcısı olduğu tespit edilmiştir. Yapılan bu çalışmada düşüncemizi destekler niteliktedir. Peynir yapılacak olan çiğ süte *S. aureus* meme derisinden, sağım yapan kişinin ellerinden, süt karıştırıcısından, kesim ölçü tahtasından ve tenekelerden bulaşabilmektedir [24]. Ayrıca peynirlerde görülen Stafilokokların hammaddenin kontaminasyonu, yetersiz ısı işlem uygulamaları, üretim sırasında uygun olmayan sanitasyon ve uygunsuz depolama koşullarından da kaynaklanabileceğini düşünmekteyiz.

Pseudomonas spp. çiğ ve pastörize sütte bozulmaya neden olan en yaygın mikroorganizmalardır. Peynire işlenecek sütte psikrotrof bakteri sayısında meydana gelebilecek her artış üretilen peynirin genel kalite özelliklerine olumsuz etki etmektedir. Divle tulum peynirinin mikrobiyolojik kalitesini araştırıldığı bir çalışmada 50 adet peynir örneğinin 38 örnekte *Pseudomonas* sp. sayısı $3.60 \log_{10}$ kob/g, olarak belirlenmiştir [25]. Ege ve Marmara Bölgesi'nde üretilen ve tüketime sunulan 24 adet beyaz peynirlerin mikrobiyolojik özelliklerinin araştırıldığı bir çalışmada örneklerin %15'inde $\geq 10^4$ kob. g^{-1} *Pseudomonas* sp. bulunmuştur [26]. Burdur il merkezindeki semt pazarlarından temin edilen 100 adet salamura beyaz peynir örneği mikrobiyolojik yönden analiz edilmiştir. Örneklerin %15'inde *Pseudomonas* sp. grubu mikroorganizma olduğu tespit edilmiştir [22]. Yaptığımız çalışmada peynir örneklerinin %12'sinde *Pseudomonas* sp. üremesi olduğu belirlenmiştir *Pseudomonas* sp. bakterisi, çiğ sütte başlangıçta düşük olsa da, soğukta depolama süresince yüksek seviyelere ulaşabilmekte, bu nedenle de çiğ süttün peynir üretiminde kullanılabilirliğini olumsuz yönde etkilemektedir [27]. Bu tip bakterilerin peynirde bulunması sağlık açısından sorun teşkil etmeyip yapı ve görünüm bozukluklarına neden olduğundan peynir için daha çok bozulma etmeni olabilir.

Peynirlerde bulunabilen diğer bir mikroorganizma grubu maya ve küflerdir. Gıda maddeleri üzerinde bulunan küfler, uygun çevre şartlarında hızla çoğalarak ürünün kalitesini bozarlar. Çoğalmanın ileri safhalarında, ürünleri kullanılmayacak bir duruma getirerek ekonomik kayıplara yol açarlar. Bundan daha önemlisi, bazı küfler çoğaldıkları ortama, insan ve hayvan sağlığı için zararlı olan bir takım metabolitler bırakırlar [28,29]. TSE'ye göre maya ve küf sayısının $10^2/g$ 'dan fazla olmaması gerekmektedir [21]. Çalışmamızdaki peynir örneklerinin %41.8'inde küf-maya üremesi olduğu belirlenmiştir. Elde edilen bu sonuçlar TSE'ye göre maya ve küf sayısı fazla çıkan örneklerde peynir yapımından pazarlanmasına kadar geçen sürede hijyenik kurallara uyulmadığını göstermektedir. Peynir örneklerinin büyük çoğunluğunda küf ve mayanın bulunması bu mikroorganizmaların düşük su aktivitesi, yüksek tuz konsantrasyonu, düşük pH değerinde dahi gelişebilme potansiyelinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Çalışmamızın sonucunda, peynir örneklerinde maya-küf bulunmasının sebebinin üretim veya satış yerlerinde açık hava ile temasının fazla olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

4. SONUÇLAR

Peynir örneklerindeki toplam koliform sayıları ise 0,30- 5,23 (\log_{10} kob/g) arasında bulunmuştur. Koliform grubu bakteri içeren 32 adet beyaz peynirden 29'unda *E. coli* belirlenmiştir. *E. coli* sayıları 0,30- 5,20 (\log_{10} kob/g) arasında değişmektedir. Peynir numunelerinin %60'ında *Staphylococcus* spp., %12'sinde ise *Pseudomonas* sp. üremesi olduğu görülmüştür. Örneklerin % 74'ünde maya ve küf bulunduğu tespit edilmiştir. Hammaddenin kontaminasyonu, yetersiz ısı işlem uygulamaları, üretim sırasında uygun olmayan sanitasyon ve uygunsuz depolama gibi koşullardan dolayı peynir örneklerinde patojen mikroorganizmaların geliştiği düşünülmektedir. Ayrıca satış sırasında soğuk zincirin bozulması, peynirlerin kapalı camlı bölmelerde saklanmaması ve satış sırasında kullanılan malzemelerin steril olamaması peynir kalitesini düşürmektedir.

REFERANSLAR

- [1] Demirci M. 1990. Peynirin Beslenmedeki Yeri ve Önemi. Gıda 15(5) 285-289.
- [2] Pekel, M., & Korukluoğlu, M. (2009). Sivas Yöresinde Üretilen Küp Peynirinin Mikrobiyolojik, Kimyasal Kalitesi ve Küf Florasının Belirlenmesi. Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi, 24(1), 1-7.
- [3] Tomar O. Akarca G. 2018. Afyonkarahisar'da Satışa Sunulan Afyon Kaymaklarının Mikrobiyolojik Özellikleri. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi Sayı 14, 102-109.
- [4] Tekinşen O.C. 2000. Süt Ürünleri Teknolojisi, Selçuk Üniversitesi Basımevi, Konya. syf 135
- [5] Beresford T. P., Fitzsimons A. N., Brennan N.L., Cogan T.M. 2001. Recent Advances in Cheese Microbiology. International Dairy Journal 11 259-274
- [6] Keskin Y. Özyaral O., Başkaya R., Susur M. 2006. Semt Pazarlarında Satılan Beyaz Peynirlerin Mikrobiyolojik Kalitesinin Araştırılması Türk Mikrobiyal Cem Derg 36 (1) : 9 – 19
- [7] Çelik Ş. Uysal Ş. 2009. Beyaz Peynirin Bileşim, Kalite, Mikroflora ve Olgunlaşması Atatürk Üniv. Ziraat Fak. Derg. 40 (1), 141-151.
- [8] Yücel N. Anıl Y. 2011. Çiğ süt ve peynir örneklerinden *Staphylococcus aureus* ve koagülaz negatif stafilocokların identifikasyonu ve antibiyotik duyarlılığı. Turk Hij Den Biyol Derg: 68 (2): 73 – 78.
- [9] Arık, Y., 2019. *Escherichia coli* (*E. coli*) Bakterisinin Kekik Yağı ve Biyosürefktan Kullanımı ile Antibiyotik Etkinliğinin Araştırılmasının Araştırılması. Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoteknoloji Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.
- [10] Önganer, A.N., Kırbağ, S. 2009. Diyarbakır'da taze olarak tüketilen çökelek peynirlerinin mikrobiyolojik kalitesi. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi., 25(1-2): 24-33.
- [11] Yıldız, F., 2003. Ankara Piyasasında Satılan Urfa Peynirlerinin Mikrobiyolojik, Kimyasal ve Duyusal Niteliklerinin Saptanması. Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Süt Teknolojisi Anabilim Dalı, Yüksek

- [12] Kaynar Z. Kaynar P. Koçak C. 2005. Ankara Piyasasında Tüketime Sunulan Beyaz Peynirlerin Hijyenik Kalitelerinin Belirlenmesi Üzerine Bir Araştırma. Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi. Vol 62, No 1,2,3.
- [13] Elmalı G. Uylaşer V. 2012. Geleneksel Gıdalardan Çeçil Peynirinin Üretimi ve Özellikleri. U. Ü. Ziraat Fakültesi Dergisi, 2012, Cilt 26, Sayı 1, 83-92.
- [14] Irkin R. 2010. Determination of Microbial Contamination Sources For Use İn Quality Management of Cheese İndustry: ‘‘Dil’’ Cheese as an Example. J. Verbr. Lebensm. (2010) 5:91–96
- [15] Kim N. H. Lee Y.N. Kim G.M. Kim H.W. Cho T.J. Joo I.S. Heo J. E. Rhee M.S. 2018. Microbiological Criteria and Ecology of Commercially Available Processed Cheeses According to the Product Specification And Physicochemical Characteristics. Food Research International 106, 468-474
- [16] Türk Gıda Kodeksi Mikrobiyolojik Kriterler Yönetmeliği (2011): Resmi Gazete Tarihi: 29.12.2011 Resmi Gazete Sayısı: 28157 (3.mükerrer).
- [17] Tekinşen K.K, Elmalı M. 2006. Taze Civil (Çeçil) Peynirin Bazı Mikrobiyolojik Özellikleri. Atatürk Üniversitesi Vet. Bil. Derg. 1 (3-4) 78-81.
- [18] ANONİM. (TS 6063/1996). Mikrobiyoloji. Muhtelif E.coli Sayımı için Genel Sayım Kuralları. En Muhtemel Sayı Tekniği. Türk Standartları Enstitüsü.
- [19] Kaynar P. 2011. Ülkemiz Peynirleri Üzerine Mikrobiyolojik Araştırmalar. Türk Mikrobiyol Cem Derg 41(1):1-8.
- [20] Küçükçetin A. Milci S. 2008. *Staphylococcus aureus* ile Kontamine Olan Peynirlerden Kaynaklanan Gıda Zehirlenmeleri. GIDA 33 (3) : 129-135.
- [21] ANONİM. (2009). Türk Gıda Kodeksi Mikrobiyolojik Kriterler Tebliği. Resmi Gazete, Sayı: 24511, 2009:6.
- [22] Kurşun Ö. Kırdar S.S. Akcan Kale A. S. Güner A. 2008. Burdur’da Tüketime Sunulan Beyaz Salamura Peynirlerin Mikrobiyolojik Kalitesinin Belirlenmesi. 10. Gıda Kongresi; Erzurum.
- [23] Yıldırım T. Sırken B. Yavuz C. 2016. Çiğ süt ve peynirlerde koagülaz pozitif stafilocoklar. Vet. Hekim Der Derg 87(2): 3-12,2016.
- [24] Küçükçetin, A., Milci, S. 2008. *Staphylococcus aerus* ile kontamine olan peynirlerden kaynaklanan gıda zehirlenmeleri. Gıda dergisi., 33(3):129-135.
- [25] Morul, F , İşleyici, Ö . 2012. Divle Tulum Peynirinin Kimyasal ve Mikrobiyolojik Özellikleri. Yüzüncü Yıl Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi, 23 (2), 71-76.
- [26] Yerlikaya O. 2018. Ege ve Marmara Bölgesi’nde Üretilen ve Tüketime Sunulan Beyaz Peynirlerin Bazı Mikrobiyolojik Özelliklerinin İncelenmesi Üzerine Bir Araştırma. Ege Üniv. Ziraat Fak. Derg. 2018, 55 (4):499-505.
- [27] Akan E. Yerlikaya O, Kınık Ö. 2014. Psikrotrof Bakterilerin Çiğ Süt ve Süt Ürünleri Kalitesine Etkisi. Akademik Gıda 12(4) 68-78
- [28] Sert S. 1992. Bazı Peynir Çeşitlerinde Küf Florası Ve Aflatoksin İçerikleri İle Aflatoksin Potansiyellerinin Araştırılması: L Atatürk Üni..Fak.Der. 23(2),89-100.
- [29] Jakobsen M. Narvhus J. 1996. Yeasts and their possible benefical and negative effects on the quality of dairy products. *Int Dairy J.* 1996; 6:755-68.

Tapu ve Kadastro Programlarının Power Testi ile İncelenmesi, Ardanuç Örneği

Selim TAŞKAYA^{1*}

¹Artvin Çoruh Üniversitesi, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, Artvin, Türkiye

* selim_taskaya@artvin.edu.tr

Özet

Ülkemizde 2020 yılı Yükseköğretim Kurulu verilerine göre, 26 üniversitede hali hazırda öğrenci almış olan tapu ve kadastro programı, tapu ve sicil müdürlükleri ile lisanslı harita ve kadastro bürolarına önlisans seviyede ara eleman yetiştirmek üzere, meslek yüksekokulları, mimarlık ve şehir planlama bölümünde faaliyetini sürdürmektedir. Her bölüm ve programda olduğu gibi, doyunluk seviyesine ulaştığında, arz talep ilişkisi neticesinde programa kayıt yaptıran öğrenci sayısı düşecektir. 2020 yılı Yükseköğretim Kurulu kararları neticesinde okul birincileri hariç, toplam 1230 kişilik öğrenci alım kontenjanı, ilgili 26 üniversitelere verilmiş, tüm kontenjan dolmuştur. Tapu ve Kadastro programlarının ne kadar süre daha bu şekilde doluluk oranının devam edeceği incelenmiştir. 40 öğrenci kontenjanından 35 ine kayıt yaptıran Artvin Ardanuç Tapu ve Kadastro öğrencilerine çeşitli sorular sorularak, programın ne kadar daha popüler olabileceği, ne zaman iş durumun azalabileceği, ne kadar süre daha devam edebileceği araştırılmaya çalışılmıştır. Power analizi ile %95 güven ve %5 kabul edilebilir hata ile çalışmada 35 öğrenciye göre örneklem sayıları belirlenmiş ve test güven ve güç oranlarına göre, anket sonuçlarından toplam alınan 1230 kontenjanda minimum bulunması gereken kişi sayıları tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Tapu ve Kadastro, Ardanuç, PowerTesti

1. GİRİŞ

Ülkemizde genç nüfusun fazla olması, açılan üniversite sayısının artması, toplumun eğitim düzeyinin yükselmesi dolayısıyla üniversitelere girmek isteyen öğrenci sayısını artırmıştır [3]. Öğrenciler tarafından sıklıkla tercih edilen meslek yüksekokulları bugüne kadar birçok süreçten geçmiştir. 1950’li yıllarda tekniker okullar ile başlayan süreç yüksek tekniker okulları, ön lisans okulları, yay-kur meslek yüksekokulları ve son olarak günümüzdeki meslek yüksekokulları haline ulaşarak yetiştirdiği öğrencilerle ülkemizin ara eleman ihtiyacını karşılamaktadır. Tapu, diğer ifadeyle tapu senetleri herhangi bir taşınmazın ilgili malik ya da maliklere ait olduğunu gösteren resmi belgedir. 6083 sayılı tapu ve kadastro genel müdürlüğü teşkilat ve görevleri hakkında kanun da belirtilmiştir. Kadastro ise, 3402 sayılı Kadastro kanunu çerçevesinde tüm arazilerin sınırlarının belirlenmesidir [12]. Tapu sicil müdürlüklerinde, tapu senetlerinin onayı, yevmiye defterlerine her türlü taşınmazın tüm bilgilerinin işlenmesi yapılmaktadır. Kadastro

müdürlüklerinde ise, arazi üzerindeki dataların alınıp, sayısal veya digital olarak değerlendirilip, paftalara aktarım işlemlerinin yapılması neticesinde, bu ana hat ekseninde işlemler, Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü çatısı altında, bölge müdürlükleri, bunlara bağlı kadastro müdürleri ve kadastro şefliklerinde sürdürülmektedir [12]. Ülkemizde genç nüfusun fazla olması, açılan üniversite sayısının artması, toplumun eğitim düzeyinin yükselmesi dolayısıyla üniversitelere girmek isteyen öğrenci sayısını artırmıştır [3]. Öğrenciler tarafından sıklıkla tercih edilen meslek yüksekokulları bugüne kadar birçok süreçten geçmiştir. 1950'li yıllarda tekniker okulları ile başlayan süreç yüksek tekniker okulları, ön lisans okulları, yay-kur meslek yüksekokulları ve son olarak günümüzdeki meslek yüksekokulları haline ulaşarak yetiştirdiği öğrencilerle ülkemizin ara eleman ihtiyacını karşılamaktadır [4]. Günümüzde meslek yüksekokulları çok sayıda bölüm ve program ile birçok sektör için nitelikli eleman yetiştirmek amaçlı eğitim öğretime devam etmektedir [2].

2. TAPU ve KADASTRO PROGRAMLARI

Ülkemizde 2019-2020 eğitim öğretim yılında, 13 üniversitede 905 kontenjan ile öğrenci almıştır. 2020-2021 eğitim öğretim yılında ise 26 üniversite 1230 kontenjan ile Tapu ve Kadastro programı, meslek yüksekokulları mimarlık ve şehir planlama bölümü altında faaliyet göstermektedir. Harita Kadastro programlarından farkı, saha değil de ofis elemanı yetiştirmektedir. Ön lisans seviyede, 2 yıl 4 dönemden oluşmaktadır. Üniversitelerin kendi senato kararlarına göre, ortalama 120 akts, 15 şer günlük 2 staj döneminden program oluşmaktadır. Harita Kadastro programının aksine arazi ve ölçme üzerine verilen, teorik ve pratik ders sayısı azdır. Dersler, tapu sicil uygulamaları, tapu mevzuatı, hukuk ve hukukun türleri olan borçlar, miras, kadastro hukuku kapsamında yürütülmektedir. Ayrıca, taşınmaz değerlendirme, imar ve şehircilik uygulamaları, kamulaştırma, kentsel dönüşüm, arazi yönetimi ve planlaması, ölçme bilgisi dersleri de öğrencilere verilmektedir [13].

Tablo 1. 2020-2021 yılı üniversitelerin ön lisans program kontenjan, taban puanları ve başarı sıralamaları [14].

ÜNİVERSİTELER					
AYDIN ADNAN MENDERES ÜNİVERSİTESİ (Devlet Üniversitesi)	Tapu ve Kadastro (İÖ)	TYT	40	247,92603	952689
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ (Devlet Üniversitesi)	Tapu ve Kadastro (İÖ)	TYT	50	244,57958	992936
MANİSA CELÂL BAYAR ÜNİVERSİTESİ (Devlet Üniversitesi)	Tapu ve Kadastro (İÖ)	TYT	40	235,74185	1099227
BURDUR MEHMET AKİF ERSOY ÜNİVERSİTESİ (Devlet Üniversitesi)	Tapu ve Kadastro (İÖ)	TYT	40	233,3491	1128004
UŞAK ÜNİVERSİTESİ (Devlet Üniversitesi)	Tapu ve Kadastro (İÖ)	TYT	40	230,77956	1158908
ANKARA HACI BAYRAM VELİ ÜNİVERSİTESİ (Devlet Üniversitesi)	Tapu ve Kadastro	TYT	60	284,0104	597526

KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ (Devlet Üniversitesi)	Tapu ve Kadastro	TYT	60	270,482	712646
AYDIN ADNAN MENDERES ÜNİVERSİTESİ (Devlet Üniversitesi)	Tapu ve Kadastro	TYT	60	265,87412	760275
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ (KONYA) (Devlet Üniversitesi)	Tapu ve Kadastro	TYT	45	259,84472	823885
ALANYA ALAADDİN KEYKUBAT ÜNİVERSİTESİ (ANTALYA) (Devlet Üniversitesi)	Tapu ve Kadastro	TYT	40	255,12134	873716
MUĞLA SITKI KOÇMAN ÜNİVERSİTESİ (Devlet Üniversitesi)	Tapu ve Kadastro	TYT	50	254,48663	880412
NİĞDE ÖMER HALİSDEMİR ÜNİVERSİTESİ (Devlet Üniversitesi)	Tapu ve Kadastro	TYT	40	253,63891	889355
MANİSA CELÂL BAYAR ÜNİVERSİTESİ (Devlet Üniversitesi)	Tapu ve Kadastro	TYT	50	251,04238	916748
BURDUR MEHMET AKİF ERSOY ÜNİVERSİTESİ (Devlet Üniversitesi)	Tapu ve Kadastro	TYT	50	249,18735	937519
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ (DENİZLİ) (Devlet Üniversitesi)	Tapu ve Kadastro	TYT	30	249,15614	937895
TOKAT GAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ (Devlet Üniversitesi)	Tapu ve Kadastro	TYT	40	248,77944	942425
TEKİRDAĞ NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ (Devlet Üniversitesi)	Tapu ve Kadastro	TYT	35	248,55089	945174
BARTIN ÜNİVERSİTESİ (Devlet Üniversitesi)	Tapu ve Kadastro	TYT	30	247,49146	957915
HİTİT ÜNİVERSİTESİ (ÇORUM) (Devlet Üniversitesi)	Tapu ve Kadastro	TYT	40	245,04424	987348
BİTLİS EREN ÜNİVERSİTESİ (Devlet Üniversitesi)	Tapu ve Kadastro	TYT	40	242,2844	1020540
YOZGAT BOZOK ÜNİVERSİTESİ (Devlet Üniversitesi)	Tapu ve Kadastro	TYT	40	240,8246	1038097
UŞAK ÜNİVERSİTESİ (Devlet Üniversitesi)	Tapu ve Kadastro	TYT	60	240,79538	1038449
FIRAT ÜNİVERSİTESİ (ELAZIĞ) (Devlet Üniversitesi)	Tapu ve Kadastro	TYT	30	240,77816	1038656

ARTVİN ÇORUH ÜNİVERSİTESİ (Devlet Üniversitesi)	Tapu ve Kadastro	TYT	40	234,90636	1109275
KÜTAHYA DUMLUPINAR ÜNİVERSİTESİ (Devlet Üniversitesi)	Tapu ve Kadastro	TYT	40	234,72683	1111434
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ (Devlet Üniversitesi)	Tapu ve Kadastro	TYT	40	231,6479	1148464
ERZİNCAN BİNALİ YILDIRIM ÜNİVERSİTESİ (Devlet Üniversitesi)	Tapu ve Kadastro	TYT	50	229,79847	1170989
İĞDIR ÜNİVERSİTESİ (Devlet Üniversitesi)	Tapu ve Kadastro	TYT	40	227,89188	1196587

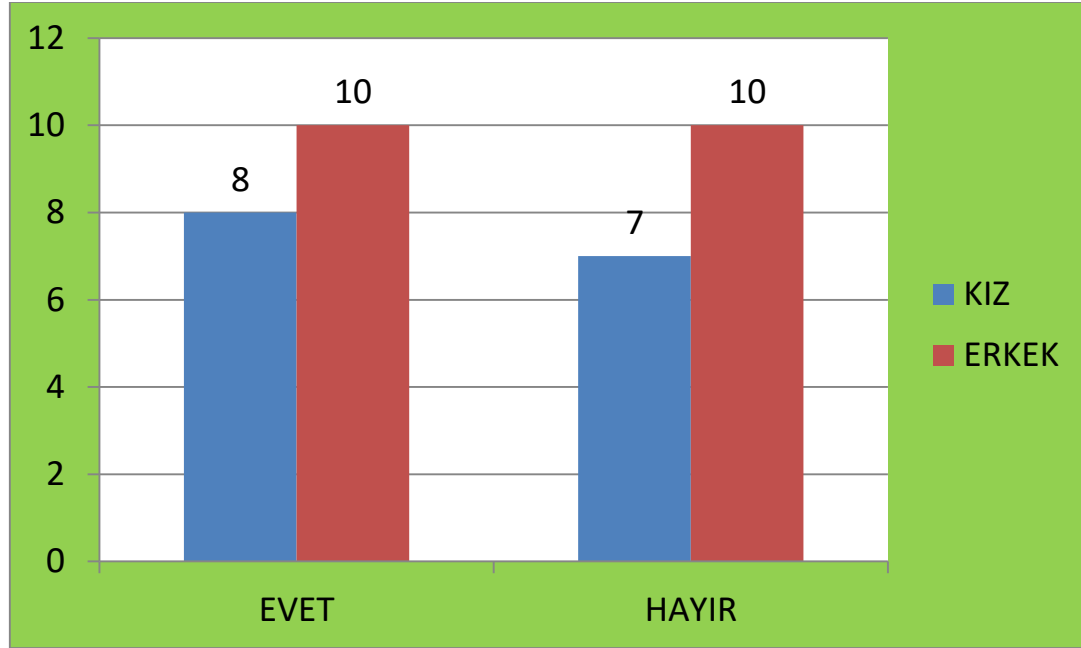
Tablo 1. den görüleceği gibi, temel yeterlilik testi sonucu, en yüksek ve en düşük YGS 6 puanı ile üniversitelerin Tapu ve Kadastro programları taban ve tavan puanları oluşmuştur. Tablo 1. deki üniversitelere, 2020-2021 eğitim öğretim yılında Muğla Sıtkı Koçman, Pamukkale, Alanya Alaaddin Keykubat, Çankırı Karatekin, Bartın Üniversiteleri de programı açmaya çalışmış ve bir kısmı programı açmıştır [14].

3. ARTVİN ÇORUH ÜNİVERSİTESİ ARDANUÇ TAPU ve KADASTRO PROGRAMI ÖĞRENCİLERİ ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA

Artvin Çoruh Üniversitesi, Artvin Meslek Yüksekokulu, Ardanuç Tapu ve Kadastro Programı, diğer üniversitelerde program az bulunduğu ve öğrenci talebinin fazla olacağı düşüncesi ile 2018 yılı Mart üniversite senatosu sonucunda dosyası oluşturulmuş, Yükseköğretim Kuruluna gönderilip, kurulun onayı sonucunda 2018-2019 eğitim öğretim yılında 41 öğrenci kontenjanı ile açılmıştır [13].

20 erkek 15 kız öğrencinin kayıt yaptırması ile eğitim öğretim hayatına başlamıştır. 35 öğrenciye program ile ilgili sorular sorulmuştur. 35 öğrenci üzerinden, toplam 1230 öğrencinin kısmi düşüncesi, tapu ve kadastro programlarının çalışanları olacak bu kişilerin mesleği nasıl idame ettirebileceği düşüncesi araştırılmaya çalışılmıştır. Deneysel, kuramsal örneklem ile bir standart sapmada homojen yaklaşık tahmin edinildi [10].

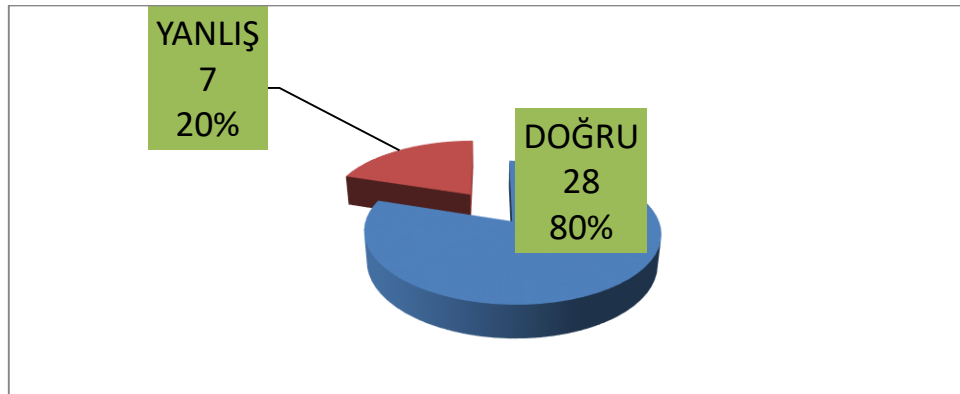
1-)Tapu ve Kadastro Programına, bilinçli bir şekilde bilerek mi geldiniz?



Şekil 1. Evet ya da hayır erkek ve kız öğrenci sayısı

Şekil 1. de tapu ve kadastro programına, bilinçli bir şekilde mi girdiniz sorusuna, kız öğrencilerden 8 i evet, 7 si hayır cevabını vermiş, erkek öğrencilerin ise 10 u evet, 10 u hayır cevabını vermiştir. Yani, hem kız hem de erkek öğrencilerin yarısı seçtikleri mesleği bilmeden, sadece puanlarının yettiği program olduğundan seçmiştir.

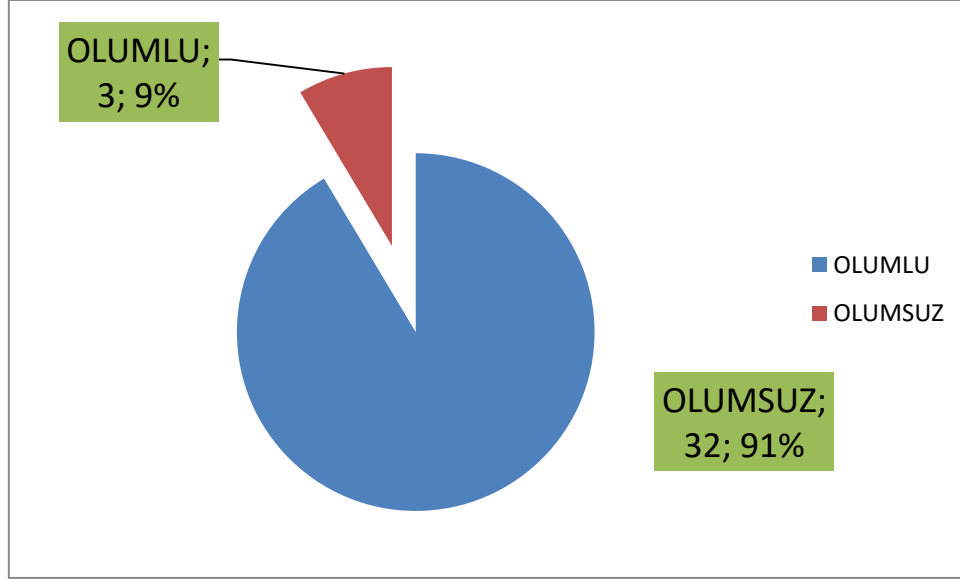
2-) Tapu ve Kadastro Programına kayıt yaptırıp dersler başlayınca, kararınızın doğruluğu ya da yanlışlığı hakkındaki fikirleriniz ne oldu?



Şekil 2. Toplam doğru veya yanlış cevap veren öğrenci sayısı

Şekil 2. de öğrencilere programa başladıklarında kararlarının doğruluğu ya da yanlışlığı hakkında ne düşündükleri sorulduğunda, 28 kişinin doğru, 7 kişinin ise yanlış olduğu cevabı alınmıştır. %80 i doğru olduğunu belirtmiştir.

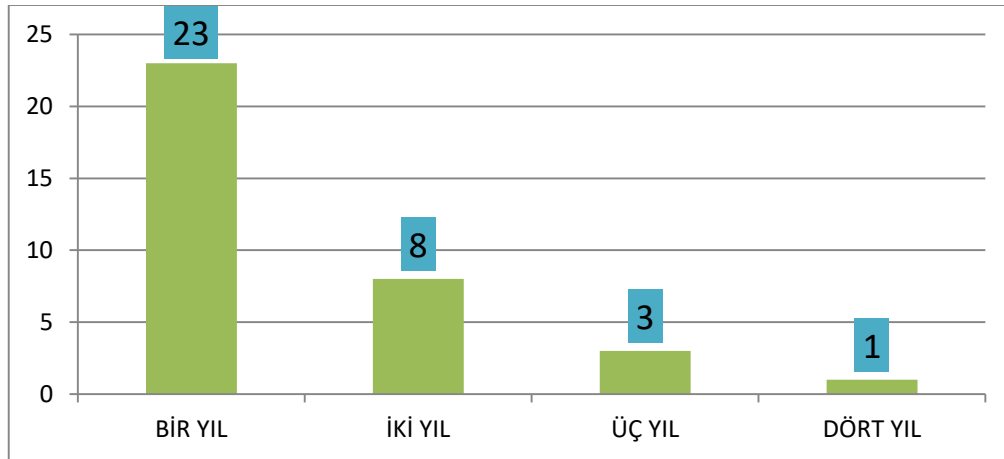
3-) Sizce, Tapu ve Kadastro programlarının çoğu üniversitede açılması, meslek ve iş hayatını nasıl etkiler?



Şekil 3. Toplam olumlu veya olumsuz cevap sayısı

Şekil 3. de, öğrencilere programın çeşitli üniversitelerde açılmasının, iş hayatına yansımalarının nasıl olacağı sorusu sorulmuş, % 91 i olumsuz, %9 u ise olumlu görüş bildirmiştir. Yani, öğrenciler mezun sayısının artışının, işsizlik oranının artacağını düşünmektedir.

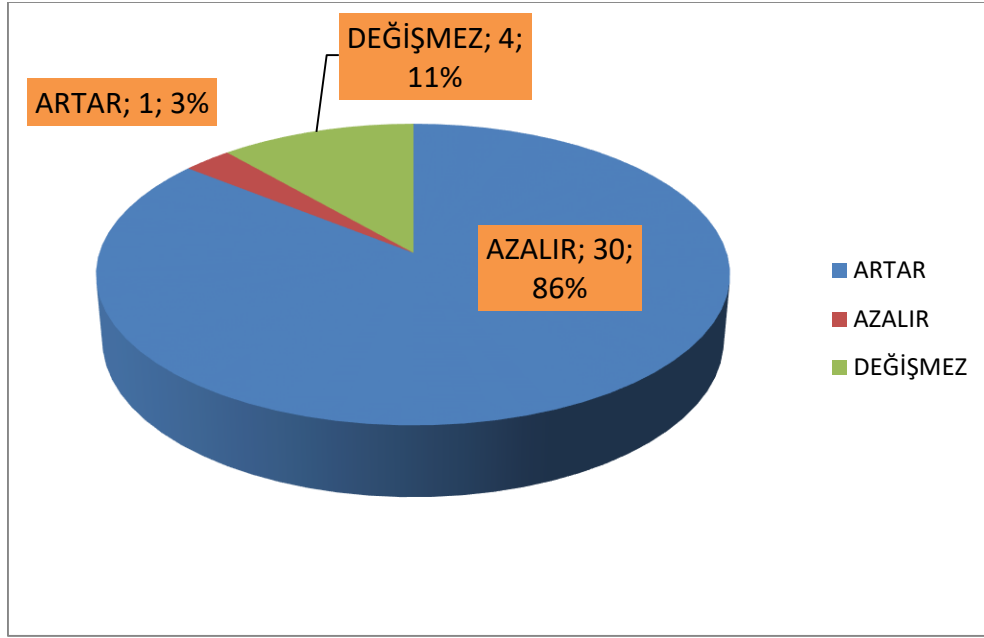
4-) Tapu ve Kadastro programı, sizce ne kadar süre daha popülerliğini sürdürebilir?



Şekil 4. Öğrencilerin verdikleri yıllara göre yanıtları

Şekil 4. de, 35 kişiden 23 ü bir yıl, 8 i iki yıl, 3 ü üç yıl, 1 i ise dört yıl sonra daha tapu ve kadastro programının doyum noktasına ulaşacağı görüşünde bulunmuştur.

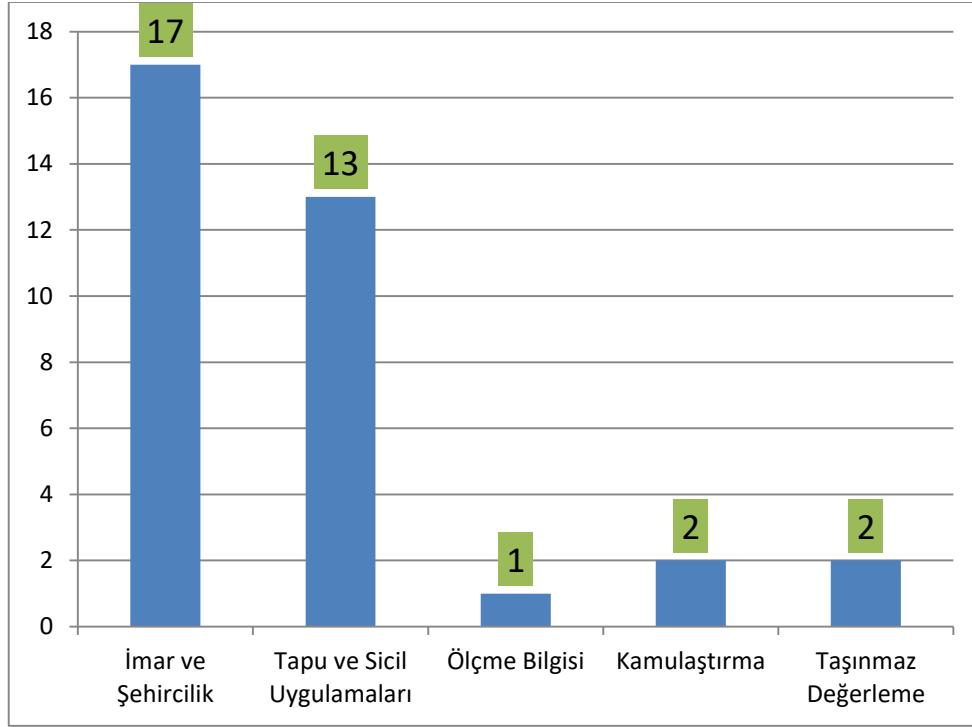
5-) Tapu ve Kadastro programı, KPSS atamalarında en son 77 puan ile memur aldığına göre, sizce 2020 KPSS ile puanlarda nasıl bir değişim olur?



Şekil 5. Öğrencilerin, KPSS deki puanların değişim yanıtları

Şekil 5. de teknik kadro alımlarında 2 yılda bir ön lisans seviyede KPSS yapıldığından, mezun sayısının artmasına da bağlı olarak, memur alımlarının nasıl oranda olabileceği sorusu sorulduğunda öğrencilerin %86 sı azalacağını, %11 i değişmeyeceğini, %1 i ise artacağı görüşünü belirtmiştir.

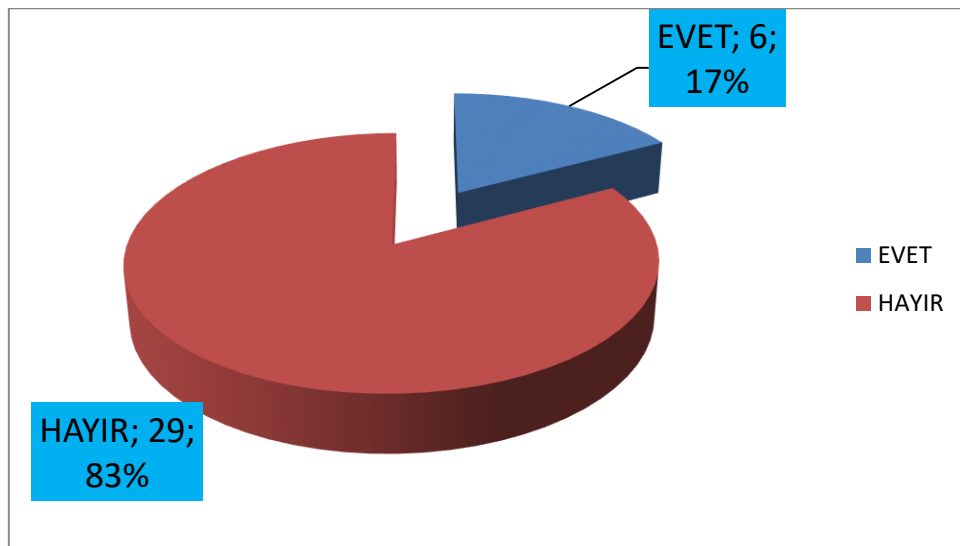
6-) Programdaki derslerden en çok size hangisinin katkısı olduğunu düşünüyorsunuz?



Şekil 6. Öğrencilerin dersler hakkındaki yanıtları

Şekil 6. da, öğrenciler en çok imar ve şehircilik ile tapu ve sicil uygulamaları derslerinin mesleki yaşamalarına katkısı olacağını düşünmüştür.

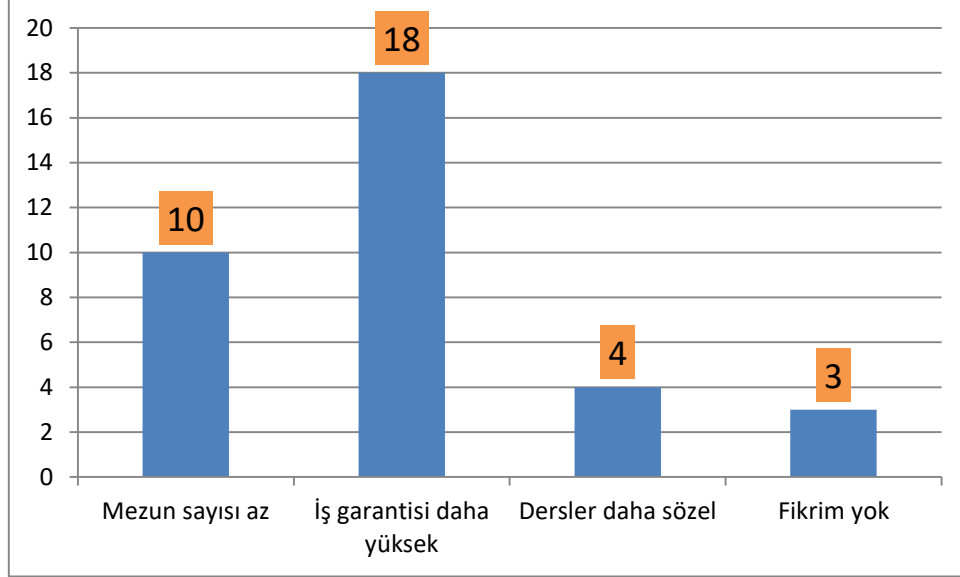
7-) Programdan mezun olduktan sonra, DGS ile lisansa tamamlamayı düşünüyor musunuz?



Şekil 7. DGS ile geçiş sorusunun öğrenci yanıtları

Şekil 7. de, 4 yıllık mühendislik programlarına geçmeyi düşünen sadece 6 kişi ile %17 lik bir öğrenci sayısı ortaya çıkmıştır.

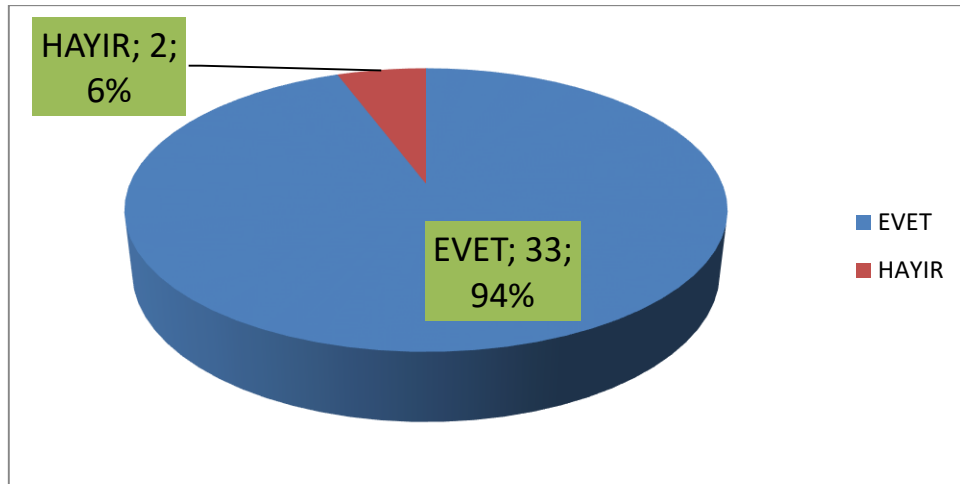
8-) Sizce, Harita Kadastro değil de, Tapu ve Kadastro ön lisans programını neden tercih ettiniz?



Şekil 8. Program tercihi sorusu öğrenci yanıtları

Şekil 8. de, öğrencilerin Harita Kadastro 2 yıllık programı değil de, Tapu ve Kadastroyu tercih etmesinin sebebinin 18 kişiden de anlaşılacağı gibi iş garantisini daha yüksek görmeleridir. Ardından, mezun sayısının az olması da, ikinci etken olduğu görülmektedir.

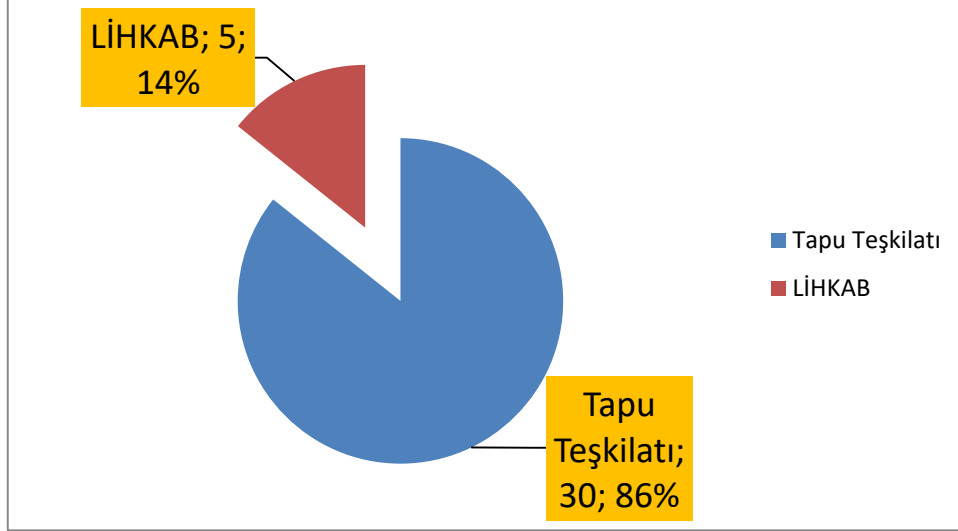
9-) Sizce, mezun sayısının artmaması için program kontenjanları düşürülmeli midir?



Şekil 9. Program kontenjanları hakkındaki öğrenci yanıtları

Şekil 9. da mezun sayısının artmasının olumsuz yönde etkisinin olduğunu düşündüğünden, öğrencilerin %94 ü evet düşürülmelidir yönde görüş belirtmiştir.

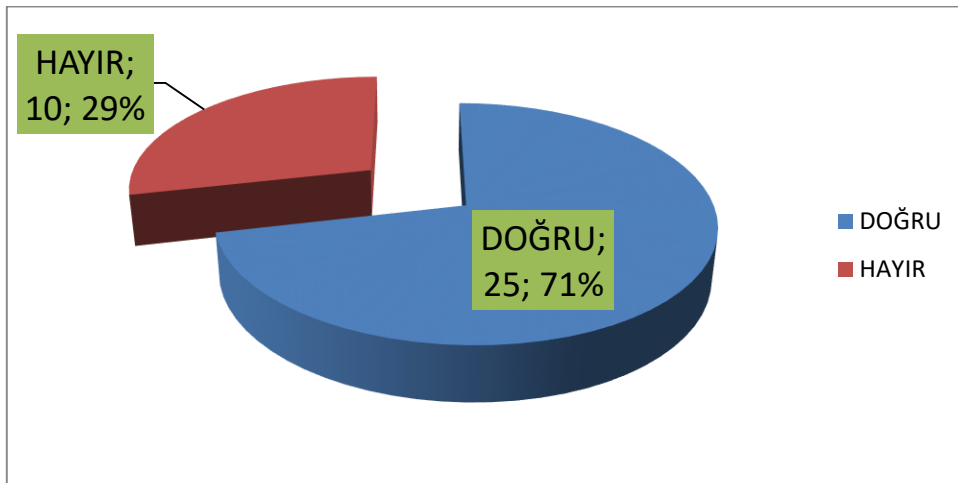
10-) Tapu ve Kadastro Teşkilatı ya da LİHKAB (Lisanslı Harita ve Kadastro Büroları)larda mı çalışmak ister misiniz?



Şekil 10. Program öğrencilerinin en çok çalışmak istedikleri yer yanıtları

Şekil 10. da, öğrencilerin en çok çalışmak istedikleri noktanın, %86 lık yanıtta da olduğu gibi Tapu ve Kadastro Müdürlükleri olduğu görülmüştür.

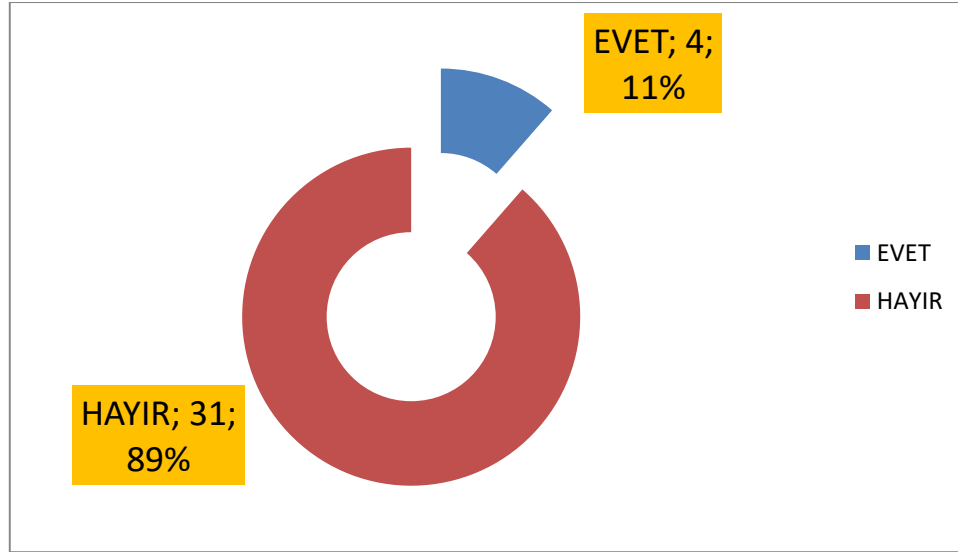
11-) Programların sizce Tapu ve Kadastro, Harita ve Kadastro ya da CBS diye ayrılması doğru mudur?



Şekil 11. Aynı anabilim dalından ayrılmaya ilişkin öğrenci yanıtları

Şekil 11. de, harita mühendisliği anabilim dalından ayrılan ve doğan, Tapu, Harita ya da CBS gibi ön lisans programlarının tek çatı altında olmasının doğruluğu ya da yanlışlığı konusundaki soruya öğrencilerin %71 i evet doğru olarak cevap vermiştir.

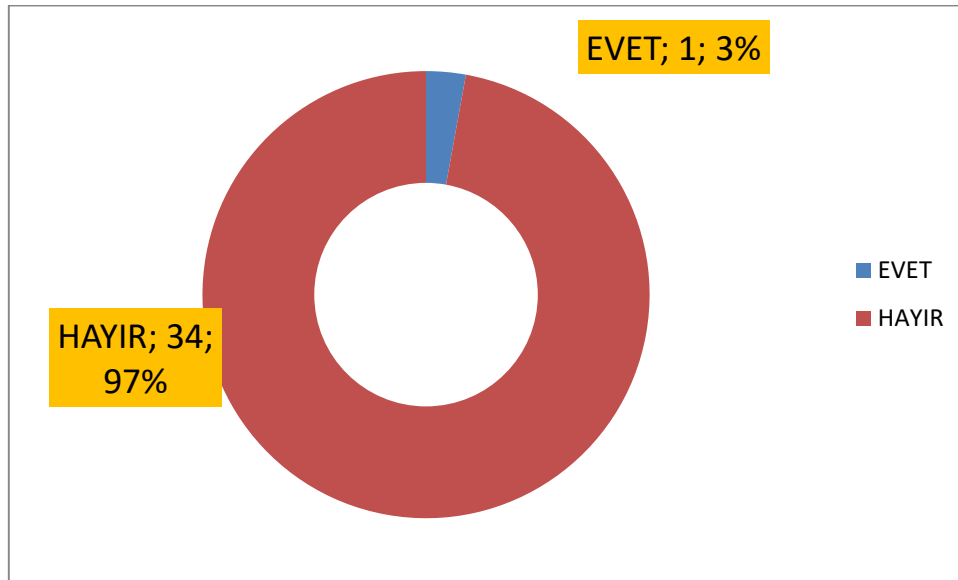
12-) Tapu ve Kadastro programı öğretim elemanlarının, harita mühendisliği dışından, programlarda esas görevli olarak derslere girmesi doğru mudur?



Şekil 12. Öğretim elemanları hakkındaki öğrenci yanıtları

Şekil 12. de, Tapu ve Kadastro programındaki dersler içerik olarak, arazi yönetimi ve kamu ölçmeleri anabilim dalı ağırlıklı olduğundan, ilgili öğretim elemanlarının harita mühendisliği mezunu olması gerektiğinden bu soruda öğrencilere yöneltildiğinden, onlarında %89 u harita mühendisliği dışından girmesinin doğru olmadığı yanıtını vermiştir.

13-) Ülkedeki meslek yüksekokullarındaki mimarlık ve şehir planlama bölümü ve onun altındaki Tapu ve Kadastro programına gerekli değer, imkan ve araç gereç ihtiyacına cevap veriliyor mu?



Şekil 13. Programa gerekenlerin yapılıp yapılmaması ile ilgili öğrenci yanıtları

Şekil 13. de, Ülkedeki meslek yüksekokullarındaki mimarlık ve şehir planlama bölümü ve onun altındaki Tapu ve Kadastro programına gerekli değer, imkân ve araç gereç ihtiyacına cevap veriliyor mu sorusuna öğrencilerin %97 si hayır cevabını vererek 2 yıllık programlara önem verilmediği düşüncesinde hem fikir olmuştur.

4. Power (Güç) Analizi ile Örneklem Belirlenmesi

Güç analizi çalışmalarında gerekli minimum denek sayısını belirleme özellikle Klinik Araştırmalar Etik Kurulu onaylarının zorunluluk haline gelmesinden sonra önemi fark edilmiş bir konudur. Bir çalışmanın planlanma aşamasında yeterli büyüklükteki örneklem genişliğini tahmin etmek gerekir. Gereğinden küçük örnekle çalışmanın sonucu fark bulunabilecek bir araştırmada anlamlı farkı bulamamak bir önemli bir sorundur. Ayrıca gereğinden çok büyük örnek genişliği ile gerçekleştirilen çalışmalarda ise klinik olarak anlamlı olmayan iki uygulamanın istatistiksel olarak anlamlı çıkması mümkündür [6].

Klinik bir çalışmada hipotezler oluşturulurken öncelikle araştırmanın popülasyonu belirlenir ve ardından bu popülasyonu iyi temsil ettiği düşünülen bir örneklem ile çalışılır. Buradaki amaç elimizdeki örneklemeden yararlanarak popülasyon hakkında bir takım kararlar almaktır [7]. Aslında her klinik araştırmada yapılan şey bir bilimsel hipotezi test etmektir. İstatistikte bir hipotezin doğruluğunu test etmek için hipotez takımı oluşturulur. Bu hipotez takımının iki bileşeni vardır [9]. Birincisi Kontrol veya Yokluk hipotezi (H0) olarak bilinir. Bu hipotezde her zaman gruplar arasında fark olmadığı belirtilir. Yokluk hipotezinin içermediği diğer tüm durumları içeren hipoteze ise Alternatif veya Karşıt hipotez (H1) adı verilir [9]. Hipotezler sözel olarak ifade edilebileceği gibi semboller ile de ifade edilebilirler. İki farklı tedavi alan hastaların hastaneden taburcu olma süreleri arasında anlamlı bir fark olup olmadığının karşılaştırılacağı bir çalışma planladığımızı düşünelim. Böyle bir araştırmanın hipotez takımı aşağıdaki gibi olacaktır.

$$H_0: \mu_A = \mu_B$$

$$H_1: \mu_A \neq \mu_B$$

H0 hipotezinde belirtilen ortalama taburcu olma süreleri bakımından A ve B tedavileri arasında anlamlı bir farklılık olmadığıdır. Bunun alternatifi olan karşıt hipotezde ise anlamlı farklılık olduğu belirtilmektedir. Bir çalışmayı planlama aşamasında araştırmacının aklındaki en önemli sorulardan biri hem klinik hem de istatistiksel olarak anlamlı bir sonuç bulabilmek için en az kaç kişi ile çalışması gerektiğidir [5]. Uygulama 1. İki ortalamanın karşılaştırılması için örnek genişliği belirleme; Tip I hata: 0.05 yada 0.01 düzeyinde olabilir. 0.05 düzeyinde tutmak %95 güvenle karar vermek demektir. Tip II hata: 0.20 düzeyinde tutulursa testin gücü %80, 0.10 düzeyinde tutulursa testin gücü %90 olacaktır. Ortalamalar arasındaki fark (Etki büyüklüğü): İki grubun ortalamaları arasında beklenen değişim miktarıdır. Genellikle gruplardan birisi kontrol grubudur. Kontrol grubundaki değerler daha önceki çalışmalardan bulunabilir. Sonrasında yeni grupta bu değerlerin ne kadar azalacağı veya artacağı tartışılır. Bu farklılık etki büyüklüğü olarak adlandırılır. Grup 1 standart sapma, kontrol grubundaki standart sapma değeri, Grup 2 standart sapma, genellikle kontrol grubuna benzer bir değer girilir [6].

İki Grup Ortalamasının Karşılaştırılması

Tip I Hata:

Tip II Hata:

Ortalamaların Farkı:

Grup 1 standart sapm...

Grup 2 standart sapm...

Hesapla

Yeni Hesaplama

Şekil 14. Power analizi iki grup ortalamasının karşılaştırılması [15].

Uygulama 2. İki oranın karşılaştırılması için örnek genişliği belirleme; Tip I hata: 0.05 ya da 0.01 düzeyinde olabilir. 0.05 düzeyinde tutmak %95 güvenle karar vermek demektir. Tip II hata: 0.20 düzeyinde tutulursa testin gücü %80, 0.10 düzeyinde tutulursa testin gücü %90 olacaktır. 1. grubun oranı: Genellikle kontrol grubunda ya da en bilinen gruptaki oran daha önceki çalışmalardan belirlenir. 2. grubun oranı: Yeni grupta eski gruba bakarak oranın % ne kadar artacağı ya da azalacağı beklentisi varsa ona göre yeni grup oranının beklenen değeri tahmin edilir [6].

İki Grup Oranının Karşılaştırılması

Tip I Hata:

Tip II Hata:

1. Grubun Oranı:

2. Grubun Oranı:

Hesapla

Yeni Hesaplama

Şekil 15. Power analizi iki grup oranının karşılaştırılması [5].

Power (güç) istatistiksel örneklem analizi, yöntem olarak belirlenmiştir. Uygulamada tapu ve kadastro programının ilk öğrenci alımına başladığı 2018-2019 yılı 905 kontenjanı ile 2020-2021 yılı 1230 öğrenci kontenjanı ile kontrol grubunu, 35 kişiden oluşan grup ise deney grubunu meydana getirmiş oldu [11].

Tablo 2. Power testi güven karar verme ve test güven yüzdeleri korelasyonuna denk gelen sayısal gösterim

Power Analizi	0.05/0.10		0.05/0.10		0.05/0.20		0.05/0.20	
	(905 öğrenci)		(1230 öğrenci)		(905 öğrenci)		(1230 öğrenci)	
	Güven/Güç		Güven/Güç		Güven/Güç		Güven/Güç	
	35 kişi	905 kişi	35 kişi	1230 kişi	35 kişi	905 kişi	35 kişi	905 kişi
1.anket sorusu	18	400	18	615	18	405	18	612
2.anket sorusu	28	542	28	952	28	555	28	941
3.anket sorusu	32	863	32	1153	32	888	32	1100
4.anket sorusu	23	798	23	863	23	756	23	841
5.anket sorusu	30	820	30	1196	30	802	30	1145
6.anket sorusu	17	399	17	602	17	406	17	610
7.anket sorusu	29	786	29	1180	29	799	29	1100
8.anket sorusu	18	401	18	605	18	403	18	402
9.anket sorusu	33	896	33	1200	33	723	33	1142
10.anket sorusu	30	865	30	1189	30	852	30	1100
11.anket sorusu	25	752	25	1020	25	742	25	1000
12.anket sorusu	31	890	31	1185	31	852	31	1001
13.anket sorusu	34	902	34	1223	34	900	34	1145

Son iki yılın öğrenci kontenjanları ile ankete katılan öğrenci sayısının güven aralığı yüzde 5 ve güç aralığı yüzde 90 ile 80 sınırlaması yapılarak yaklaşık olarak tüm tapu ve kadastro programları öğrencilerinin 13 soruya anlamlılığı sayı ifadesi olarak anlaşılmasına çalışıldı.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Ülkemizde meslek yüksekokullarında, mimarlık ve şehir planlama ismi altında Tapu ve Kadastro programları, 2019-2020 eğitim öğretim yıllarında 13 üniversitede yaklaşık 905 öğrenci ile faaliyetlerini sürdürüp, 2020-2021 eğitim öğretim yılında 26 üniversite 1230 öğrenci ile devam etti. Atanma ve iş bulma imkanı şimdilik kolay olduğundan, program öğrenci kontenjanları dolmuştur. Tapu ve Kadastro programı memurluk alımı, 2018 KPSS ile ortalama 77 puan civarında kapattığından memuriyete girme şansı var olduğundan popüleritesini korumaktadır. Faal olarak 35 öğrencisi olan, Artvin Çoruh Üniversitesi, Artvin Meslek Yüksekokulu Ardanuç Tapu ve Kadastro programında uygulanan 13 soruluk özet şeklindeki sorular ile mahallî olarak doneler tespit edildi. Program hakkındaki her şey, öğrencilerin görüşleri de alınarak, programın nerde olduğu ve zamanla nereye gideceği tespit edilmeye çalışıldı. 35 öğrencinin seviyesi, yaşı, bilgi birikimi göz önüne alındığında, 35 kişinin görüşleri kısmi olarak, son iki yılın 905 ve 1230 öğrenci kontenjanına karşılık, güç testiyle yaklaşık kaç kişinin görüşlerini yansıtacağı tahmin edildi. Anket çalışmasından da anlaşılacağı üzere, öğrencilerin meslek hakkında pek bilgileri yoktur. Kolay şekilde iş imkânı olduğunu düşündüklerinden, mesleki seçmişler. Meslek 2-3 yıl öncesine kadar, mezun sayısı daha az olduğundan, mezunlar daha rahat işe girmektedirken, günümüzde bu oran daha aza inmiştir. Diğer tüm bölüm ve programlarda olduğu gibi, kontenjanların azaltılıp, yeni noktalara açılmalarının önüne geçilip, ancak bu yığılmaların eritilmesiyle her bölüm ve programda olduğu gibi Tapu ve Kadastro programı da güncelliğini muhafaza edebilir.

REFERANSLAR

- [1] Artvin Çoruh Üniversitesi, Ardanuç Tapu ve Kadastro Programı Öğrencileri, 2020
- [2] Cihangir Ö. (2011). Türkiye'de sağlık teknikerliği ön lisans eğitiminin standardizasyonu. *Sağlık ve Toplum*, 21(2), 3-8.
- [3] Erkal, S.İ., Yalçın, A.S., Sancar, B. (2012). Ankara Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi öğrencilerinin ebelik ve hemşirelik bölümlerini seçme nedenleri. *ankara sağlık bilimleri dergisi*, 1(1), 73-90.
- [4] Gündüzalp Seda, Gönül Şener, MESLEK YÜKSEKOKULU ÖĞRENCİLERİNİN KARIYER TERCİHLERİ, International Engineering and Natural Sciences Conference (IENSC 2018), Nov. 2018
- [5] KLİNİK ARAŞTIRMALARDA ÖRNEK GENİŞLİĞİ BELİRLEME (SAMPLE SIZE DETERMINATION FOR CLINICAL RESEARCH) Dr. Seval Kul, Gaziantep Üniversitesi Tıp Fakültesi, Biyoistatistik ve Tıp Bilişimi Anabilim Dalı, Gaziantep, Türkiye (doi:10.5152/pb.2011.11)
- [6] Kul S., (2011), Klinik araştırmalarda örnek genişliği belirleme, Doktora Tezi, Gaziantep Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Biyoistatistik ve Tıp Bilişimi Anabilim Dalı, Gaziantep.
- [7] Simon SD. Statistical Evidence in Medical Trials, What Do the Data Really Tell Us? Oxford: Oxford press: 2006; 138-41
- [8] Smoller SW. Biostatistics and epidemiology, a primer for health and biomedical professionals, Newyork: Springer;2003; 153-7.
- [9] Sümbüloğlu K, Sümbüloğlu V, Biyoistatistik, 11.baskı, Ankara: 2005; 49-52.
- [10] Taşkaya, S., Sesli, F.A., International Journal of Eastern Anatolia Science Engineering and Design (IJEASED) (2019) 1(1):1-13

{ 11} Taşkaya, S., Sesli, F.A., Elazığ İli Mevcut Stratejik Gürültü Haritalarının Anket Çalışması İle İrdelenmesi 445
Journal of Urban Academy | Volume: 11 Issue: 3 | ISSN: 2146-9229

[12] URL-1: <https://tkgm.gov.tr/tr>

[13] URL-2: <https://myo.artvin.edu.tr/tapu-ve-kadastro-ardanuc>

[14] URL-3: <https://www.basarisiralamalari.com/tapu-ve-kadastro-2-yillik-2021-taban-puanlari-ve-basari-siralamalari/>

[15] URL-4, (2019), Kul S., İstatistiksel Analiz, Power analiz programı ile örnekleme hesaplama, Güç analizi, <http://www.p005.net/analiz/guc-analizi> [Erişim 30 Nisan 2019].

KİLLİ ZEMİNLERİN ÖZELLİKLERİNİN UÇUCU KÜL KULLANARAK İYİLEŞTİRİLMESİ

Kaveh DEGHANIAN¹ 

¹İstanbul Aydın Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye.

*kavehdeghanian@aydin.edu.tr

Özet

Dispersif ve şişen zeminler sorunlu zeminler olarak tanımlanır ve birçok mühendislik yapısında ciddi sorunlara neden olurlar. Son yıllarda, bu zeminlerin özelliklerini geliştirmek için atık maddeler kimyasal katkı maddesi olarak kullanılmaktadır. Bu yöntem ekonomik sebeplerden dolayı ve kimyasal katkı maddelerinin hızlı uygulanması sayesinde geoteknik mühendisliğinde geniş uygulama alanı kazanmıştır. Uçucu kül, kömürün yanmasıyla oluşan en yaygın atık maddelerden biridir. Bu atık malzemenin kullanılması çevre kirliliğinin önlenmesinde de büyük rol oynamaktadır. Düşük birim ağırlığı, yüksek kayma mukavemeti ve düşük çökme hızı gibi özellikleri, bu malzemeyi zemin iyileştirme tekniklerinden biri olarak iyi bir seçenek haline getirir. Ayrıca uçucu kül; setler, barajlar ve yollar gibi geoteknik projelerde kullanılabilir. Bu çalışmada killi zeminlerin mekanik özelliklerini iyileştirmek için uçucu külün etkisi araştırılmıştır. Elek analizi, su içeriğinin belirlenmesi, Atterberg limitleri, Standart Proktor ve üç eksenli kesme testleri İllit kil örneklerinin %0, %5, %10, %15, %20 ve %25 uçucu kül ile karıştırılmasıyla gerçekleştirilmiştir. Bu deneylerin bir sonucu olarak, numunenin plastisite indeksi ve kohezyonu, uçucu kül içeriğinin artmasıyla azalmıştır. Ek olarak, sadece %5 kül içeriği eklenerek sürtünme açısı artırılmıştır. Karışımdaki uçucu kül oranı daha fazla artarsa, numunenin sürtünme açısı azalır. Sonuç olarak, optimum yüzde olarak %5 uçucu kül ve kil karışımı önerilebilir. Elde edilen sonuçlar, killi toprağın uçucu kül kullanılarak etkili bir şekilde stabilize edilebildiğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Uçucu kül, Zemin iyileştirme, Üç eksenli kesme deneyi, Sürtünme açısı, Kohezyon.

IMPROVEMENT OF THE PROPERTIES OF CLAYED SOILS BY USING FLY ASH

Abstract

Dispersive and swelling soils are defined as problematic soils and they cause serious problems in many engineering structures. In recent years, waste materials have been used as chemical additives to improve the properties of these soils. Due to economic issues and fast application of chemical additives, it has gained wide application in geotechnical engineering. Fly ash is one of the most common waste materials generated by the combustion of coal. Utilization of this waste material plays a big role in preventing environmental pollution too. The properties of fly ash such as low unit weight, considerable shear strength

and low settlement rate makes this material a good option as one of soil improvement techniques. Moreover, flyash can be used in geotechnical projects such as embankments, dams and roads. In this study, the effect of fly ash was investigated to improve the mechanical properties of clayey soils. Sieve analysis, determination of water content, Atterberg limits, Standard Proctor, and triaxial shear tests were performed by mixing Illite clay samples with 0, 5%, 10%, 15%, 20%, and 25% fly ash. As a result of these experiments, the plasticity index and cohesion of the sample decreased with increasing fly ash content. In addition, the friction angle was increased by adding only 5% ash content. If the proportion of fly ash in the mixture increases more, the friction angle of the sample decreases. Consequently, a mixture of 5% fly ash and clay can be recommended as an optimum percentage. The results show that clay soil can be stabilized effectively using fly ash.

Keywords: Fly ash, Soil improvement, Triaxial shear test, Friction angle, Cohesion.

1. GİRİŞ

Termik santrallerde kömürün yanmasından elde edilen uçucu kül, dünyada büyük miktarda üretilmektedir. Düşük birim hacim ağırlığı, yüksek kayma dayanımı, düşük sıkıştırılabilirlik, neme karşı duyarsız olma gibi özellikler uçucu külün olumlu özelliklerinden bir kaçısı olup zemin özelliklerinin geliştirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Ayrıca, dolgu barajı ve yol inşaatı gibi geoteknik mühendisliğinde yapılan uygulamalarda uçucu külün büyük miktarda kullanımı mümkündür. Çeşitli araştırmacılar, Atterberg limitleri ve indeks özelliklerine dayalı olarak killi zeminlerin şişme özelliklerini tahmin etmek için deneysel ilişkiler üzerinde çalıştılar. Bununla birlikte, genleşme-büzülme özellikleri ile katkı maddelerinin plastisite indeksi ile stabilize edilmiş şişen zeminler arasındaki ilişki araştırılmamıştır. Zhao Vd (2008) göre kürlenmeden uçucu kül içeriğindeki artışla birlikte, serbest basınç dayanımında ihmal edilebilir değişiklikler vardır. Ancak kireç ilavesiyle kesme dayanımı önemli ölçüde artmıştır. 7 günlük kürlenme süresine sahip işlenmiş zeminler için optimum uçucu kül içeriği % 9-12 olarak bulunmuştur. Uçucu kül içeriğinin artması ile stabilize zeminin plastisite indeksinin azaldığı görülmüştür. Sahu vd. tarafından yapılan çalışmada, siltli kum, killi zemin ve siltli zemin gibi farklı tipteki zeminlerin uçucu kül ile stabilizasyonunun zeminlerin CBR değerlerini artırdığı bildirilmiştir. CBR değerlerindeki artış, siltli kum için maksimum, killi zemin için minimum olarak bulunmuştur. Bu, stabilize zeminin plastisite davranışının, zeminlerin CBR değerlerini büyük ölçüde etkilediğini göstermektedir. Ayrıca, şişen zemine uçucu kül ilavesi, sıkıştırma davranışını, kesme dayanımı parametrelerini, şişme özelliklerini ve ardından alt zeminin oturma davranışını etkileyebilir. J Prabakar ve diğerleri (2004), % 9 ile % 46 arasında değişen farklı yüzdelerde uçucu kül kullanarak geniş zeminlerin stabilizasyonunu araştırdı. Benzer şekilde, uçucu kül stabilizasyonu üzerine rasgele yönlendirilmiş elyaf ilavesi ile karıştırılmış uçucu kül, Ghosh ve diğerleri (2007), F sınıfı uçucu külün tek başına veya alçı ile kombinasyon halinde kullanımı, uçucu ile organik zeminlerin stabilizasyonu gibi çeşitli çalışmalar yürütülmektedir yumuşak ince taneli zeminleri uçucu kül ile stabilize eden kül. Serbest basınç ve zemin mukavemeti ile ilgili az sayıda araştırmacı tarafından uçucu kül ve zemin stabilizasyonu ile ilgili araştırmalar yapılmıştır (Sivapullaiah et.al. 1995; Ghosh and Subbarao 2006; Gaciarz 2012). Yapılan bu çalışmalarda ve benzer çalışmalarda bazen çelişkili sonuçlar elde edilmiştir. Örneğin serbest kesme mukavemeti üzerinde uçucu külün artışının etkisinin az olarak bildirilmiştir (Gaciarz 2012). Diğer araştırmalarda, kül oranı arttıkça serbest kesme mukavemetinin artışı rapor edilmiştir (Ansari vd. 2006). Ayrıca, uçucu külün tipi ve killi zeminin türü-de bulunan sonuçlarda etkili olabilir. Bu sebepler nedeni ile uçucu külün davranışının daha çok araştırılması gerekmektedir. Bu çalışmada, külün farklı yüzdeleri kullanılarak, kilin fiziksel ve mekaniksel davranışı üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

2.MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada, uçucu külün ilit kilin üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Killi numune İstanbul Şile'den ve Uçucukül Erdemik termik santral'dan temin edilmiştir. Yapılan tüm deneylerinde farklı katkıda uçucu külün (%0, %5, %10, %15, %20, %25) kullanılmıştır. Yapılan araştırmada Elek analizi, Su içeriğinin belirlenmesi, Atterberg limitin belirlenmesi, Proktor Deneyi, ve üç eksenli kesme deneyi yapılmıştır. Bu

çalışmada C tipi uçucu kül kullanılmıştır. C tipi uçucu kül %15'ten %35'e kadar CaO içerir ve bitümlü olmayan kömürün ve diğer linyitin yanmasıyla elde edilir. Bu tip uçucu küller yüksek kalsiyum içeriğine sahip olduğundan puzolanik özelliğinin yanında bağlayıcılık özelliğine de sahiptir (Bulut ve Tançan 2009). Uçucu kül tipi genellikle ASTM C618'e göre belirlenmektedir. Tüm deneyler TS 1500, TS1900-1 ve TS1900-2 standartlarına uygun yapılmıştır. Deney numuneleriyle ilgili notasyonlar Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Deney numuneleriyle ilgili notasyonlar

Deney numunelerinin karışım oranları Simge

kil	k
kil ve %5 uçucu kül	kFA/5
kil ve %10 uçucu kül	kFA/10
kil ve %15 uçucu kül	kFA/15
kil ve %20 uçucu kül	kFA/20
kil ve %25 uçucu kül	kFA/25

3.SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

3. 1. ÖZGÜL AĞIRLIKLARIN BELİRLENMESİ:

Zeminlerin dane özgül ağırlığı (Gs), hacim ve ağırlık ilişkisinin tespit edilmesi için gereklidir. Deneyde TS 1900-1 standardı uygulanmıştır. Her deney 3 set tekrarlanıp ortalama değer kaydedilmiştir.

Çizelge 2. Numunelerin özgül ağırlığı

Uçucu kül(%)	Malzeme	Ortalama G _s
0	Uçucu kül	2.02
0	İllit kil	2.83
%5	Uçucu kül + kil	2.91
%10	Uçucu kül + kil	2.44
%15	Uçucu kül + kil	2.39
%20	Uçucu kül + kil	2.40
%25	Uçucu kül + kil	2.42

3. 2. ELEK ANALİZİ:

Zeminler; zemin malzemelerinin dane boyu dağılımı, iyi derecelenmiş ve iyi derecelenmemiş olarak tanımlanır. Tüm deneyler TS 1900-2'e göre yapılmıştır. Elek analizi için, etüvde ortalama 105 C⁰'de 24 saat kurutulan zemin malzemesi gerekir. Numune 0.075 mm (200 no'lu) elek üzerinde elek altından çıkan su berraklaşana kadar yıkanmıştır. Elek üzerinde kalan numune etüvde 24 saat kurumaya bırakılmıştır.

Kalan numune tartılarak yıkama esnasındaki kayıp miktarı belirlenir. Bu numune büyükten küçüğe doğru sıralanmış eleklerden (3", 1 1/2", 3/4", 3/8", #4, #10, #16, #40, #100 ve #200) elenerek elek üzerinde kalan ve başlangıçta kullanılan zemin miktarına göre elekten geçen yüzdeler belirlenerek granülometri eğrisi çizilir. Yapılan deneylerin sonucu çizelge 3 'de gösterilmiştir.

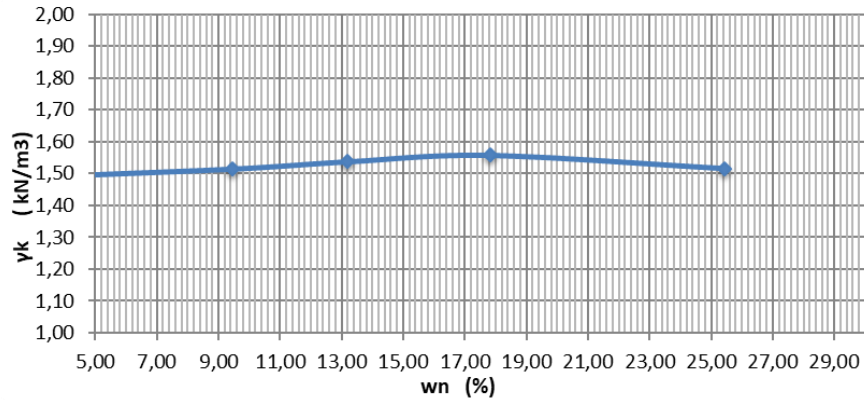
Çizelge 3. Elek analizinin sonucu

Yaş Numune Ağırlığı	463.97	
Kuru Numune Ağırlığı	455.32	
Kuru Numune Ağırlığı	455.32	Çakıl + Kum + Silt + Kil
Yıkamadan Sonraki Kuru Numune Ağırlığı	23.14	Çakıl + Kum

elek no	elekte kalan (gr)	toplam kalan (gr)	toplam geçen (gr)	toplam geçen (%)	elek açıklığı (mm)
3"	0.00	0.00	455.3	100	75
	0.00	0.00	455.3	100	63
1,5"	0.00	0.00	455.3	100	40
	0.00	0.00	455.3	100	20
	0.00	0.00	455.3	100	9.5
4	0.00	0.00	455.32	100.00	4.75
10	0.18	0.18	455.14	99.96	2
	0.00	0.18	22.96	99.22	1.4
	0.19	0.37	454.95	99.92	1.19
	0.55	0.92	454.40	99.80	0.600
	0.00	0.92	22.22	96.02	0.500
40	0.64	1.56	453.76	99.66	0.425
	0.78	2.34	452.98	99.49	0.300
	0.00	2.34	20.80	89.89	0.250
	9.45	11.79	443.53	97.41	0.150
	10.85	22.64	0.50	2.16	0.125
#200	0.50	23.14	432.18	94.92	0.063
PAN	0.50				

3.3. STANDART PROKTOR DENEYİ VE OPTİMUM SU MUHTEVASININ BELİRLENMESİ

Bu deneyin amacı, numunenin optimum su muhtevasının tespitidir. Deney TS 1900-1 standartına uygun hazırlanmıştır. Deneyden elde edilen sonuçlar, Şekil 1'de verilmiştir. Deneyin sonucunda bulunan maksimum kuru birim hacim ağırlığı 1.56 gr/cm^3 ve su muhtevası %17.87 olarak belirlenmiştir.



Şekil 1. Optimum su muhtevası ve maksimum kuru birim hacim ağırlığı ilişkisi

3.4. ATTERBERG LİMİTLERİ

Zeminlerin su muhtevasına bağlı olarak değişik davranışlar göstermesi Atterberg tarafından deneysel olarak tarif edilmiştir. Atterberg tarafından tanımlanan, sınır su içerikleri Atterberg sınırları veya kıvam sınırları olarak adlandırılırlar. Likit limitte zemin kendi ağırlığı altında yavaşça akabilir. Plastik durumda zemine istenilen şekil kolayca verilebilir. Yarı katı durumda zemine istenilen şekil zorlukla verilir, zeminde çatlama oluşur. Katı durumda ise zemine şekil verilemez (Amer ve Awad, 1974). İllit kil malzemesinin mühendislik özelliklerinin belirlenmesi için kullanılan zemin mekaniği deneylerinin sonuçları Çizelge 4’de sunulmuştur. Bu çizelgede zeminin sınıflandırılması, birleştirilmiş zemin sınıflandırmasına (USCS) ASTM D2487 – 17 uygun bir şekilde yapılmıştır. USCS sınıflandırılmasına göre numune, düşük plastisiteli kil (CL) ve TS 1500 göre orta plastisiteli kil (CI) olarak belirlenmiştir. Bu çalışma kapsamında numune karışımları üzerinde yapılan likit limit ve plastik limit deney sonuçları Çizelge 5’te verilmiştir. Deneylerden elde edilen sonuçlara göre uçucu kül oranının artışı ile Plastisite İndisi (PI) düşüş göstermektedir.

Çizelge 4. Doğal zeminin özellikleri

USCS sınıflandırma	CL
TS 1900-1 sınıflandırması	CI
Likit limit, LL (%)	38,22
Plastik limit, PL (%)	20,04
Plastisite indisi, PI (%)	18,18
Özgül ağırlık, G_s	2,02
Optimum su muhtevası, w_{opt} (%)	17,87
Maksimum kuru yoğunluk, γ_{kmax} (Mg/m ³)	1,56

Çizelge 5. Numunelerin kıvam limitleri

Deney Numuneleri	Likit Limit(%)	Plastik Limit(%)	Plastisite İndisi(%)
K	38.22	20.04	18.18
KFA/5	45,0	34,0	11,0
KFA/10	44,5	33,7	10,8
KFA/15	44,5	33,7	10,8
KFA/20	43,4	33,2	10,2
KFA25	40.62	31,09	9,53

3.5. ÜÇ EKSENLİ BASINÇ DAYANIMI DENEYİ

Hazırlanan numuneler optimum su muhtevalarda karıştırılıp sıkıştırıldıktan sonra, 3 set üç eksenli deney yapılmıştır. Her set deneyde, çevre basıncı (σ_3) 50,100 ve 150 kPa olarak belirlenmiştir. Arazide zemin üç eksenli gerilme etkisi altında bulunduğu için gerçeğe en yakın kayma dayanımı parametresi arazi deneylerinden elde edilir. Bu nedenle kayma dayanımını belirlemek için en yaygın deney yöntemi üç eksenli basınç dayanımı deneyidir. (Yılmaz vd. 2014). Üç eksenli deneyleri, farklı katkı kil ve uçucu kül oranları ile yapılmıştır. Kül oranları %0, %5, %10, %15, %20 ve %25 olarak değişmektedir. Uçucu kül ile hazırlanan karışımlara ait üç eksenli basınç deneyi numuneleri ve numunelerin deneyden sonraki hali Şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 2. Üç eksenli basınç deney düzeneği

Genellikle üç eksenli basınç deneyi üç şekilde yapılmaktadır: Konsolidasyonlu – drenajlı deney (CD), konsolidasyonlu – drenajsız deney (CU deneyi) ve konsolidasyonsuz – drenajsız deney (UU deneyi). Zemin mekaniğinde çok hızlı yapılan yüklemenin getirdiği kritik gerilme durumu önem taşımaktadır. Laboratuvar ortamında bu durumu en iyi temsil eden deney UU deneyidir. Deneylerin sonunda hesaplanan kohezyon (C) ve içsel sürtünme açısı (ϕ) çizelge 6`da gösterilmiştir.

Çizelge 6. Farklı karışımlarına ait Üç eksenli basınç dayanımı sonuçları

Uçucu kül oranı (%)	0%	5%	10%	15%	20%	25%
ϕ	20,75	29,9	19,8	19,1	17,5	13,9
C (kPa)	77,15	60,5	55,6	50,55	35,5	32,9

Çizelge 6`dan görüldüğü gibi uçucu kül oranındaki artışla beraber, kohezyon azalmaktadır. Bu bulgu özellikle şişen zeminlerin iyileştirilmesi için çok önem taşımaktadır. Ayrıca, %5 kül oranında, içsel sürtünme açısı maksimum değere sahiptir. %5`ten sonra kül oranının artışı ile beraber sürtünme açısı düşüş göstermektedir.

4. SONUÇ

Bu çalışmada uçucu külün killi zeminler üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Farklı özelliklerin araştırılması için, Elek Analizi, Su muhtevasının belirlenmesi, Kıvam limitleri, Standart Proktor deneyi ve konsolidasyonsuz– drenajsız üç eksenli deneyler yapılmıştır. Uçucu küllu numunelerde, katkı oranının artmasıyla beraber plastisite indisi belirgin bir şekilde, %18.18`den %9,53`e azalma göstermiştir. Deneylerimizde kullanılan illit kili, orta plastik kil olarak sınıflandırılmıştır. Dolayısıyla bu zemin numunesinin mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi önem kazanmaktadır. Farklı katkı yüzdeleriyle yapılan üç eksenli UU deneyleriyle, kohezyon 77,15 kPa dan 32,9 kPa azalmıştır. İçsel sürtünme açısı için en iyi katkı oranı %5 olarak belirlenmiştir. Bu oranda, katkısız Zemin numuneye göre %44 içsel sürtünme artışı görülmüştür. Katkı oranının %5`i geçmesiyle beraber içsel sürtünme açısı düşüş göstermektedir. Sonuç olarak %5 uçucu kül oranının üzerine çıkılması sürtünme açısıyla beraber kohezyonun düşmesine neden olmaktadır.

REFERANSLAR

Amer, A.M., and Awad, A.A. (1974). Permeability of Cohesionless soil, Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, 100: GT12: 1309-1316.

Ansary, M.A., Noor, M.A., Islam, M. (2006). Effect of fly ash stabilization on geotechnical properties of chittagong coastal soil. In: Proceedings of the Geotechnical Symposium on Soil Stress– Strain Behavior, Rome, Italy, March 16–17: 443–454.

ASTM C618-19, Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2019.

ASTM D2487-17, Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System), ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017.

Bulut Ü, Tanaçan L. (2008). Perlitin puzolanik aktivitesi. İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat mühendisliği anabilim dalı, İstanbul.

Gaciarz, R. (2012). Stabilization of Silty Soil using Fly Ash, M.Sc. Thesis, Department of Engineering, Central Connecticut State University, New Britain, CT.

Ghosh A., Subbarao C., (2006). Tensile strength, bearing ratio and slake durability class F flyash stabilized with lime and gypsum, Journal of Materials in Civil Engineering (ASCE), 18:18-27.

Ghosh A, Subbarao C. (2007). Strength Characteristics of Class F Fly Ash Modified with Lime and Gypsum. J Geotech Geoenvironmental Eng. 133(7):757–66.

Prabakar J, Dendorkar N, Morchhale RK. (2004). Influence of fly ash on strength behavior of typical soils. 18:263–7.

Sahu BK. Improvement in California Bearing Ratio of Various Soils in Botswana by Fly Ash. (2001). Int Ash Util Symp.22–4.

Sivapullaiah P. V., Prashanth J.P., Sridharan Asuri, (1995). Optimization of lime content for flyash, ASTM Journal of testing and evaluation, 23: 3, 222-227.

TS 1500. İnşaat Mühendisliğinde Zeminlerin Sınıflandırılması. Türk Standardları Enstitüsü, Ankara, 2006.

TS 1900-1. İnşaat Mühendisliğinde Zemin Lâboratuvar Deneyleri - Bölüm 1: Fiziksel Özelliklerin Tayini. Türk Standardları Enstitüsü, Ankara, 2006.

TS 1900-2. İnşaat Mühendisliğinde Zemin Lâboratuvar Deneyleri - Bölüm 2: Mekanik Özelliklerin Tayini. Türk Standardları Enstitüsü, Ankara, 2006.

Yılmaz I, Yıldırım M, Keskin I. (2014). Zemin Mekaniği Laboratuvar Deneyleri ve Çözümlü Problemler, 2.baskı Ankara, Türkiye, Seçkin.

Zha, F., Liu, S., Du, Y., Cui, K. (2008). Behavior of expansive soils stabilized with fly ash, Natural Hazards, 47 (3), pp. 509-523.