



ETOXEC

Environmental Toxicology and Ecology

© Environmental Toxicology and Ecology

2024, Vol. 4 (1)



Environmental Toxicology and Ecology

September 2024, Vol. 4 (1)

Editor-in-Chief

Assoc. Prof. Dr. Ahmet Ali BERBER

Typesetting and Layout

Asist. Prof. Dr. İbrahim UYSAL

Advisory Board

Prof. Dr. Bülent KAYA
Prof. Dr. Hüseyin AKSOY
Doç. Dr. Sevdan YILMAZ

Editors

Prof. Dr. Ali UZUN
Prof. Dr. Selami SELVİ
Prof. Dr. Şerife Gülsün KIRANKAYA
Assoc.Prof. Dr. Nihat Hakan AKYOL
Asist. Prof. Dr. Nurcan BERBER
Asist. Prof. Dr. Pınar ÇAM İCİK
Asist. Prof. Dr. Muammer KURNAZ

Statistic Editor

Temel ERTUĞRAL

Publisher

Ekoloji ve Ekotoksikoloji Derneği



CONTENS

RESEARCH ARTICLES

Histological Disruptive Effects of Tau-Fluvalinate in Zebrafish (*Danio rerio*) Testis..... 1-10
Cansu AKBULUT, Ceyda ÖZTÜRK, Nazan Deniz YÖN ERTUĞ

Gelibolu Hava Kalitesinin Belirlenmesi 11-25
Sibel MENTEŞE, Müge AYDIN

Alfa-sipermetrin'in Davranışsal Toksisitesinin *Drosophila melanogaster*'de İncelenmesi 26-37
Serap KOCAOĞLU CENKÇİ, Selda ÖZ

The Impact of Dissolved Salts on the Erosion of Physically Purified Compacted Bentonite .. 38-58
Süleyman BÜLBÜL, Akın DUVAN

REVIEW ARTICLE

Kanatlı etlerinde Gıda Güvenliği: Bakteriyel Tehlikeler 59-72
Rabia EROĞLU, Nesrin ÇAKICI



Histological Disruptive Effects of Tau-Fluvalinate in Zebrafish (*Danio rerio*) Testis

Cansu AKBULUT^{1*} , Ceyda ÖZTÜRK¹ , Nazan Deniz YÖN ERTUĞ¹ 

ABSTRACT

Due to the high use of pesticides, undesirable effects are observed in the environment and toxic effects occur in terrestrial and aquatic organisms via pesticide bioaccumulation. Although bioaccumulation levels are low, especially in aquatic ecosystems, toxicological effects on aquatic organisms have been observed. Synthetic pyrethroids are pesticides produced for domestic and agricultural pests and tau-fluvalinate is also a broad-spectrum synthetic pyrethroid. Our study investigated the histopathological effects of zebrafish exposed to tau-fluvalinate at two different doses (8µg/L, 16µg/L) on testicular tissue. After 5 days of exposure, testicular tissues were dissected and routine histological methods were applied. Tissues were investigated under a light microscope after they were stained with hematoxylin & eosin. As a result of tau-fluvalinate exposure, deterioration in seminiferous tubule morphology, interstitial fibrosis, vascular congestion, karyorrhexis and hypertrophic spermatogenic cells were detected. Tau-fluvalinate exposure was found to induce apoptosis and cause germ cell deterioration.

1. INTRODUCTION

Environmental pollution due to toxic components is among the most critical problems globally [1]. In recent years, the use of pesticides has increased remarkably to protect plant products. The unconscious use of toxic components and pesticides has increased and undesirable adverse effects on organisms, depending on the exposure period. Depending on the increased use, pesticides contaminate the aquatic environment and negatively affect the organisms [2].

The use of synthetic pyrethroids, an important pesticide group, started in the 1970s. Although increases were observed in the number of agricultural products with the use of these substances, it was determined that they also caused damage to non-target organisms [3]. These substances, which have high insecticidal activities can act rapidly, and are neurotoxins that interact with sodium channels [4-5].

Tau-fluvalinate is a synthetic pyrethroid pesticide and environmental toxin used to control parasites and protect trees, plants, and vegetables against pests in large areas [6-7]. Like synthetic pyrethroids, it exerts an inhibitory

Article Info

*Corresponding author:

e-mail: cansua@sakarya.edu.tr

Institution: ¹ Sakarya University

Article history

Received: 19/09/2023

Accepted: February 23/11/2023

Available online: 03/05/2023

Keywords:

Tau-fluvalinate, Pesticide,
Histology, Testis, Zebrafish

How to Cite: C. Akbulut, C. Öztürk, ND. Yön Ertuğ
"Histological Disruptive Effects
of Tau-Fluvalinate in Zebrafish
(*Danio rerio*) Testis",
*Environmental Toxicology and
Ecology*, c. 4, sayı. 1, ss. 1-10,
2024.

DOI: 10.59838/etoxec.1362835

effect on sodium channels. Tau-fluvalinate acts on the nervous system by keeping sodium channels open in nerve cells in insects [8-9].

Zebrafish is a model organism species preferred by researchers in many fields such as biology, pharmacology, toxicology, genetics, neurophysiology, ecology and evolutionary biology since the 1930s [10]. One of the most critical reasons zebrafish are preferred in studies is that they are resistant to changing environmental conditions. Zebrafish frequently used in environmental toxicology studies to detect toxins in water samples or investigate the mechanisms of environmental toxins and related diseases [11].

Although tau-fluvalinate is an environmental hazard, reproductive toxicity in many aquatic organisms, including zebrafish, is still unknown. Gonads are the primary reproductive organs responsible for producing germ cells like sperms and oocytes. Histology is an important tool for toxicologists to detect adverse effects of environmental contaminants in the study of reproductive health of fishes [12-13]. In this study, it was aimed to investigate the histopathological effects of sublethal concentrations of tau-fluvalinate in testis tissue of adult zebrafish.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Test Chemical

Tau-fluvalinate (CAS No: 102851-06-9) commercially named Mavrik® 2F, was obtained from Adama (Turkey).

2.2. Animal Husbandary

The zebrafish used in this study were obtained from Sakarya University Aquaculture Lab. Esentepe, Sakarya, Turkey. Sexually mature zebrafish (approximately 3-4 cm in length, 1 year old) were used. They were raised in dechlorinated tap water and maintained as follows: a 12 h light/12 h dark photoperiod, $28 \pm 1^\circ\text{C}$ temperature, 7.0 ± 0.5 pH, and 6.0 mg/L dissolved oxygen. Zebrafish were fed with an artificial diet Tetramin Pro Energy®, (Tetra Werke, Germany) twice a day.

2.3. Exposure

The fish used in the study were randomly divided into 3 groups, one control and two experimental groups. Each group received 10 fish. 8 and 16 $\mu\text{g/L}$ tau-fluvalinate was applied to the experimental groups by dilution from the prepared stock solution. After the 5-days of exposure, zebrafish were dissected.

2.4. Histopathology

Dissected testicular tissues were fixed in 10% neutral buffered formaldehyde solution for 24 hours. In order to remove excess water from the tissues, dehydration was carried out by ascending series of ethyl alcohol concentrations. Tissues were cleared with xylene and embedded in paraffin. Sections of approximately 5 μm thickness were taken from the tissues in the paraffin blocks with the help of a Leica RM2125RT brand rotary microtome. hemotoxylin & eosin staining method was used to examine the tissues under the light microscope (Leica DM500).

2.5. Semi-quantitative Scoring

Semi-quantitative scoring was performed according Mishra and Mohanty [14]. 10 slides of 3 randomly selected individuals from each group were examined. The histomorphological changes were categorized as none, mild (25% of sections), moderate (25–50% of sections), and severe (>50% of sections).

3. RESULTS

3.1. Semi-quantitative scoring

The results of this study revealed that tau-fluvalinate exposure cause histopathological changes in testicular tissue of zebrafish. The histopathological lesions according to the exposure concentrations are showed in Table 1 by semi-quantitative scoring as mild, moderate, and severe.

Table 1. Semi-quantitative scoring of testicular tissue of zebrafish exposed to 8 and 16 µg/L of tau-fluvalinate

Histopathological Lesions	Control	8µg/L	16µg/L
Fusion of seminiferous tubules	-	++	+++
Testicular degeneration	-	+	+++
Hypertrophic spermatocytes	-	+	+++
Hypertrophic Leydig cells	-	+	+
Karyorrhexis and apoptosis	-	+	+++
Vascular congestion	-	++	+
Spermatogenic cells with pyknotic nuclei	-	+	+++
Interstitial fibrosis	-	+	++

Histopathological lesions were scored to the to their severity (-: none, +: mild, ++: moderate, +++: severe)

3.2. Histopathological Evaluation

3.2.1. Control Group

Histopathological alternations were not observed in control group. Seminiferous tubules and surrounding connective tissue were visualized in testicular tissue (Fig. 1a). Spermatogenic cell groups located in the seminiferous tubule and Leydig cells responsible for hormone production between the seminiferous tubules were seen. In seminiferous tubules, spermatogonia, the largest spermatogenic cells, were distinguished with large and pale nuclei. Spermatocytes were observed to be smaller in size than spermatogonia. Primary spermatocytes were oval and with dense cytoplasm. On the other hand, secondary spermatocytes were similar to primary spermatocytes but were smaller in size and had a rounded structure. The spermatids in the seminiferous tubule were detected as round, small in size, and little cytoplasm. Sperms, the smallest spermatogenic cell, were observed in the central part of the seminiferous tubules (Fig. 1b).

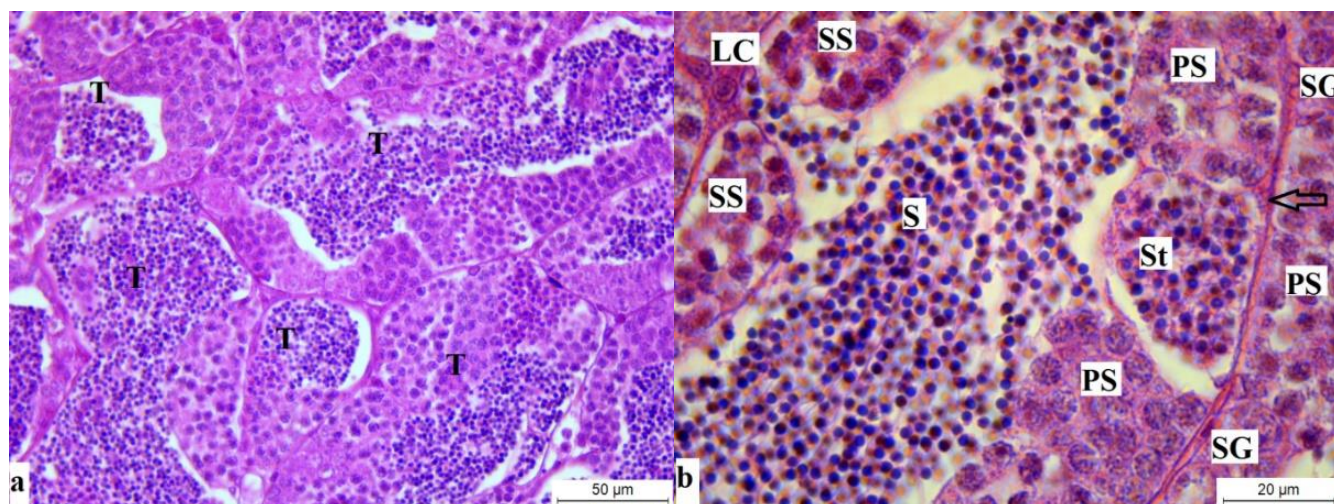


Figure 1 Testicular histology in the control group, a) general view of the seminiferous tubules, b) Spermatogenic cells in the seminiferous tubule, T: seminiferous tubule, LC: Leydig cells, SG: spermatogonia, PS: primary spermatocytes, SS: secondary spermatocytes, St: spermatides, S: sperms, arrow: Sertoli cell, H&E stain.

3.2.2. 8 µg/L Tau-Fluvalinate Exposed Group

In the 8 µg/L tau-fluvalinate exposed group, the integrity of the seminiferous tubule structures was impaired, the borders between the tubules were lost, the intercellular space was expanded and the fusion of the seminiferous tubules was detected compared to the control samples (Fig. 2a, 2b). A relative increase in the proportion of sperm cells to other spermatogenic cell types in the seminiferous tubule was observed (Fig. 2a, 2b, 2c). Hypertrophy of spermatocytes was apparent (Fig. 2a, 2b, 2c, 2d, 2e). Hypertrophy and hyperplasia were detected in Leydig cells (Fig. 2b, 2c) was observed. Vacuolization was seen among spermatogenic cell clusters (Fig. 2a, 2b, 2d, 2e). Karyorrhexis was detected in some spermatogenic cells. The presence of karyorrhexis in a large number of spermatogenic cells suggested that these cells might be apoptotic (Fig. 2a, 2b, 2c, 2d). In addition, some spermatogenic cells with pyknotic nuclei were also visualized (Fig. 2d). In the interstitial area, vascular congestion was apparent (Fig. 2a, 2b, 2e). Interstitial fibrosis was observed between tubules (Fig. 2d, 2e).

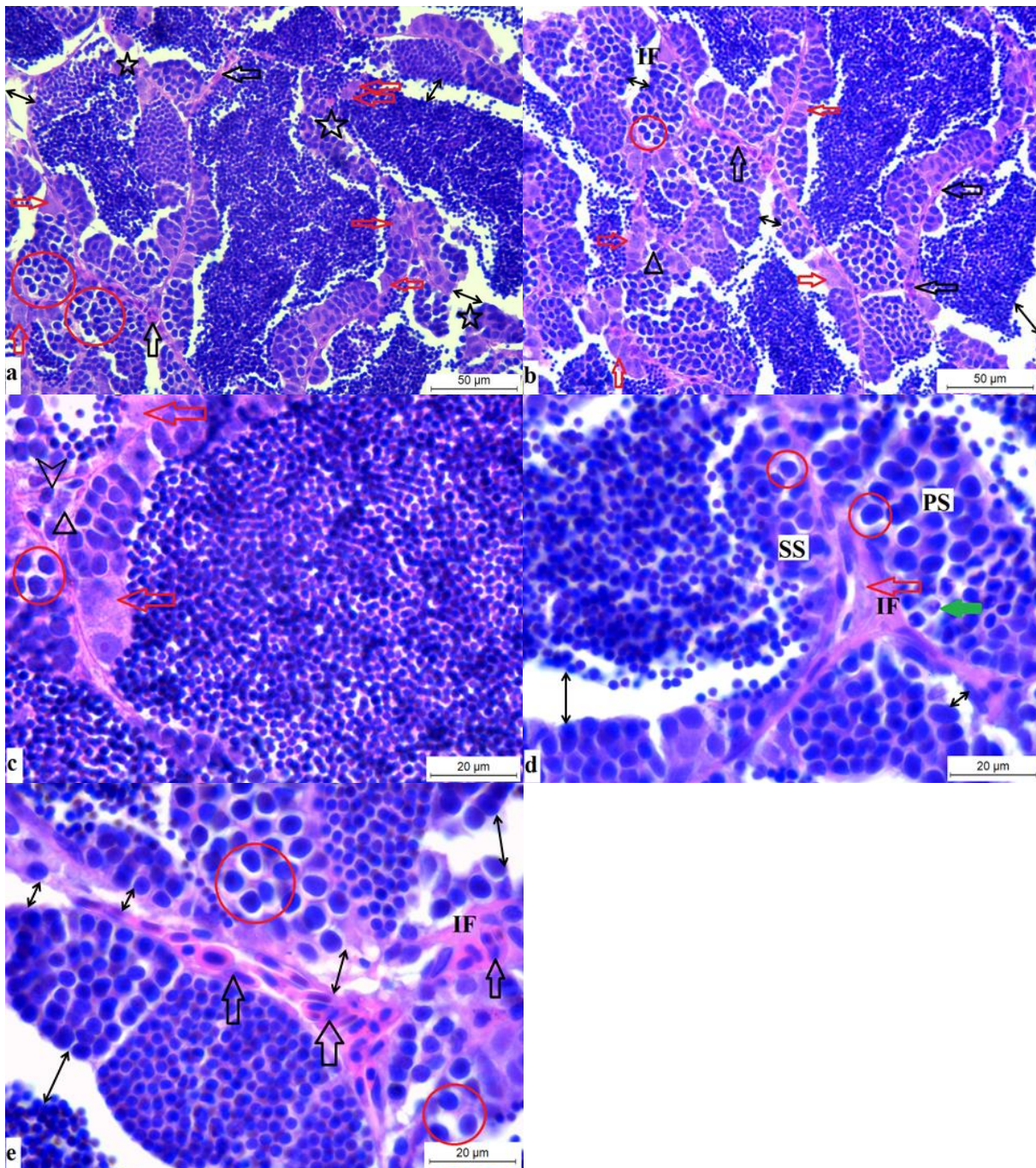


Figure 2 Testicular histology in the 8 µg/L tau-fluvalinate exposed group, a, b) general view of the seminiferous tubules, c, d, e) Spermatogenic cells in the seminiferous tubule, PS: primary spermatocyte, SS: secondary spermatocyte, IF: interstitial fibrosis, star: fusion of seminiferous tubules, black arrow: vascular congestion, red arrow: karyorrhexis, green arrow: spermatogenic cells with pyknotic nuclei, double headed arrow: vacuolization, red circle: hypertrophic spermatocytes, triangle: hypertrophic Leydig cells, arrow head: hyperplastic Leydig cells. H&E stain.

3.2.3. 16 µg/L Tau-fluvalinate Exposed Group

In the 16 µg/L tau-fluvalinate exposed group, severe histopathological changes were observed. Fusion of seminiferous tubules was displayed (Fig. 3a, 3b). Disintegration was seen in some seminiferous tubules (Fig. 3a, 3e). As in the 8 µg/L tau-fluvalinate exposed group, a decrease in the number of spermatogenic

cells due to increase in sperm proportion was detected (Fig. 3a, 3b). Hypertrophic spermatocytes were remarkable (Fig. 3a, 3d, 3e). Syncytium was detected in primary spermatocytes (Fig. 3a, 3b, 3c, 3d). Karyorrhexis was observed in the spermatogenic cells in this group either (Fig. 3b, 3c). Some spermatogenic cells with pyknotic nuclei were detected (Fig. 3d, 3e). Apoptotic germ cells were identified. Vacuolization was apparent between spermatogenic cells in seminiferous tubule (Fig. 3a, 3b, 3c, 3d). Vascular congestion (Fig. 3a, 3b) and interstitial fibrosis (Fig. 3c, 3e) were observed between tubules.

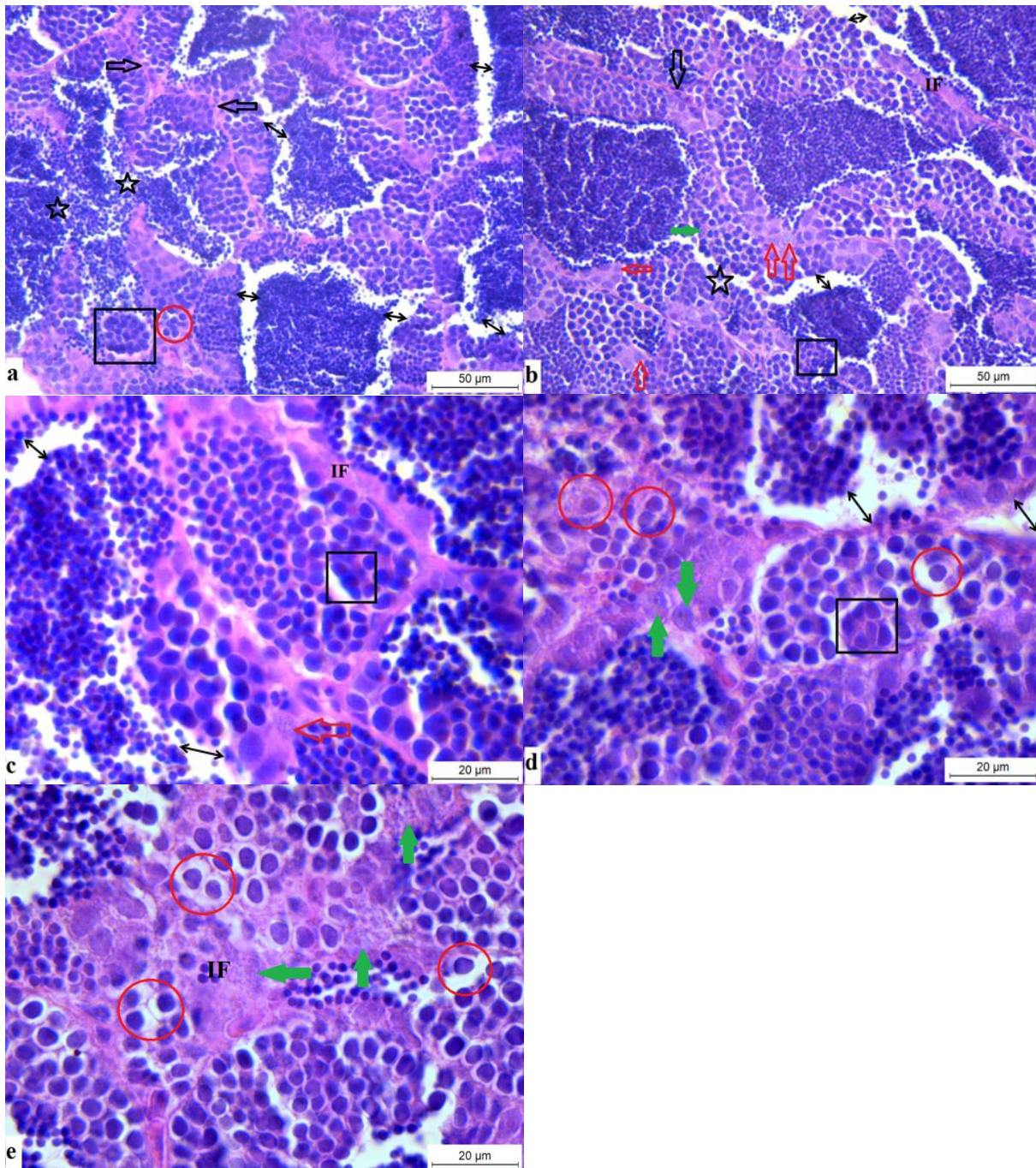


Figure 3 Testicular histology in the 16 µg/L tau-fluvalinate exposed group, a, b) general view of the seminiferous tubules, c, d, e) Spermatogenic cells in the seminiferous tubule, IF: interstitial fibrosis, star: fusion of seminiferous tubules, black arrow: vascular congestion, red arrow: karyorrhexis, green arrow: spermatogenic cells with pyknotic nuclei, double headed arrow: vacuolization, red circle: hypertrophic spermatocytes, square: syncytium, H&E stain.

4. DISCUSSION

Pesticide derivatives, which are preferred for chemical control against harmful species due to the increase in their populations, have had negative effects on different organisms over time. Chemical structure and formulation are important in the effect of pesticides on the organism. These harmful chemicals, which contaminate the aquatic environment in different ways, show a wide variety of toxic effects on aquatic organisms.

Studies have been conducted on the negative effects of environmental and industrial pollutants on the reproductive system. In these studies, it has been shown that environmental pollutants cause a decrease in sperm count, abnormal sperm formation, and deterioration in the morphology of testicular tissue, especially in male individuals [15-19]. In a study, clustering of sperms and deterioration of seminiferous tubules were observed in testicular tissue of *Lepomis macrochirus* exposed to diazinon, an organophosphate insecticide. Adverse effects were observed in testicular tissue from the beginning of spermatogenesis and diazinon application was reported to prevent sperm formation [20]. Similarly, disruption in the structure of seminiferous tubules and aggregation of sperms occurred in the testicular tissue of zebrafish exposed with tau-fluvalinate.

As a result of the exposure of endosulfan, a polychlorinated hydrocarbon insecticide, deterioration in the structure of the seminiferous tubules, decrease in the number of spermatogonia and irregularity in the structure of the testicular tissue in *Lepomis macrochirus* was stated [21]. These histopathological changes observed in the seminiferous tubule and spermatogonia were similar to our study.

As a result of cypermethrin exposure in the testicular tissue of *Channa punctatus*, clustering and vacuolization among spermatogenic cells in seminiferous tubule and deteriorated spermatids occurred [22]. Staicu et al. [23] determined that there was a decrease in sperm count in *Corassius auratus gibelio* exposed to deltamethrin for 14 days. In a study conducted by Bayar et al. [24], it was stated that deltamethrin had adverse effects on the testicular tissue in *Oreochromis niloticus*, such as a decrease in the number of spermatogenic cells and structural deterioration in spermatogonia. It was observed that the adverse effects of deltamethrin on testicular tissue was more than tau-fluvalinate.

In Rocha et al. [25]'s study, histopathological effects in testis tissue of zebrafish were investigated after exposure to carbamazepine, fenofibric acid, propranolol, sulfamethoxazole and trimethoprim for 21 days. Compared to the control group, a decrease in sperm count and an increase in the number of spermatocytes were observed in exposure groups. It has been determined that these chemicals cause testicular damage during the maturation period of the fish. In our study, unlike other chemicals, it was determined that the tau-fluvalinate exposure caused an increase in sperm proportion, while it caused a decrease in the number of other spermatogenic cells.

The histopathological effects of etofenprox, a synthetic pyrethroid, were investigated in zebrafish testicular tissue. While no histopathological effect was observed in tissue samples dissected after 48 hours, sperm cells decreased and the number of Leydig cells increased in testicular tissues dissected after 96 hours. It has

been showed that the tissue structure deteriorated and became unable to perform its normal function [26]. The histopathological effects of etofenprox were much more than the tau-fluvalinate was concluded.

In a study examining the effects of fenvalerate on the *Barbus carnaticus* testis structure, disruption of the seminiferous tubules and aggregation of the spermatogonia, spermatids and sperms was reported [27]. Chen et al. [28] investigated the reproductive toxicity of dibutyl phthalate and diisobutyl phthalate in male zebrafish. It has been stated that these chemicals disrupt the spermatogenesis process in the testis, has affect testicular morphology adversely, and cause an enlargement in the intercellular area. Considering these results, it can be said that tau-fluvalinate has similar effects with dibutyl phthalate and diisobutyl phthalate in testicular tissue.

In another study, it has been determined that adverse effects occur on spermatogonium, spermatid and sperm cells in zebrafish exposed to pyriproxyfen. It has been reported that spermatids and sperm are significantly reduced and spermatocyte and spermatogonia are increased [29]. As a result of exposure to pyriproxyfen, an increase was observed in the size and number of spermatogonia in the testicular tissue, while no change was observed in the number and size of the other spermatogenetic cells [30]. The application of tebucosanol and diphenicosanol causes a significant increase in the percentage of spermatogonia in the early spermatogenesis stage and a decrease in the percentage of spermatocyte was reported in zebrafish testis [31].

In this study, it has been showed that tau-fluvalinate exposure cause several histopathological changes and induced apoptosis in testicular tissue of zebrafish. As a result of excessive and unconscious use of pesticides, the aquatic ecosystem has been polluted, which harms the reproductive potential of organisms. Therefore, biological control should be preferred in agriculture or the use of biopesticides should be encouraged.

Funding

The author did not receive any financial support for the research, authorship, or publication of this study.

The Declaration of Conflict of Interest/ Common Interest

No conflict of interest or common interest has been declared by the authors

Author's Contribution

The first author contributed 60%, the second author 20%, the third author 20%.

REFERENCES

- [1] R. Chadran, A.A. Sivakumar, S. Mohandass, M. Aruchami, “Effect of Cadmium and Zinc on Antioxidant Enzyme Activity in the Gastropod, *Achatina fulica*”, *Comp. Biochem Physiol.*, 140C: 422-426, 2005.
- [2] N. Delen, “Fungisitler”, Nobel Yayın Dağıtım, 552 s. 2008.
- [3] N. Vural, “Toksikoloji”, A.Ü. Basımevi, 221 s. 2000.
- [4] L.B. Smith, Kasai S., J.G. Scott, “Pyrethroid resistance in *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus*: Important mosquito vectors of human diseases. *Pestic. Biochem. Physiol.*, 133: 1-12, 2016.
- [5] O. Güntay, H. Çay, B. Durusel, Y. Terzi, “Senteik Piretroidlere Genel Bakış.” Atatürk Univ. J. of Agricultural Faculty, 52 (2): 201-223, 2021.
- [6] T.R. Roberts, D.H. Hutson, “Metabolic Pathways of Agrochemicals”, Royal Society of Chemistry, 670, 1999.
- [7] EPA, United States Environmental Protection Agency https://comptox.epa.gov/dashboard/dsstoxdb/results?search=DTXSID7024110&abbreviation=IRIS#excec_sum_01.10.2021
- [8] EPA, Office of Pesticide Programs, What is pesticide? <http://www.epa.gov/pesticides/about>, 2005
- [9] M. Yalçinkaya “Fluvalinate'in lebistes balıkları (*Poecilia reticulata*) üzerine akut etkisinin belirlenmesi”, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2013.
- [10] F. Kayhan, G. Kaymak, H. E. Esmer Duruel and Ş. Tartar Kızılkaya, "Biyolojik Araştırmalarda Zebra Balığının (*Danio rerio* Hamilton, 1822) Kullanılması ve Önemi", *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi*, 7(2): 38-45, 2018.
- [11] K. Bambino, J. Chu, “Zebrafish in Toxicology and Environmental Health”, *Curr Top Dev Biol.*, 124:331-367, 2017.
- [12] V. Blazer, “Histopathological assessment of gonadal tissue in wild fishes”, *Fish Physiology and Biochemistry*, 26: 85–101, 2002.
- [13] P.M. Costa, “The Handbook of Histopathological Practices in Aquatic Environments: Guide to Histology for Environmental Toxicology”, Academic Press, p277, 2018.
- [14] A.K. Mishra, B. Mohanty, “Acute toxicity impacts of hexavalent chromium on behavior and histopathology of gill, kidney and liver of the freshwater fish, *Channa punctatus* (Bloch)”, *Environ Toxicol Pharmacol.*, (26): 136-41, 2008.
- [15] S.A. Sakr, A.E. Azab, “Effect of pyrethroid inhalation on the testis of albino rat”, *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 4(4): 498-500. 2001.
- [16] Ö.F. Tekbaş, “Kimyasallar ve Üreme Sağlığı”, *TSK Koruyucu Hekimlik Bülteni*, 5 (1), 2006.
- [17] P. Sharma, R. Singh, M. Jan, “Dose-Dependent Effect of Deltamethrin in Testis, Liver, and Kidney of Wistar Rats”, *Toxicol Int.*, 21(2): 131–139, 2014.
- [18] U. Habeeba, M. David, “Histological Respoense In a Common Carp *Cyprinus carpio* Induced by Sublethal Concentration of Syntetic Pypretroid Lambda Cyhalothrin”, *International Journal of Pharmaceutical Chemical and Biological Science*, 10(3): 58-64, 2020.
- [19] A.M.A. Hameed, H.S. Mahmoud, “Cypermethrin induced apoptosis and testicular toxicity by upregulation of p53 in the brain and testis of male rats is alleviated by Sesame oil”, *Journal of Taibah University for Science*, 14(1), 2020.
- [20] H.M. Dutta, H.J.M. Meijer, “Sublethal effects of diazinon on the structure of the testis of bluegill, *Lepomis macrochirus*: a microscopic analysis”, *Environmental Pollution*, 125: 335-360, 2003.
- [21] H.M. Dutta, D. Misquitta, K. Sanaullah, “The effects of Endosulfan on the testes of Bluegill fish, *Lepomis macrochirus*: a histopathological study”, *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 51:149-156, 2006.

- [22] R.K. Srivastava, K.K. Yadav, S.P. Trivedi, “Devicyprin induced gonadal impairment in a freshwater food fish, *Channa punctatus* (Bloch)”, *Journal of Environmental Biology*, 29(2):187-191, 2008.
- [23] A.C. Staicu, M.C. Munteanu, D. Costin, M. Costache, A. Dinischiotu, “Histological changes in deltamethrin- induced intoxication in *Carassius auratus gibelio* (Pisces- Cyprinidae)”, *Biotechnol Anim. Husb.*, 23: 619-626, 2007.
- [24] A.S. Bayar, S. Bilici, E.İ. Cengiz, A. Satar, M. Yanar, “The effects of Vitamin E supplementatation on ovary and testis histopathology in *Oreochromis niloticus* exposed to deltamethrin”, *Toxicological & Environmental Chemistry*, 96:1, 114-135, 2014.
- [25] R.E. Madureira, C. Cruzeiro, C., M.J. Rocha, E. Rocha, “The toxicity potential of pharmaceuticals found in the Douro River estuary (Portugal)-Experimental assessment using a zebrafish embryo test”, *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 32(2): 212-217, 2011.
- [26] N. Ağırbaşı, “Çevresel Kirleticileri Etofenpoksun Zebra Balığı (*Danio rerio*)’da Genotoksik ve Histopatolojik Etkilerinin Belirlenmesi”, Gazi Üniversitesi. Doktora tezi. 2016.
- [27] A.M. Vibhandik, R.B. Gaikwad, G.P. Wani, “Fenvalerate Induced Changes in Histological Structure of Gonads of Freshwater Teleost Fish *Barbus carnaticus*”, *International Journal of Scientific Research in Science and Technology*, 6(2): 138-142, 2019.
- [28] H. Chen, K. Chen, X. Qiu, H. Xu, G. Mao, T. Zhao, W. Feng, E.S. Okeke, X. Wu, L. Yang, “The reproductive toxicity and potential mechanisms of combined exposure to dibutyl phthalate and diisobutyl phthalate in male zebrafish (*Danio rerio*)”, *Chemosphere*, 258: 127238, 2020.
- [29] K. Maharajan, S. Muthulakshmi, C. Karthik, B. Nataraj, K. Nambirajan, D. Hemalatha, S. Jiji, K. Kadirvelu, K. Liu, M. Ramesh, “Pyriproxyfen induced impairment of reproductive endocrine homeostasis and gonadal histopathology in zebrafish (*Danio rerio*) by altered expression of hypothalamus-pituitary-gonadal (HPG) axis genes” *Science of The Total Environment*, 735: 139496, 2020.
- [30] V.S. Oliveria, A.J.G. Castro, K. Marinsi, K.B. Mendes, G.A.A. Leite, A. Zamoner, G.D. Kraak, F.R.M.B. Silva, “Pyriproxyfen induces intracellular calcium overload and alters antioxidant defenses in *Danio rerio* testis that may influence ongoing spermatogenesis”, *Environmental Pollution*, 270: 116055, 2021.
- [31] J. Jiang, L. Chen, X. Liu, L. Wang, S. Wu, X. Zhao, “Histology and multi-omic profiling reveal the mixture toxicity of tebuconazole and difenoconazole in adult zebrafish”, *Science of The Total Environment*, 795(15): 148777, 2021.

Gelibolu Hava Kalitesinin Belirlenmesi

Sibel MENTEŞE^{1*} , Müge AYDIN¹ 

ÖZET

Çanakkale'nin Gelibolu ilçesinde hava kalitesi düzeylerinin belirlenmesine yönelik herhangi bir çalışma bulunmamaktadır. Konumu itibariyle özellikle Gelibolu feribot iskelesi çevresindeki karayolunda ve Çanakkale Boğaz hattında deniz trafiği hava kirletici potansiyeli olan önemli kaynaklardır. Bu çalışmanın amacı; özellikle trafik kaynaklı hava kirliliğinin göstergelerinden olan uçucu organik bileşik (UOB) düzeylerinin Gelibolu'da farklı örnekleme noktalarında mekânsal ve zamansal olarak belirlenmesidir. İlaveten, Gelibolu'da hava kalitesi izleme istasyonu bulunmaması nedeniyle, en yakınındaki Çanakkale-Merkez ve Lapseki istasyonlarında ölçülen hava kirletici düzeyleri ile meteorolojik parametrelerin arasındaki ilişkiler de araştırılmıştır. Gelibolu'da trafik yoğunluğuna göre belirlenen 7 örnekleme noktasından Haziran – Kasım 2020 tarihleri arasında pasif örnekleme tekniği ile 57 UOB örneği toplanmıştır ve Termal desorber – Gaz Kromatografi cihazlarında analiz edilmiştir. UOB' ler arasında hedef türler benzen, toluen ve ksilenler (BTX) ile toplam uçucu organik bileşiklerdir (TUOB). Çalışmanın sonuçlarına göre, trafik yüküne paralel olarak UOB düzeyleri çalışma boyunca mekânsal ve mevsimsel olarak değişmiştir. Özellikle ülke genelinde uygulanan COVID19 kısıtlamalarının ardından yeniden açılmalar ile birlikte trafikteki araç sayısında ve gemi/feribot seferlerinin sıklığında kademeli olarak artış olmuştur. TUOB seviyeleri çalışmanın başlangıcında $43,21 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'ten $97,81 \mu\text{g}/\text{m}^3$ seviyesine yükselmiştir. Aynı artış eğilimi benzen, toluen ve ksilenler için de gözlenmiştir. Çalışma süresince ortalama değer olarak hava sıcaklığı $23,3^\circ\text{C}$, bağıl nem %70 ve rüzgar hızı $4,5 \text{ m/s}$ olmuştur. En yüksek TUOB düzeyi feribot kullanan araçların çevre yoluna çıkan ve feribot iskelesine giden yol hattı üzerindeki G6 noktasında ($99,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ölçülmüştür. Ayrıca, çalışma boyunca Gelibolu'ya en yakın lokasyondaki iki hava kalitesi izleme istasyonunda ölçülen NO_2 seviyeleri ile UOB seviyeleri arasında bulunan pozitif anlamlı ilişki, ortak kaynak (lar) dan salınmış olabileceğine işaret etmektedir ($p < 0,05$). Genel olarak, bu çalışma hem rutin günlük trafiğin hem de yeniden açılma sonrasında feribota araç yüklemenin hava kirletici seviyelerine katkıda bulunduğunu göstermiştir. Gelibolu'da hava kalitesini belirlemeye yönelik yapılan bu ilk çalışma, özellikle Çanakkale 1915 köprüsü kullanıma geçmeden önce bölgedeki trafik kökenli hava kalitesini ortaya koymaya katkı sağlamıştır.

Article Info

*Corresponding author:

e-mail:
sibelmentese@gmail.com

Institution: ¹ Çanakkale
Onsekiz Mart University

Article history

Received: 20/08/2023

Accepted: February 08/01/2024

Available online: 03/05/2024

Anahtar Kelimeler:

Gelibolu, Hava kalitesi, Hava
kirleticiler, Uçucu organik
bileşikler

Keywords:

Gelibolu, Air quality, Air
pollutants, Volatile organic
compounds

How to Cite: S. Menteşe, M.
Aydın
" Gelibolu Hava Kalitesinin
Belirlenmesi", *Environmental
Toxicology and Ecology*, c. 4,
sayı. 1, ss. 11-25, 2024.

DOI: 10.59838/etoxec.1346416

Assessment of Gallipoli Air Quality

ABSTRACT

No study has been conducted to determine the air quality levels in Gallipoli town of Çanakkale. On the other hand, sea traffic, especially on the highway around the Gallipoli ferry port and on the Çanakkale Strait line, is potential important sources of air pollutants due to its location. The aim of this study was spatial and temporal determination of volatile organic compounds (VOCs), which is one of the indicators of traffic-induced air pollution, at different sampling points in Gallipoli. In addition, since no air quality monitoring station is available in Gallipoli, the relationships among the measured air pollutant levels, meteorological parameters and other air pollutants' levels at the two closest stations, Çanakkale-Central and Lapseki stations, were also investigated. A total of 57 VOCs samples were collected by passive sampling technique from 7 sampling points in Gallipoli, determined according to traffic density, between June and November 2020. VOC samples were analyzed by thermal Desorber – Gas Chromatography. Among VOCs, target species of this study were benzene, toluene and xylenes (BTX) and total volatile organic compounds (TVOC). According to the results of this study, VOCs levels varied spatially and seasonally throughout the study, in parallel with the traffic loads. There has been a gradual increase in the number of vehicles in traffic and the frequency of ship/ferry voyages, especially with the re-opening after the COVID19 restrictions applied throughout the country. TVOC levels increased with the start of the study from 43.21 µg/m³ to 97.81 µg/m³. The same increasing trend was observed for benzene, toluene and xylenes as well. During the study, the air temperature was 23.3°C, the relative humidity was 70%, and the wind speed was 4.5 m/s as the average value. Throughout the study, the highest TVOC level was measured at the G6 point (99.9 µg/m³), which is the sampling point on the road line leading to the road of the ferry-using vehicles and to the ferry port. In addition, the positive significant relationship between VOC levels and NO₂ levels, measured at the two air quality monitoring stations closest to Gallipoli throughout the study, indicates that both pollutants may have been released from a common source(s) ($p < 0.05$). Overall, this study showed that both routine daily traffic and vehicle loadings on the ferry after re-opening contribute to the levels of air pollutants. This study contributed to revealing the traffic-based air quality in this region, particularly right before the Çanakkale 1915 bridge was in use, the fact that it has been the first study to monitor air quality in Gallipoli.

1. GİRİŞ

Güncel olarak hava kirliliği, artan endüstriyelleşme, kentleşme ve trafik yükündeki belirgin artışın sonucu olarak dünya çapında ciddi bir halk sorunu haline gelmiştir [1,2]. En önemli hava kirleticilerinden olan partikül madde (PM), ozon (O₃), karbon monoksit (CO), kükürt dioksit (SO₂), Azot dioksit (NO₂), uçucu organik bileşikler (UOB'ler) ve aromatik hidrokarbonlar (PAH) yoğun bir endişe kaynağıdır [3]. Ülkemizde kentsel sanayileşmenin hızla gelişmesiyle birlikte, insan faaliyetlerindeki artış çoğu alanda önemli ölçüde daha yüksek antropojenik UOB emisyonlarına yol açmıştır [4,5]. Uçucu organik bileşikler, kentsel atmosferdeki en önemli hava kirletici gruplarından biridir. Yer seviyesindeki ozon, fotokimyasal oksidanlar ve duman olaylarının oluşumunda önemli rol oynar ve ekosistem için zararlıdır. Bu, özellikle fotokimyasal reaksiyonlarda yer alan ve ozonun öncüsü olan Azot monoksiti (NO) NO₂'ye oksitleyebilen ana radikal kaynakları olan toluen ve ksilenler gibi aromatik UOB'ler için geçerlidir [6]. Kentsel alanlarda araç trafiği, UOB'lerin ve özellikle benzen ve alkil benzenlerin ana kaynağıdır. BTEX bileşikleri, genel olarak merkezi

sinir hasarları ve solunum rahatsızlıklarına yol açmaktadır [7]. Havadaki benzen halkası içeren birçok bileşik kanserojenik, teratojenik veya mutajeniktir; insan vücuduna solunum yolu, cilt ve diğer yollarla doğrudan girerek insan sağlığını ciddi şekilde etkileyebilir [8,9]. Atmosferdeki benzen bileşiğinin temel kaynağı, benzinle çalışan arabalardan salınan emisyondur [10]. Benzen, Uluslararası Kanser Araştırma Ajansı (IARC) [11] ve Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı [12] tarafından insan kanserojen olarak sınıflandırılmıştır. Toluen bileşenine akut maruziyet neticesinde toksisite rapor edilmiş olup yüksek dozda kullanımı veya mesleki maruziyeti ölümlü sonuçlanabilmektedir [13]. Ksilenler petrokimya tesislerinden, yangın, sigara dumanı ve otomobillerden hava ortamına salınmaktadır. Kısa süreli maruziyet neticesinde burun, göz ve boğazda tahrişle başlayan semptomlar sonrasında nörolojik ve sindirim sistemini etkilerken; uzun süreli maruziyet solunum, dolaşım ve merkezi sinir sistemini etkilemektedir [14].

Ülkemizde UOB düzeylerini belirlemeye yönelik olarak yapılan çalışmaların genellikle kentsel ortamlarda yapılmıştır. Ankara'da UOB konsantrasyonları yol kenarı, yerleşim bölgesi ve arka plan olmak üzere üç farklı bölgede farklı mevsimlerde incelendiği bir çalışmada, ortalama değer olarak toluen 13,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ve benzen için 12,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak gözlemlendiği ve yol kenarında UOB düzeylerinin, diğer bölgelere göre oldukça yüksek olduğu belirtilmiştir [15]. İzmir havasında en sıklıkla gözlenen UOBlerin sırasıyla toluen, ksilen, benzen ve alkilbenzen olduğu ve BTX düzeylerinin diğer şehirlere göre oldukça yüksek olduğu ve taşıt emisyonlarından kaynaklandığı saptanmıştır [16]. Bursa havasındaki UOB düzeylerinin zamansal değişim gösterdiği; trafiğin yoğun olmasına bağlı olarak hafta içi günlerde daha yüksek olduğu pek çok kirletici kaynağın bulunduğu vurgulanmıştır [17]. Ankara Üniversitesinde kampüsünde benzen 2,18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, toluen 7,89 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, etilbenzen 0,85 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ve Ksilenler 2,62 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak ölçülmüştür [18]. Düzce'de UOB düzeylerinin mekansal ve mevsimsel değişiminin araştırıldığı bir çalışmada en önemli kirlilik kaynağı trafik olarak gösterilirken; özellikle benzinli – dizel motorlu taşıtların UOB emisyonlarını etkilediği vurgulanmıştır [19].

Avrupa'da ekonominin gelişmesi ve Alp bölgesinde devam eden karayolu ve tünel inşaatı nedeniyle, trafik yoğunluğundaki artışın UOB düzeylerini belirgin olarak arttırdığı gözlenmiştir [20]. Yunanistan'ın Ioannina şehrinde yapılan bir çalışmada trafik yoğunluğunun fazla olduğu saatlerde BTX bileşiklerinin daha yüksek olduğu ve benzen konsantrasyonunun 110 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 'ye kadar çıktığı belirlenmiştir [21]. Brezilya'nın Salvador şehrinde BTEX bileşiklerinin temel kaynağı olarak trafik emisyonu gösterilmiştir ve bu nedenle araç emisyonlarını kontrol etmek için etkin bir yasal düzenlemenin yapılması önerilmiştir [22]. Vietnam'da farklı karakteristiklerdeki bölgelerde yapılan bir çalışmada, en yüksek UOB düzeylerine yüksek trafik hacimli endüstriyel bölgede olduğu ve BTEX seviyelerinin trafik yoğunluğuyla paralel olarak artış gösterdiği saptanmıştır [23]. 2006-2010 yılları arasında Şanghay'da 15 ana yol ve üç örnekleme noktasında yürütülen bir çalışmada, yağış ve rüzgâr yönü gibi meteorolojik koşulların UOB düzeylerini etkilediği ve trafik yoğunluğu ile insan faaliyetlerinin yoğunluğu ile gözlenen UOB düzeyleri arasında ilişki bulunmuştur [24].

Çanakkale'nin 3 farklı ilçesinde 1 yıl süreyle gerçekleştirilen bir çalışmada, TUOB düzeyleri sırasıyla en yüksek endüstriyel nitelikteki Çan ilçesinde, trafik yoğunluğunun fazla olduğu Merkez ilçede ve kırsal nitelikteki Lapseki ilçesinde gözlenmiştir [25]. Denizel ve karasal taşıtlardan hava ortamına UOB'lerin yayıldığı bilinmektedir. Bu bağlamda, Çanakkale'nin karşılıklı olarak Çanakkale Boğazı'nda konumlanmış olan Kilitbahir ve Çanakkale İskeleleri civarında yapılan bir çalışmada ise BTEX düzeyleri benzer olarak

gözlenmiştir [26]. Çanakkale Boğazında dönemsel değişim gösteren liman trafiği ve transit gemi geçişlerinin hava kalitesini UOB kompozisyonu açısından etkileyebilir. Covid19 pandemisi nedeniyle uygulanan kapanma ve seyahat yasakları da trafik yoğunluğunu ve dolaylı olarak havadaki başta UOBler olmak üzere trafik-kaynaklı hava kirleticilerin kompozisyonunda değişikliklere yol açabilir. Gelibolu ilçesinde Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği [27] kapsamında sınır değerleri belirlenmiş olan ve genel halkın maruz kaldığı hava kirleticilerin düzeylerini ortaya koyabilecek ve klasik hava kirleticiler olarak nitelendirilen PM, SO₂, NO_x, ozon ve CO düzeylerini sürekli olarak takip eden herhangi bir otomatik veya mobil hava kalitesi izleme istasyonu bulunmaktadır. Ayrıca, denizel ve karasal trafik emisyonlarının önemli bir potansiyel kaynak olduğu bilinmesine karşın, UOBler gibi diğer önemli hava kirleticilerin düzeylerini belirlemeye yönelik de bir çalışma mevcut değildir.

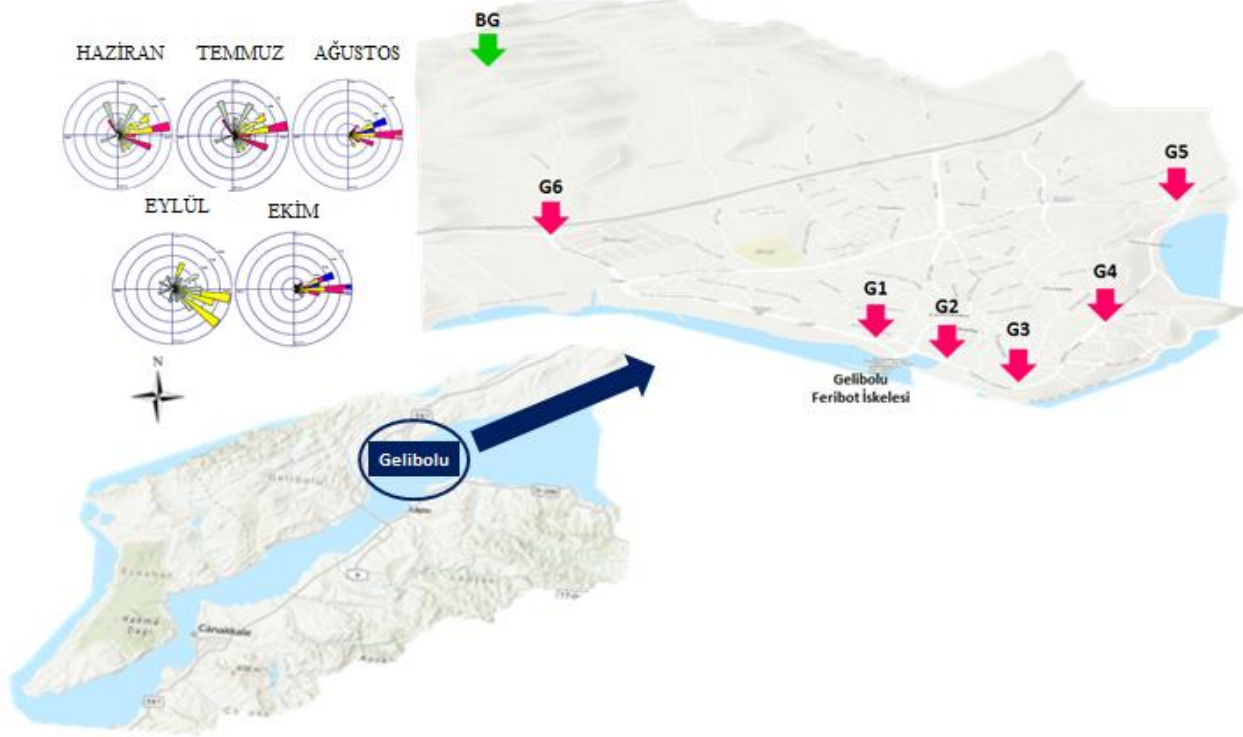
Bu çalışmanın amacı, Gelibolu limanındaki karayolu ve deniz trafik yükleri ile Covid19 pandemisi nedeniyle kapsamında sokağa çıkma ve seyahat kısıtlamaları uygulamalarının etkilerini de göz önünde bulundurarak Gelibolu'da 7 farklı örnekleme noktasında pasif örnekleme tekniği ile UOB'lerin zamansal ve mekânsal değişimini belirlemektir. Ayrıca, ölçülen UOB seviyeleri ile Çanakkale-Merkez ve Lâpseki'de bulunan otomatik hava kalitesi izleme istasyonları tarafından ölçülen hava kirleticileri ve meteorolojik parametreler arasındaki ilişkileri belirlemektir.

2. MATERYAL ve METOT

2.1. Çalışma Alanı ve Çalışma Dönemleri

Bu çalışmada Çanakkale iline bağlı Gelibolu ilçesinde 6 aylık bir periyotta UOBler ve diğer izlenen klasik hava kirleticilerin düzeyleri belirlenmiştir [28]. Çalışma, 8 farklı dönemsel periyotta (D1 - D8) kesintisiz olarak 22 Haziran ile 3 Kasım 2020 tarihleri arasında gerçekleştirilmiştir. Gelibolu ilçesi 44.598 [290] ve 806 km² yüzölçümüne sahiptir ve deniz seviyesinden 24 m yüksekte olan tarihi, turistik ve Avrupa-Asya arasında transit geçiş bölgesi özelliklerindedir [30]. Çanakkale'nin diğer ilçelerine göre, motorlu araç trafiği (Çanakkale Boğazını karşılıklı olarak kullanan arabalı feribottan karaya inen araçlar) kaynaklı özellikle ağır tonajlı araçlar açısından yoğunluğun fazla olduğu bir lokasyon olarak dikkat çekmektedir.

Örnekleme noktaları saha keşfi yapıldıktan sonra trafiğe yakınlık/uzaklık, kentsel/kırsal özellikte olma ve örnekleme noktalarının turizm/seyahat faaliyetleri çerçevesinde işlekliliği de dikkate alınarak belirlenmiştir. Çalışma kapsamında, Gelibolu feribot iskelesi ve civarında yer alan 7 pasif örnekleme noktasının 6 tanesi kent içinde (G1 - G6) ve 1 tanesi daha ziyade arka plan (BG) olarak belirlenmiştir (bkz. Şekil 1). Örnekleme noktaları gerek sürüş halindeki araçlar, gerekse park halindeki çok sayıda aracın bulunduğu lokasyonlardır. Bu noktaların temel seçilme nedeni; yıl boyunca sahip oldukları trafik yoğunluğu açısından şehrin hava kalitesini doğrudan etkileyebilecek nitelikteki büyük caddeler olmalarıdır.



Şekil 1. Örnekleme noktaları ve aylık rüzgar gülleri

2.2. Havadan UOB Örneklemesi ve Analizi

Haziran – Kasım 2020 tarihleri arasında pasif örnekleme tekniği kullanılarak örnekleme noktalarından UOB örnekleri US EPA TO17 metoduna göre toplanmıştır. Pandemi kısıtlamaları nedeniyle örnek toplama zamanları değişkenlik göstermekle birlikte, örnekler örnekleme noktalarında 10 gün ila en fazla 3 hafta süre ile bırakılmıştır. UOB örnekleri Tenax TA/Carbograph 1TD sorbentlerini içeren paslanmaz çelikten yapılmış termal desorber tüpleri içerisinde toplanmıştır [26,31]. Tüplerin ortam havasıyla temasını sağlamak ve örnekleme esnasında tüpün içinde bulunan sorbentlerin böcek, toz ve şiddetli rüzgâr gibi hava olaylarından etkilenmemesi için difüzyon kapakları kullanılmıştır [32].

Kalite kontrol prosedürü için, toplanan örneklerin en az %10'u kadar arazi şahiti ve yine en az %10'u kadar laboratuvar şahiti de örneklerin kontaminasyon kontrolü için analiz edilmiştir ve belirgin bir kontaminasyon gözlenmemiştir (sinyal/gürültü < 1,5). Çalışmada hava örneklerinde tayin edilen hedef UOB türleri öncelikli olarak Benzen, Toluen ve Ksilenler (BTX) grubudur. Havada yaygın olarak gözlenen BTX türlerinin miktar tayini için sıvı standart solüsyon kullanılarak (VOC mix-1, Dr. Ehrenstorfer) 7-noktalı kalibrasyon prosedürü uygulanmıştır ($r_2 > 0,995$) [33]. İlâveten, toplam uçucu organik bileşiklerin (TUOB) konsantrasyonları da değerlendirilmiş olup TUOB konsantrasyonları, parafin sıvı standart solüsyonu (piano paraffin mix, Supelco) kullanılarak kromatogramda yeri belirlenen C6'dan (n-hegzan) C16'ya (n-hegzadekan) kadar olan bileşiklerin toluen-eşdeğeri olarak hesaplanmıştır [25-26]. BTX bileşiklerinin tespit sınırı (LOD) yaklaşık olarak 0,05 ug/m³ olarak 7 tekrarlı analiz sonucuna göre belirlenmiştir. Örneklerde azami tespit sınırının üstünde herhangi bir UOB türü gözlenmemiştir. Bu çalışmada örnekleme noktasından örnekleme tüpleri içerisine alınan hava örnekleri Termal Desorber (Markes Inc.) - Gaz Kromatografi/Alev İyonlaşma Detektörü (Agilent Inc.) ile DB-VRX kapiler kolonu

(75 m x 0.45 mm x 2.55 µm, 350 °C) kullanılarak analiz edilmiştir. Pasif UOB örneklerinde tekil UOB konsantrasyonu standart solüsyonlar ile yapılan kalibrasyon işleminden elde edilen denklemler kullanılarak kromatogramlardan elde edilen UOB bileşiminin kütlesi ve örneklerin havada maruz kaldığı süre baz alınarak Fick'in 1. difüzyon kanununa göre ISO standardına uygun olarak ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) hesaplanmıştır [32].

2.3. Verilerin Değerlendirilmesi

Çalışmada 7 farklı örnekleme noktasından 8 farklı periyotta toplanan hava örneklerindeki BTX ve TUOB konsantrasyonları ile Çanakkale – Merkez ve Lapseki'de kurulu halde bulunan hava kalitesi izlemem istasyonlarında ölçülen hava kirletici düzeyleri ile Gelibolu'da yer alana meteoroloji istasyonundan temin edilen veriler değerlendirilmiştir. İstatistiksel analizler için Statgraphics (free version) paket programı kullanılmıştır. Tanımlayıcı istatistikler, kutu grafikleri ve kirlilik haritaları ile sonuçlar görselleştirilmiştir. Ayrıca, parametreler arasındaki ilişkiler ANOVA testi ve Spearman rank korelasyonu ile araştırılmıştır. İstatistiksel anlamlı güven seviyesi $p < 0,05$ olarak kabul edilmiştir.

3. BULGULAR

3.1. Örnekleme Takvimi ve Meteorolojik Parametrelerin Değişim

Bu çalışmada toplam 54 pasif UOB örneği örnekleme noktalarından çalışma dönemi boyunca toplanmıştır. Yürütülen çalışmadaki örnekleme periyodlarının başlama ve bitiş tarihleri ile çalışma süresince gözlenen ortalama sıcaklık, bağıl nem, hava basıncı ve rüzgar hızına ait bilgiler Tablo 1'de verilmiştir. Çalışmanın başlangıcında ortalama sıcaklık 24,9°C ve sonunda ise 16,3°C olarak; çalışma genelinde ortalama değer olarak bağıl nem %70, hava basıncı 1007,9 hPa ve rüzgar hızı 4,50 m/s olarak gözlenmiştir. Genel olarak her örnekleme periyodu (örnekleme tüplerinin değişim sıklığı) COVID19 kısıtlamaları da dikkate alınarak 15-20 gün aralığında değişmiştir.

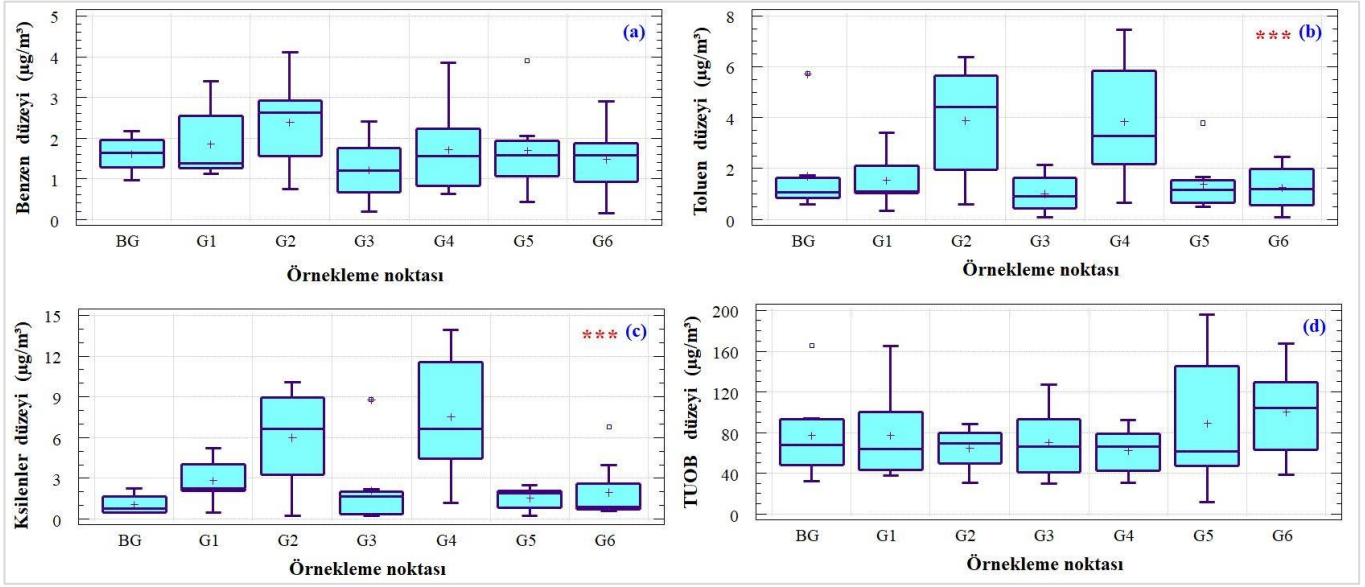
Tablo 1. Çalışma hakkında genel bilgiler

Örnekleme periyodu	Başlama tarihi	Bitiş tarihi	Ort. Sıcaklık (°C)	Ort. Bağıl nem (%)	Ort. Hava basıncı (hPa)	Ort. Rüzgar hızı (m/s)
D1	22.06	13.07	24,9	69,5	1006,2	4,95
D2	13.07	04.08	25,5	65,5	1006,4	5,33
D3	04.08	17.08	26,1	64,9	1005,9	5,75
D4	17.08	10.09	25,4	68,3	1007,1	4,59
D5	10.09	22.09	23,3	69,0	1011,0	7,19
D6	22.09	06.10	22,2	67,5	1007,3	2,44
D7	06.10	20.10	19,0	78,0	1009,7	2,86
D8	20.10	03.11	16,3	80,3	1012,6	2,56
Çalışma geneli	22.06 - 03.11.2020		23,3	70,0	1007,9	4,50

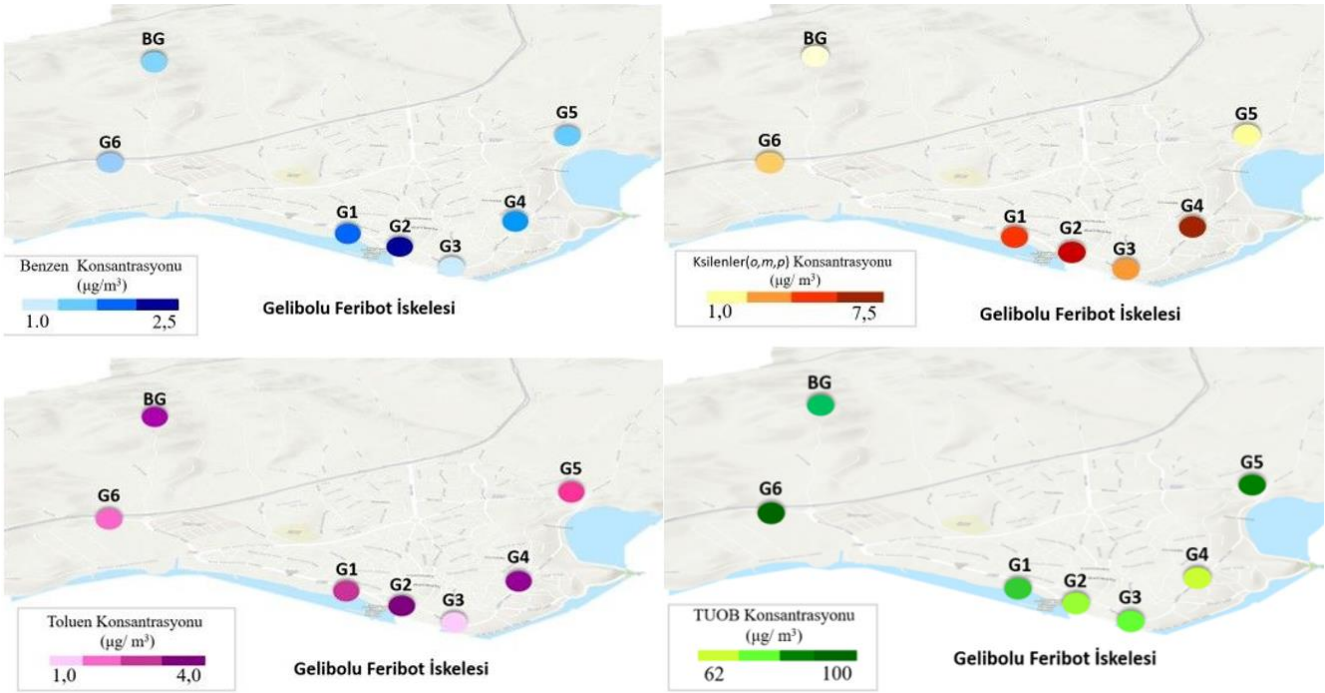
3.2. Örnekleme Noktalarındaki UOB Seviyelerinin Mekansal Değişimi

Örnekleme noktasına göre Benzen, Toluene, Ksilenler ve TUOB konsantrasyonunun çalışma boyunca mekansal değişimi ve harita üzerindeki konsantrasyon dağılımları Şekil 2 ve Şekil 3'de verilmiştir. Buna göre, çalışma boyunca gözlenen ortalama değer olarak en yüksek düzeyler Benzen için G2 noktasında (2,38

$\mu\text{g}/\text{m}^3$), Toluen için Gelibolu feribot limanının bulunduğu G2 ($3,88 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ve G4 ($3,83 \mu\text{g}/\text{m}^3$) noktalarında, Ksilenler için G4 ($7,52 \mu\text{g}/\text{m}^3$) noktasında ve TUOB için G6 ($99,90 \mu\text{g}/\text{m}^3$) noktasında gözlenmiştir. En düşük ortalama düzeyler açısından ise Benzen ($1,23 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ve Toluen ($1,02 \mu\text{g}/\text{m}^3$) için G3 noktasında, Ksilenler için BG ($1,06 \mu\text{g}/\text{m}^3$) noktasında ve TUOB için G4 ($62,23 \mu\text{g}/\text{m}^3$) noktasında gözlenmiştir. ANOVA test sonuçlarına göre, toluen ve ksilenlerin seviyelerinin örnekleme noktaları arasındaki mekânsal değişimi istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p < 0,001$).



Şekil 2 Örnekleme noktasına göre a) Benzen, b) Toluen, c) Ksilenler (*o*-, *m*-, *p*-) ve d) TUOB konsantrasyonunun mekânsal değişimi ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) (■: %25-%75, +: aritmetik ortalama, I: medyan, \top \perp : güven aralığını ve *** $p < 0,001$ göstermektedir).

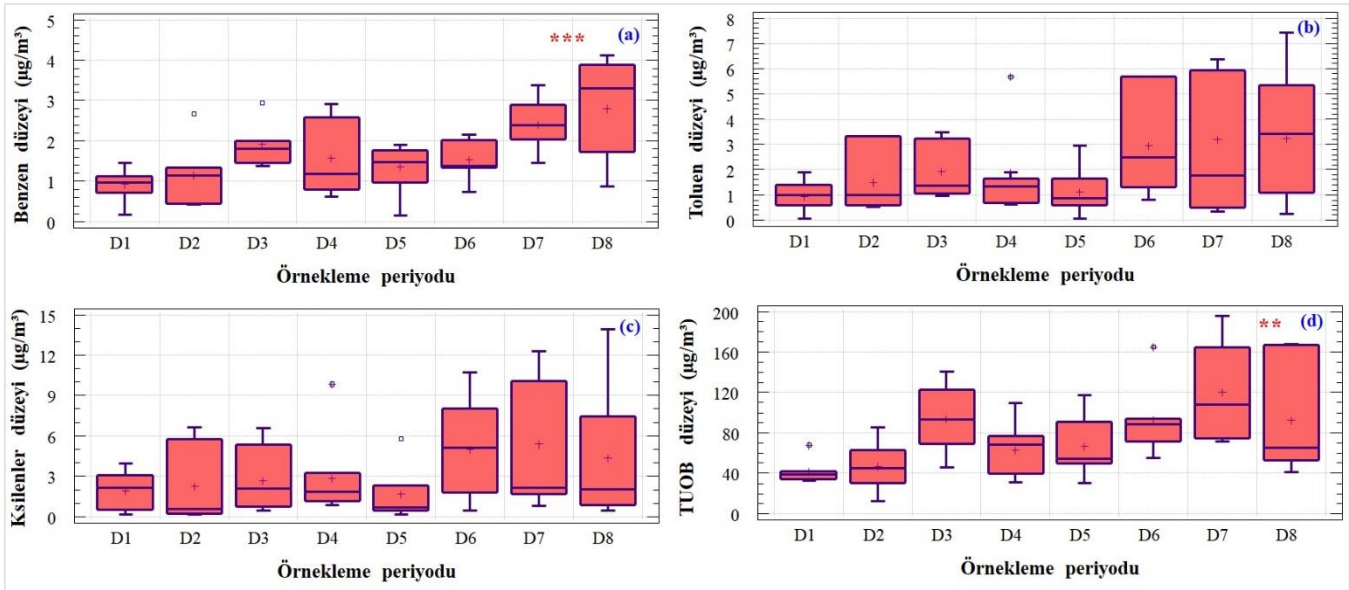


Şekil 3 Çalışma boyunca BTX ve TUOB bileşiklerinin örnekleme noktalarında ortalama konsantrasyonunun mekânsal dağılım haritası ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

3.3. UOB Seviyelerinin Zamansal Değişimi

Tüm örnekleme noktalarından alınan pasif hava örneklerinde BTX ve TUOB konsantrasyonlarının örnekleme periyoduna göre zamansal değişimi Şekil 4’de gösterilmiştir. BTX ve TUOB düzeylerinin genellikle çalışmanın başlangıcından sonuna doğru artış eğilimi gösterdiği belirlenmiştir. ANOVA testi sonuçlarına göre, Benzen ($p<0,001$) ve TUOB ($p<0,01$) düzeylerinin zamansal değişimi istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur.

Çalışma dönemi boyunca en yüksek ortalama konsantrasyonlar Benzen ($2,81 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ve Toluene ($3,22 \mu\text{g}/\text{m}^3$) için çalışmanın en son periyodu olan D8’de (20.10 – 03.11. 2020), Ksilenler ($5,41 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ve TUOB ($119,96 \mu\text{g}/\text{m}^3$) için D7’de (16.10 – 20.10.2020) gözlenirken; en düşük ortalama düzeyler Benzen ($0,92 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Toluene ($0,94 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ve TUOB ($41,66 \mu\text{g}/\text{m}^3$) için çalışmanın başlangıcı olan D1 periyodunda (22.06 - 13.07.2020), Ksilenler ($1,68 \mu\text{g}/\text{m}^3$) için ise D5 periyodunda (10.09 – 22.09.2020) gözlenmiştir. Kurban Bayramı 2020 yılında 31 Temmuz ve 3 Ağustos tarihleri arasında olup çalışma dönemi içerisine denk gelmiştir. Bayramın hemen sonrasındaki dönemde toplanan (04.08 – 17.08.2020) hava örneklerinde bir önceki dönemde toplanan hava örneklerine göre hem BTX grubu, hem de TUOB konsantrasyonlarında artış olduğu görülmüştür. COVID19 kısıtlamaları nedeniyle seyahatlerde ve günlük hayatta göreceli bir normalleşmenin başlamış olması ile trafikteki araç sayısında artış olması bu duruma neden olmuş olabilir.

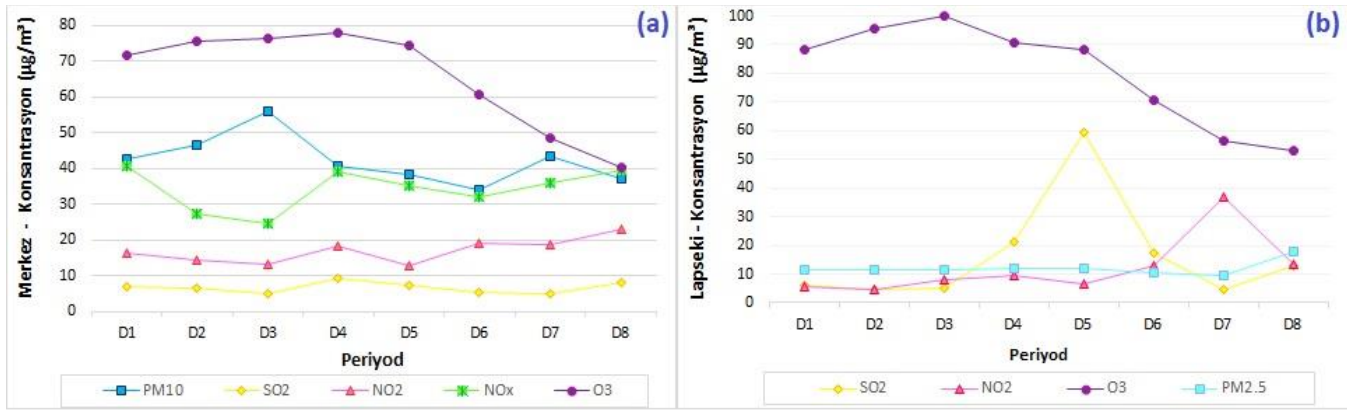


Şekil 4. Örnekleme periyoduna göre a) Benzen, b) Toluene, c) Ksilenler (o-, m-, p-) ve d) TUOB konsantrasyonunun zamansal değişimi ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) (■: %25-%75, +: aritmetik ortalama, I: medyan, T: güven aralığı; ** $p<0,01$ ve *** $p<0,001$; D1 - D8 örnekleme dönemlerini göstermektedir).

3.4. Çanakkale Merkez ve Lapseki Hava Kalitesi Ölçüm İstasyonları Sonuçlarının Çalışma Dönemine Göre Değerlendirilmesi

Şekil 5’de Çanakkale - Merkez ve Lapseki hava kalitesi ölçüm istasyonlarında ölçülen hava kirletici düzeylerinin ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) bu çalışmanın örnekleme periyotlarına göre değişimi verilmektedir. Genel olarak beklendiği üzere [34], ozon düzeylerinin güneş ışığının yoğun olduğu dönemlerde fotokimyasal olarak

ozonun oluşumunu hızlandırdığı için yüksek olduğu ve NO₂ düzeylerinin de aksi yönde değişim gösterdiği görülmektedir. Genel olarak SO₂ düzeylerinin çalışma süresince 10 µg/m³'den düşük olduğu, sadece Lapseki'de D5 periyodunda (10-22 Eylül 2020 tarihleri arasında) 59,3 µg/m³'e çıktığı görülmektedir. Bu durum, hava sıcaklığının o dönemde ısınma yakıtı olarak kömür ve benzeri kükürt-içerikli yakıt kullanımı için yeterince soğuk olmaması nedeniyle ani olarak başka bir kaynaktan salındığına işaret etmektedir. PM düzeylerinin ise belirgin bir artış veya azalış eğilimi göstermediği belirlenmiştir. Şekil 5'e göre, Merkez'de en yüksek konsantrasyonlar PM₁₀ için (56,1 µg/m³) D3, NO₂ (23,1 µg/m³) için D8, NO_x (40,5 µg/m³) için D1, SO₂ (9,3 µg/m³) ve Ozon (78,1 µg/m³) için D4 periyodunda; en düşük konsantrasyonlar ise PM₁₀ için (33,8 µg/m³) D6, SO₂ (5,1 µg/m³) için D3, D6 ve D7, NO₂ (12,9 µg/m³) için D5, NO_x (24,4 µg/m³) için D3 ve Ozon (40,3 µg/m³) için D8 periyodunda gözlenmiştir. Lapseki'de en yüksek konsantrasyonlar PM_{2,5} (17,88 µg/m³) ve SO₂ (59,3 µg/m³) için D5, NO₂ (36,9 µg/m³) için D7 ve Ozon (99,81 µg/m³) için D3 periyodunda; en düşük konsantrasyonlar ise PM_{2,5} (9,37 µg/m³) ve SO₂ (4,6 µg/m³) için D7, NO₂ (4,6 µg/m³) için D2 ve Ozon (53,0 µg/m³) için D8 periyodunda gözlenmiştir.



Şekil 5. Çalışma boyunca Çanakkale a) Merkez ve b) Lapseki hava kalitesi ölçüm istasyonlarında ölçülen hava kirleticilerin ortalama düzeylerine ait zaman serisi (µg/m³).

3.5. Gelibolu'da Ölçülen UOB Düzeylerinin Hava Kalitesi Ölçüm İstasyonları Sonuçları ve Meteorolojik Parametrelere Göre Değerlendirilmesi

Çalışma boyunca tüm örnekleme noktalarında belirlenen BTX ve TUOB düzeylerinin meteorolojik parametreler ile arasındaki ilişki Tablo 2'de verilmiştir. Genel olarak UOBlerin kendi arasında belirgin pozitif ilişkiler olduğu ($p < 0,05$); en güçlü ilişkinin toluen ve ksilenler arasında ($R = 0,82$ ve $p < 0,001$) olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle UOBlerin kaynaklarının benzer olduğu söylenebilir. Meteorolojik parametreler açısından ise sıcaklık ve rüzgar hızının UOB düzeyleri ile arasında negatif ilişkinin olduğu; bu durumun da özellikle soğuk dönemde (ısınma da ilave kaynak olabilir) durgun hava koşullarında UOBlerin daha fazla akümüle olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bağıl nem ile UOB düzeyleri arasında anlamlı ilişki bulunamamıştır ($p > 0,05$). Rüzgar, atmosferdeki hareketliliğin en önemli parametrelerindendir ve kirleticilerin yatayda taşınımını, yani seyrelmelerini sağlamaktadır. Rüzgâr hızı arttıkça, kirletici konsantrasyonlarında azalma meydana gelmektedir. Özellikle deniz gibi bir bölgeden gelen hava akımlarının UOB konsantrasyonlarında azaltıcı etkisi bulunmaktadır ve atmosferdeki UOBlerin düzeyleri hava sıcaklığı ile ters orantılıdır [35,36].

Tablo 2. BTX ve TUOB düzeyleri ile meteorolojik parametreler arasındaki ilişki

Değişken	Benzen	Toluen	Ksilenler	TUOB	Sıcaklık	Nem	Rüzgar hızı
Benzen	1						
Toluen	0,65***	1					
Ksilenler	0,54***	0,82***	1				
TUOB	0,56***	0,35*	0,24	1			
Sıcaklık	-0,35*	-0,20	-0,20	-0,28	1		
Nem	0,24	0,03	0,11	0,06	-0,84***	1	
Rüzgar hızı	-0,23	-0,33*	-0,31*	-0,27	0,67***	-0,41**	1

Not: Benzen, Toluen, Ksilenler ve TUOB konsantrasyonları $\mu\text{g}/\text{m}^3$ birimindedir; örnekleme döneminde ölçülen hava sıcaklığı $^{\circ}\text{C}$, bağıl nem düzeyi % ve rüzgar hızı m/s biriminde ortalama değer olarak verilmiştir. $n = 56$, tabloda * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$ ve *** $p < 0,001$ anlamlılık düzeyinde Spearman korelasyon katsayısını göstermektedir.

Çalışma süresince belirlenen BTX ve TUOB seviyelerinin, Çanakkale - Merkez ve Lapseki hava kalitesi ölçüm istasyonlarında izlenen hava kirletici seviyeleri ile aralarındaki ilişkiler sırasıyla Tablo 3 ve Tablo 4'de verilmiştir. Buna göre, hava kalitesi istasyonunda ölçülen hava kirleticilerin aralarında anlamlı ilişkiler olduğu bulunmuştur ($p < 0,05$). Merkez'de SO_2 ile NO_x arasında ($R = 0,60$ ve $p < 0,001$) ve 10 mikrometreden küçük partiküller (PM_{10}) ile Ozon ($R = 0,50$ ve $p < 0,001$) arasında; Lapseki'de ise 2,5 mikrometreden küçük partiküller ($\text{PM}_{2,5}$) ile SO_2 arasında ($R = 0,54$ ve $p < 0,001$) güçlü pozitif ilişki bulunmaktadır. Hava kalitesi istasyonlarında ölçülen hava kirleticiler ile UOBler arasında da anlamlı ilişkiler bulunmuştur ($p < 0,05$). Merkez'de NO_2 ile BTX bileşikleri arasında; Lapseki'de NO_2 ile BTX ve TUOB düzeyleri arasında pozitif anlamlı ilişki bulunmuştur ($p < 0,05$). Bu nedenle NO_2 ve UOBler arasındaki anlamlı ilişkiler, her iki hava kirletici türünün de ortak kaynak(lar)dan salındığına işaret edebilir. Benzer bir çalışma Kilitbahir-Çanakkale iskeleleri için yapılmıştır ve çalışmanın bulguları trafiğin iskele güzergahlarında önemli bir hava kirletici kaynağı olduğuna vurgu yapmıştır [26].

Tablo 3. Çalışma boyunca örnekleme noktalarında ölçülen BTX ve TUOB seviyelerinin Çanakkale-Merkez'deki hava kalitesi ölçüm istasyonunda ölçülen hava kirletici düzeyleri ile ilişkisi.

Merkez	Benzen	Toluen	Ksilenler	TUOB	PM_{10}	SO_2	NO_2	NO_x	O_3
PM_{10}	-0,04	-0,12	-0,11	-0,06	1				
SO_2	-0,18	-0,14	-0,14	-0,37	-0,51***	1			
NO_2	0,29*	0,32*	0,29*	0,25	-0,55***	0,12	1		
NO_x	-0,03	-0,08	0,05	-0,21	-0,41**	0,60***	0,46***	1	
O_3	-0,32*	-0,19	-0,20	-0,26	0,50***	0,08	-0,69***	-0,44**	1

Not: Tablodaki tüm değişkenlerin konsantrasyonları $\mu\text{g}/\text{m}^3$ birimindedir; örnekleme dönemi boyunca Çanakkale-Merkez'de kurulu olan hava kalitesi izleme istasyonunda ölçülen hava kirleticilerin ortalama düzeyleri dikkate alınmıştır. $n = 56$, tabloda * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$ ve *** $p < 0,001$ anlamlılık düzeyinde Spearman korelasyon katsayısını göstermektedir.

Tablo 4. Çalışma boyunca örnekleme noktalarında ölçülen BTX ve TUOB seviyelerinin Çanakkale-Lapseki'deki hava kalitesi ölçüm istasyonunda ölçülen hava kirletici düzeyleri ile ilişkisi.

Lapseki	Benzen	Toluen	Ksilenler	TUOB	PM _{2,5}	SO ₂	NO ₂	O ₃
PM _{2,5}	-0,09	-0,13	-0,19	-0,33*	1			
SO ₂	-0,16	-0,07	-0,08	-0,13	0,54***	1		
NO ₂	0,56***	0,38**	0,32*	0,57***	-0,21	-0,05	1	
O ₃	-0,31*	-0,20	-0,22	-0,23	0,02	-0,03	-0,67***	1

Not: Tablodaki tüm değişkenlerin konsantrasyonları $\mu\text{g}/\text{m}^3$ birimindedir; örnekleme dönemi boyunca Çanakkale-Lapseki'de kurulu olan hava kalitesi izleme istasyonunda ölçülen hava kirleticilerin ortalama düzeyleri dikkate alınmıştır. $n = 56$, tabloda * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$ ve *** $p < 0,001$ anlamlılık düzeyinde Spearman korelasyon katsayısını göstermektedir.

Çanakkale ilinin farklı lokasyonlarında daha önce yapılan hava kalitesi araştırmalarının sonuçları ile bu çalışmada Gelibolu'da 7 farklı noktada yapılan ölçümlerin ortalamaları Tablo 5'de karşılaştırmalı olarak verilmektedir. Çanakkale Boğazı'nın iki yakasında 10 farklı noktadan mevsimsel olarak 1 yıl boyunca alınan pasif UOB örneklerinin ortalamaları dikkate alındığında [33], benzer düzeyde Benzen gözlenmiştir ve Ksilenlerin bu çalışmadakinden daha düşüktür. Çanakkale Boğazının iki yakasında karşılıklı olarak konumlanmış olan Çanakkale ve Kilitbahir iskelelerinde yapılan bir çalışmada, UOB seviyeleri günlük rutin trafikten ve feribotların oluşturduğu karayolu trafiğinden kaynaklı olarak günlük, hafta içi/hafta sonu ve mekânsal olarak incelenmiş ve hava kirliliğine önemli derecede katkı sağladığı gözlenmiştir [26]. Ayrıca, ölçülen BTX ve TUOB düzeylerinin genel olarak bu çalışmadan yüksek olduğu; pandemi nedeniyle trafik yükündeki azalmanın bu farklılığa neden olduğu düşünülmektedir. Çanakkale'nin Merkez, Lapseki ve Çan ilçelerinde 1 yıllık izleme çalışmasında ölçülen TUOB düzeylerinin [25] ise bu çalışmada ölçülen TUOB düzeylerinden en az 2 kat daha yüksek olması, yine pandemi kısıtlamaları nedeniyle trafik yoğunluğundaki ve insan aktivitelerindeki azalmalar ile ilişkili olduğuna işaret etmektedir.

Tablo 5. BTX ve TUOB düzeylerinin ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Çanakkale'nin farklı lokasyonlarında yapılan diğer çalışmalar ile karşılaştırması.

Lokasyon/ilçe	Benzen	Toluen	Ksilenler	TUOB	Kaynak
Çanakkale Boğazı'nın iki yakası	1,7	3,2	1,7	-	[33]
Çanakkale iskelesi	3,5	12,0	11,5	128,8	[26]
Kilitbahir iskelesi	1,9	6,3	5,1	93,1	
Merkez ilçe	-	-	-	-	[25]
Çan ilçesi	-	-	-	-	
Lapseki ilçesi	-	-	-	-	
Gelibolu ilçesi	1,7	2,1	3,3	77,1	Bu çalışma

Düzce'de yapılan bir çalışmada pasif örnekleme yöntemi ile endüstriyel, evsel ve taşıt kaynaklı BTEX'lerin konsantrasyonları araştırılmıştır [19]. Ankara'da yapılan bir çalışmada ise kış döneminde özellikle ısınma amaçlı yakıt tüketiminden dolayı UOB seviyelerinin daha yüksek olduğu bulunmuştur [37]. Van ilinde taşıtlardan kaynaklanan hava kirleticilerden UOB başta olmak üzere dört kirletici türüne bakılmıştır ve toplam emisyon miktarlarına bakıldığında UOB emisyonunun payı 70,41 ton/yıl olarak belirlenmiştir [38]. İzmir'de UOB seviyesini belirlemek için yapılan bir çalışmada taşıt emisyonlarından kaynaklı en çok

bulunan UOB türleri sırasıyla toluen, ksilen ve benzen bileşikleri olarak saptanmıştır [16]. İstanbul'da yapılan bir çalışmada, dizel araç emisyonlarının UOB düzeylerine katkı miktarları gündüz saatlerinde $7,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ve gece saatlerinde $6,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak hesaplanmıştır [39].

4. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Gelibolu Tarihi Yarımadasında yapılan ve havadaki UOB kompozisyonunu uzun süreli olarak inceleyen ilk hava kalitesi çalışması olma özelliğine sahip bu çalışma sonrasında bölgedeki BTX emisyonlarının mekânsal ve dönemsel değişimleri belirlenmiştir. Çalışma sonuçlarına göre; yaz aylarında en düşük BTX bileşikleri gözlenirken, en yüksek BTX bileşikleri sonbahar aylarında gözlenmiştir. Çalışma genelinde Gelibolu'daki tüm örnekleme noktalarında Benzen $1,71 \pm 0,92 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Toluene $2,10 \pm 1,88 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ve Ksilenler $3,28 \pm 3,42 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ve TUOB $77,14 \pm 41,09 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak bulunmuştur(ortalama \pm standart sapma) . Bu çalışma ilk planlandığında COVID19 salgını henüz başlamamış olduğu için, örneklemeler başladığında ise salgın nedeniyle pandemi öncesine göre günlük hayatın tamamen farklı olduğu bir dönem söz konusu olmuştur. Pandemi öncesinde bölgedeki hava kalitesinin belirlenmemiş olması nedeniyle, pandeminin gerek ölçüm yapılan hava kirleticilere, gerekse bölgedeki trafik yoğunluğuna etkisinin karşılaştırılması olarak belirlenmesi mümkün olamamıştır. Bu çalışmada Gelibolu liman ve çevresinde hem günlük rutin trafiğin, hem de araçların feribota yüklenmesi nedeniyle dolaylı olarak karayolu trafiğinin UOB seviyelerine önemli katkısı olduğu ve şehir merkezinde yaşayan insanların sürekli UOB'lere maruz kaldıkları belirlenmiştir. Bu çalışma şimdiye kadar herhangi bir hava kalitesi araştırması yapılmamış Gelibolu için ilk çalışma olduğundan sonuçların bu güzergâhlardaki trafik kökenli hava kalitesinin zaman içinde, özellikle Çanakkale 1915 köprüsü kullanılmaya başlamadan önceki durumu ortaya koymada katkısı olacağı düşünülmektedir.

Finansman

Bu çalışma Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) tarafından desteklenmiştir. Proje Numarası: FYL-2020-3131.

Çıkar Çatışması/Ortak Çıkar Beyanı

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması veya ortak çıkar beyan edilmemiştir.

Yazar(lar)ın Katkısı

İlk yazar %55, ikinci yazar %45 katkıda bulunmuştur.

Etik Kurul Onayı

Bu çalışma etik kurul izni veya herhangi bir özel izin gerektirmez.

Araştırma ve Yayın Etiği Bildirgesi (Zorunlu alan)

Yazarlar, makalenin tüm süreçlerinde Environmental Toxicology and Ecology Dergisinin bilimsel, etik ve alıntı kurallarına uyduklarını ve toplanan veriler üzerinde herhangi bir tahrifat yapmadıklarını beyan ederler. Ayrıca karşılaşılabilecek etik ihlallerden Environmental Toxicology and Ecology ve yayın kurulunun hiçbir sorumluluğu olmadığını ve bu çalışmanın Environmental Toxicology and Ecology dışında herhangi bir akademik yayın ortamında değerlendirilmediğini beyan ederler.

REFERANSLAR

- [1] H. R. Ghaffari, Z. Kamari, M. S. Hassanvand, M. Fazlzadeh, M. Heidari. “Level of air BTEX in urban, rural and industrial regions of Bandar Abbas”, Iran; indoor-outdoor relationships and probabilistic health risk assessment. *Environmental Research*, 200, 111745, 2021.
- [2] R. M. Harrison, J. Allan, D. Carruthers, M. R. Heal, A. C. Lewis, B. Marner, A. Williams, A. “Non-exhaust vehicle emissions of particulate matter and VOC from road traffic: A review”. *Atmospheric Environment*, 118592, 2021.
- [3] X. Han, L. P. Naeher. “A review of traffic-related air pollution exposure assessment studies in the developing world. *Environment international*”, 32(1), 106-120, 2006.
- [4] B. Li, S. S.S H. Ho, X. Li, L. Guo, ... & X. Fang. “A comprehensive review on anthropogenic volatile organic compounds (VOCs) emission estimates in China: comparison and Outlook”. *Environment International*, 156, 106710, 2021.
- [5] M. Dörter, M. Odabasi, S. Yenisoy-Karakaş.. “Source apportionment of biogenic and anthropogenic VOCs in Bolu plateau”. *Science of The Total Environment*, 731, 139201, 2023.
- [6] G. Eryılmaz. “İstanbul’da Gece Ozonu”, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2001.
- [7] X. Cao, Z. Yao, X. Shen, Y. Ye, X. Jiang. “On-road emission characteristics of UOBs from light-duty gasoline vehicles in Beijing, China.” *Atmospheric Environment*, 124, 146-155, 2016.
- [8] X. Lyu, H. Guo, Y. Wang, F. Zhang, K. Nie, J. Dang, ... & G. Zhang. “Hazardous volatile organic compounds in ambient air of China”. *Chemosphere*, 246, 125731, 2020.
- [9] S. Wang, Y. Yan, X. Gao, H. Zhang, Y. Cui, Q. He,... & X. Wang. “Emission Characteristics and Health Risks of Volatile Organic Compounds (VOCs) Measured in a Typical Recycled Rubber Plant in China”. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(14), 8753, 2022.
- [10] H. Skov, A. B. Hansen, G. Lorenzen, H. V. Andersen, P. Løfstrøm, C. S. Christensen. “Benzene exposure and the effect of traffic pollution in Copenhagen, Denmark”. *Atmospheric Environment*, 35(14), 2463-2471, 2001.
- [11] IARC. “Some industrial chemicals and dyestuffs”. *IARC Monogr Eval Carcinog Risk Chem Hum*, PMID:6957379, 29: 1–398, 1982.
- [12] US EPA. 2012. “Benzene” <https://www.epa.gov/sites/default/files/2016-09/documents/benzene.pdf> erişim: 20.12.2023.
- [13] C. J. Davidson, J. H. Hannigan, S. E. Bowen, “Effects of inhaled combined Benzene, Toluene, Ethylbenzene, and Xylenes (BTEX): Toward an environmental exposure model.” *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 81, 103518, 2021.
- [14] K. Niaz H. Bahadar F. Maqbool M. Abdollahi. “A review of environmental and occupational exposure to xylene and its health concerns”, *EXCLI J*, 14: 1167-1186, 2015.
- [15] Ö. O. Kuntasal, S.A. Kılavuz, D. Karman, D. Wang, G. Tuncel. “C5–C12 volatile organic compounds at roadside, residential, and background locations in Ankara, Turkey: Temporal and spatial variations and sources.” *Journal of the Air and Waste Management Association*, 63(10), 1148-1162, 2013.

- [16] A. Muezzinoglu, M. Odabasi, L. Onat. "Volatile organic compounds in the air of Izmir, Turkey". *Atmospheric Environment*, 35(4), 753-760, 2001.
- [17] S. Yurdakul, M. Civan, Ö. Kuntasal, G. Doğan, H. Pekey, G. Tuncel. "Temporal variations of VOC concentrations in Bursa atmosphere." *Atmospheric Pollution Research*, 9(2), 189-206, 2018.
- [18] S. Yurdakul, M. Civan, G. Tuncel. "Volatile organic compounds in suburban Ankara atmosphere, Turkey: sources and variability." *Atmospheric Research*, 120, 298-311, 2013.
- [19] Z. Bozkurt, G. Küçükaçıl, N. Polat, Ö. Özden, T.D. Üzmez, E. Gaga, "Düzce İlinde Bazı İnorganik Ve Uçucu Organik Bileşik Konsantrasyonlarının Mevsimsel Ve Alansal Dağılımlarının Belirlenmesi", 6. Ulusal Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu, 7-9 Ekim 2015, İzmir.
- [20] A. S. Prévôt, J. Dommen, M. Baumle. "Influence of road traffic on volatile organic compound concentrations in and above a deep Alpine valley." *Atmospheric Environment*, 34(27), 4719-4726, 2000.
- [21] G. A. Pilidis, S. P. Karakitsios, P. A. Kassomenos. "BTX measurements in a medium-sized European city." *Atmospheric Environment*, 39(33), 6051-6065, 2015.
- [22] L. P. Cruz, D. F. Santos, I. F. dos Santos, Í. V. Gomes, A. V. Santos, K. S. Souza. "Exploratory analysis of the atmospheric levels of BTEX, criteria air pollutants and meteorological parameters in a tropical urban area in Northeastern Brazil." *Microchemical Journal*, 152, 104265, 2020.
- [23] V. T. Q. Truc, N.T.K. Oanh. "Roadside BTEX and other gaseous air pollutants in relation to emission sources." *Atmospheric Environment*, 41(36), 7685-7697, 2007.
- [24] C. J. Cai, F. H. Geng, X. X. Tie, Q. Yu, L. Peng, G. Q. Zhou. "Characteristics of ambient volatile organic compounds (VOCs) measured in Shanghai, China." *Sensors*, 10(8), 7843-7862, 2010.
- [25] S. Mentese, N. A. Mirici, T. Elbir, G. T. Tuygun, C. Bakar, M. T. Otkun, S. Oymak. "A comprehensive assessment of ambient air quality in Çanakkale city: emission inventory, air quality monitoring, source apportionment, and respiratory health indicators." *Atmospheric Pollution Research*, 11(12), 2282-2296, 2020.
- [26] S. Mentese, B. Akca, "Hot-spot summertime levels and potential sources of volatile organic compounds (VOC) on roads around Çanakkale and Kilitbahir harbors across Dardanelles strait." *Atmospheric Pollution Research*, 11(12), 2297-2307, 2020.
- [27] Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği, 2008. RG:06.06.2008-26898.
- [28] M. Aydın, "Uçucu Organik Bileşik (UOB) Kompozisyonunun Gelibolu'da Belirlenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, 2022.
- [29] TÜİK, (2021). "Türkiye İstatistik Kurumu", <https://www.tuik.gov.tr/> Erişim Tarihi: 26.12.2021.
- [30] Gelibolu Belediyesi, (2020), "Gelibolu'nun Tarihçesi." Erişim: 09.11.2021. <http://www.gelibolu.bel.tr/bpi.asp?caid=96&cid=283>
- [31] US EPA, Compendium Method TO-17, "Determination of Volatile Organic Compounds in Ambient Air Using Active Sampling Onto Sorbent Tubes", 1997.
- [32] ISO 16017-2:2003, Indoor, ambient and workplace air — Sampling and analysis of volatile organic compounds by sorbent tube/thermal desorption/capillary gas chromatography — Part 2: Diffusive

sampling ISO 16000-6, Indoor air — Part 5: Sampling strategy for volatile organic compounds (VOCs) ISO, Geneva, 2003.

- [33] S. Mentese, B. Baş. “A Year - Round Monitoring of Ambient Volatile Organic Compounds Across Dardanelles Strait”, *Journal of Chemical Metrology*, 14(2), 177-189, 2020.
- [34] D. J. Jacob, J. A. Logan, P. P. Murti. “Effect of rising Asian emissions on surface ozone in the United States”, *Geophysical Research Letters*, 26(14): 2175-8, 1999.
- [35] N. Altinkum. “Meteorolojik parametrelerin atmosferik uçucu organik bileşikleri üzerine etkisinin yapay sinir ağları ile modellenmesi”. YTÜ Davutpaşa Kampüsü Örneği.” YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2013.
- [36] İ. Çiçek, N. Türkoğlu, G. Gürgen. “Ankara’da hava kirliliğinin istatistiksel analizi”. *Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 14(2), 1-18, 2004.
- [37] S. Mentese. “Bina içi hava kalitesinin belirlenmesi ve kaynaklarının tespiti”, (Doktora tezi), Hacettepe Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara, s.456, 2009.
- [38] A. Yakın, R. Behçet. “Van ili trafik kaynaklı hava kirleticilerinin emisyon envanteri”. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 9(3), 1567-1573, 2019.
- [39] S. Demir. “İstanbul atmosferinde uçucu organik bileşik kirliliğinin kaynaklarının belirlenmesi: YTÜ Davutpaşa Kampüsü örneği” Doktora tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 2011.

Alfa-sipermetrin'in Davranışsal Toksisitesinin *Drosophila melanogaster*'de İncelenmesi

Serap KOCAOĞLU CENKÇİ¹ , Selda ÖZ^{2*} 

ÖZET

Piretroidler toksik etki potansiyellerinin düşük olması nedeni ile kullanımı tercih edilen insektisitlerdir. Alfa-sipermetrin tarım, halk ve hayvan sağlığı uygulamalarında yaygın olarak kullanılan tip 2 piretroid grubuna ait bir insektisittir. Bu çalışmada alfa-sipermetrin'in *Drosophila melanogaster*'de davranışsal toksisiteye etkisi araştırılmıştır. *Drosophila* Oregon R+ hattına ait bireylerin yumurtalarından gelişen 72±4 saatlik larvalara 0,01; 0,05; 0,1 ve 0,3 ppm dozlarında uygulanan alfa-sipermetrin'in pupa oluşturma ve pupadan çıkış başarısı, ergin birey kütle ölçümü ve negatif jeotaksis deneyleri ile davranışsal toksisitesi değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar alfa-sipermetrin'in subletal dozlarının larvaların pupa oluşturma ve pupadan çıkış başarısı üzerinde ve ergin bireylerin kütleleri üzerinde anlamlı değişikliğe neden olmadığını göstermiştir. Negatif jeotaksis deneyinden elde edilen sonuçlar ise alfa-sipermetrin'in uygulanan tüm dozlarda ergin bireylerin uçuş kabiliyetlerinde istatistiksel olarak anlamlı azalmaya neden olduğunu göstermiştir.

Investigation of Behavioural Toxicity of Alpha-cypermethrin in *Drosophila melanogaster*

ABSTRACT

Pyrethroids are preferred insecticides due to their low toxic effect potential. Alpha-cypermethrin is an insecticide belonging to type 2 pyrethroid group which is widely used in agriculture, public and animal health applications. In this study, the effect of alpha-cypermethrin on behavioural toxicity in *Drosophila melanogaster* was investigated. The behavioural toxicity of alpha-cypermethrin applied at doses of 0,01; 0,05; 0,1 and 0,3 ppm to 72±4 hours old larvae developing from the eggs of *Drosophila* Oregon R+ line individuals was evaluated by pupation and pupal emergence success, adult individual mass measurement and negative geotaxis experiments. The results obtained showed that sublethal doses of alpha-cypermethrin did not cause any significant change in pupation and pupal emergence success of larvae and mass of adult individuals. The results obtained from the negative geotaxis experiment showed that alpha-cypermethrin caused a statistically significant decrease in the flight ability of adult individuals at all doses applied.

Article Info

*Corresponding author:

e-mail: seldaaz@kku.edu.tr

Institution: ¹ Akdeniz University
² Kırıkkale University

Article history

Received: 07/03/2024

Accepted: February 24/04/2024

Available online: 03/05/2024

Anahtar Kelimeler:

Alfa-sipermetrin, *Drosophila melanogaster*, Insektisit, Nörotoksisite

Keywords:

Alpha-cypermethrin, *Drosophila melanogaster*, Insecticide, Neurotoxicity

How to Cite: S. Öz, S. Kocaoğlu Cenkcı

"Alfa-sipermetrin'in Davranışsal Toksisitesinin *Drosophila melanogaster*'de İncelenmesi", *Environmental Toxicology and Ecology*, c. 4, sayı. 1, ss. 26-37, 2024.

DOI: 10.59838/etoxec.1448491

1. GİRİŞ

Piretroid grubunda yer alan alfa-sipermetrin tarım ve ormancılık alanları ile halk ve hayvan sağlığında kullanılan yüksek aktiviteye sahip bir insektisittir [1]. Piretroidler kimyasal yapılarına göre tip 1 ve tip 2 olarak iki ana gruba ayrılırlar. Alfa-sipermetrin'in de dahil olduğu tip 2 piretroidler alfa-siyano grubu içermeleri nedeniyle tip 1 piretroidlere göre daha güçlü nörotoksik etkiye sahiptir. Yüksek insektisidal aktiviteye sahip olan piretroidler organofosforlu, organoklorlu ve karbamatlı insektisitlere göre memeliler, kuşlar ve bitkilerde toksik etkilerinin düşük olması nedeniyle kullanımları yaygın olan insektisitlerdir. Son 40 yılda kullanılan insektisitler arasında baskın bir sınıf haline gelen piretroidler dünya genelinde insektisit pazarının %25'ini oluşturmaktadırlar [2,3].

Piretroidlerin hedef olmayan organizmalarda potansiyel toksisitelerinin düşük olması daha güvenilir bulunmalarına ve daha kontrolsüz kullanımlarına neden olmaktadır [4]. Bununla birlikte araştırmalar akut ve kronik piretroid maruziyetinin insanlarda ciddi sağlık riski oluşturduğunu göstermektedir. Tip 2 piretroid zehirlenmeleri sık rastlanılan klinik vakalardandır [5]. Piretroid zehirlenmesi yaşayan hastaların % 39'unda solunum yetmezliği, düşük tansiyon, pnomani, akut böbrek hasarı, nöbet ve ölüm gibi ciddi yan etkiler meydana geldiği bildirilmiştir [6]. Cham vd. (2016) piretroid kaynaklı zehirlenme vakasında ciddi derecede kardiyotoksik etki meydana geldiğini bildirmişlerdir [7]. Bao vd. (2019) tarafından yapılan çalışmada çevresel piretroidlere kronik olarak maruz kalan yetişkin insanlarda piretroid seviyesindeki artışa bağlı olarak kardiyovasküler hastalıklara ve diğer nedenlere bağlı ölüm riskinde artış gözlemlendiği bildirilmiştir[8].

Piretroidler böceklerde sinir hücrelerinde bulunan sodyum kanallarının normal aktivitelerini kaybetmesine yol açar. İnaktive olan ya da gecikmeli olarak kapanan kanallardan daha fazla sodyum iyonu geçişiyle sinir hücresi zarının depolarize olması sonucu nörotoksik etki meydana gelir [9]. Piretroidler lipofilik karakterde olmaları nedeni ile canlının vücudundan uzun süre atılmadan kalırlar ve besin zinciri yolu ile diğer organizmalara aktarılırlar [10]. İnsanlar mesleki maruziyetin yanı sıra piretroidlerin kullanıldıkları ortamlarda ya da gıdalarda oluşturdukları kalıntılara temas ve yutma yolları ile maruz kalabilmektedirler [11]. Piretroidler böceklerde olduğu gibi memelilerde de sodyum kanallarının fonksiyonlarını bozarak nörotoksositeye neden olma potansiyeline sahiptirler [12]. Bu nedenle piretroid maruziyeti insanlarda sinir sistemi ile ilgili hastalıklar için de risk oluşturmaktadır.

Bu çalışmada yaygın kullanılan piretroid grubu insektisitlerden alfa-sipermetrin'in *Drosophila melanogaster*'de davranışsal toksisitesi değerlendirilmiştir. Alfa-sipermetrin'in *D. melanogaster*'de davranışsal toksisite üzerindeki potansiyel etkilerinin değerlendirilmesinde pupa oluşturma ve pupadan çıkış başarısı, ergin birey kütle ölçümü ve negatif jeotaksis yöntemleri kullanılmıştır. İnsan genomu ile yüksek derecede homoloji gösteren genoma sahip olan *D. melanogaster* davranışsal toksisite araştırmalarında da yaygın olarak kullanılan bir model organizmadır [13-15].

2. MATERYAL ve METOT

Çalışmada *Drosophila* Oregon R+ hattına ait bireyler kullanılmıştır. Öncelikle tüm uygulamalar için 8 saatlik yumurtalar toplanmıştır. Yumurtalar 3. larval evreye (72±4 saat) ulaştığında çeşme suyu altında yıkanarak toplanmış ve farklı dozlarda alfa-sipermetrin ile ıslatılmış *Drosophila* instant medium içeren

uygulama tüplerine aktarılmıştır. Alfa-sipermetrin'in uygulamalarda kullanılacak dozlarının belirlenmesi için farklı konsantrasyonlar ile (0,01; 0,05; 0,1; 0,3; 0,625; 1,25; 2,5; 5; 7,5; 10; 12,5; 15; 30 ppm) ön uygulamalar gerçekleştirilmiştir. Behrens-Karber yöntemi ile 3. dönem larvalar için LD₅₀ değeri 0,62 ppm olarak saptanmıştır [16]. Davranışsal toksisite uygulamalarında LD₅₀ değerinin altında kalan dozlar (0,01; 0,05; 0,1 ve 0,3 ppm) kullanılmıştır. Deneylerin tümü 3 tekrarlı olacak şekilde planlanmıştır. Uygulamalarda kullanılan alfa-sipermetrin'in stok solüsyonu %97,6 saflıkta teknik formunun %2 asetonla çözülmesi ile hazırlanmıştır. Distile su ve alfa-sipermetrin'in çözündüğü %2 aseton sırasıyla negatif kontrol ve çözücü kontrol grubu olarak uygulanmıştır. Alfa-sipermetrin grubundan elde edilen veriler istatistiksel olarak çözücü kontrol grubu ile karşılaştırılmıştır.

2.1. Pupa Oluşturma ve Pupadan Çıkış Başarısı

Her uygulama tüpüne 50 adet 3. evre larva bırakılmış, larval dönemin sonunda kaç bireyin pupa oluşturduğu kaydedilmiştir. Ayrıca gelişim sürecini tamamlayan pupalardan çıkan ergin sinekler sayılarak pupadan çıkış başarısı belirlenmiştir. Pupa oluşturma ve ergin birey çıkışındaki başarı yüzdesel olarak da belirlenmiştir [17].

2.2. Ergin Birey Kütle Ölçümü

Ergin birey kütle ölçümü için alfa-sipermetrin ve kontrol gruplarına ait uygulama tüplerinde bulunan larvaların ergin evreye kadar gelişimlerini tamamlamaları beklenmiştir. Pupalardan çıkan ergin bireyler eterizasyon yöntemi ile bayıltılmıştır. 3 tekrarlı olarak yapılan deneyde rastgele 10 erkek ve 10 dişi seçilmiştir ve her bir tekrar için toplamda 20 bireyin kütlesi hassas terazi ile 0,0001g hassasiyette ölçülmüştür.

2.3. Negatif Jeotaksis Deneyi

Uygulama tüplerinde bulunan larvalardan gelişen 30 ergin birey buldukları ortamdaki alındıktan sonra eterizasyon yöntemi ile 10 cm uzunluğundaki tüplere aktarılmıştır. Deneyin gerçekleştirilmesi için tüm sineklerin ayılması beklenmiştir. Daha sonra tüpün üst kısmında bulunan sineklerin tüp tabanına inmesini sağlamak için hafifçe yere vurulmuştur ve 10 sn içerisinde 10 cm'yi geçen sinekler sayılmıştır [18].

2.4. İstatistiksel Analiz

Çalışmadan elde edilen verilerin normal dağılım gösterip göstermediği Kolmogorov-Smirnov/Shapiro-Wilk normallik testleri ile analiz edilmiştir. Ergin birey kütlelerinin normal dağılım gösterdiği, pupa oluşturma, pupadan çıkış başarısı ve negatif jeotaksis sonuçlarının normal dağılım göstermediği tespit edilmiştir. Normal dağılım gösteren ergin birey kütlelerinin uygulama gruplarına göre karşılaştırılmasında parametrik testlerden tek yönlü varyans analizi (one-way ANOVA) kullanılmıştır. Varyans analizi sonucunda gruplar arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmadığından ($p>0,05$) çoklu karşılaştırma testlerinin (post-hoc testi) yapılmasına gerek kalmamıştır. Normal dağılım göstermeyen pupa oluşturma, pupadan çıkış başarısı ve negatif jeotaksis verileri non-parametrik Kruskal-Wallis testi ile değerlendirilmiştir. Gruplar arası anlamlılığın karşılaştırılmasında Mann-Whitney U testi kullanılmıştır.

İstatistiksel anlamlılık için $p < 0,05$ değeri kabul edilmiştir. Tüm istatistiksel hesaplamalarda veriler IBM SPSS 23 paket programı kullanılarak analiz edilmiştir.

3. BULGULAR

Uygulamalarda kullanılan alfa-sipermetrin dozları hazırlanırken %2 aseton çözeltisi kullanılmıştır. Dolayısıyla uygulama sonuçları %2 aseton ile karşılaştırılarak istatistiksel analizler yapılmıştır. Ancak asetonun uygulama sonuçlarına etkisini belirlemek için asetonun istatistiksel karşılaştırılması distile su ile yapılmıştır. Yapılan tüm deneysel gruplar için %2 aseton çözeltisi istatistiksel olarak anlamlı sonuçlar göstermemiştir.

3.1.Pupa Oluşturma ve Pupadan Çıkış Başarısı

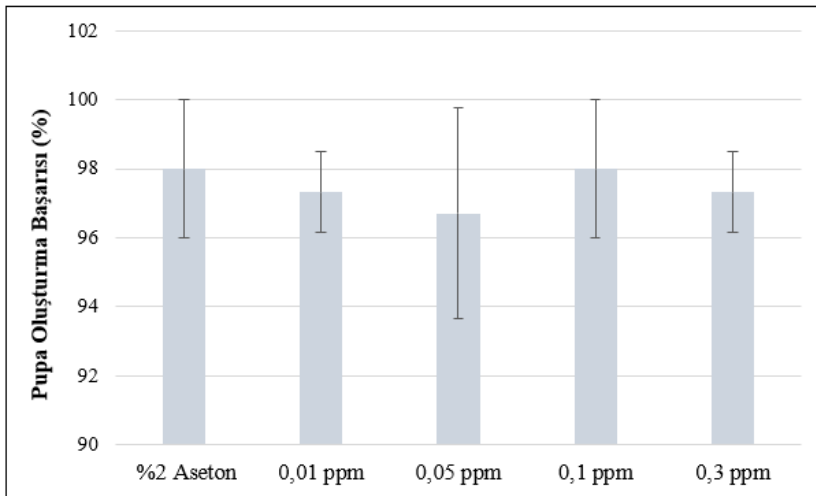
Pupa oluşturma ve pupadan çıkış başarısı için yapılan uygulamalardan elde edilen verilerin normal dağılım göstermediği belirlenmiş ve sonrasında veriler non-parametrik testlerden Kruskal-Wallis testi ile analiz edilmiştir.

Uygulama sonrasında larvaların pupa evresine geçme başarıları çözücü kontrol grubuyla karşılaştırıldığında istatistiksel anlamda farklılık olmadığı bulunmuştur ($p > 0,05$) (Tablo 1). Pupa oluşturma başarı yüzdelерinin dozlar arasında birbirine çok yakın olduğu görülmektedir (Şekil 1).

Tablo 1. Pupa oluşturma başarısı deneyinden elde edilen verilerin istatistiksel analiz sonuçları

Kimyasallar	SO	sd	χ^2	p
Distile Su	11,00			
%2 Aseton	10,50			
0,01 ppm alfa-sipermetrin	8,67	5	1,027	0,960
0,05 ppm alfa-sipermetrin	7,67			
0,1 ppm alfa-sipermetrin	10,50			
0,3 ppm alfa-sipermetrin	8,67			

SO: sıra ortalaması, sd: serbestlik derecesi



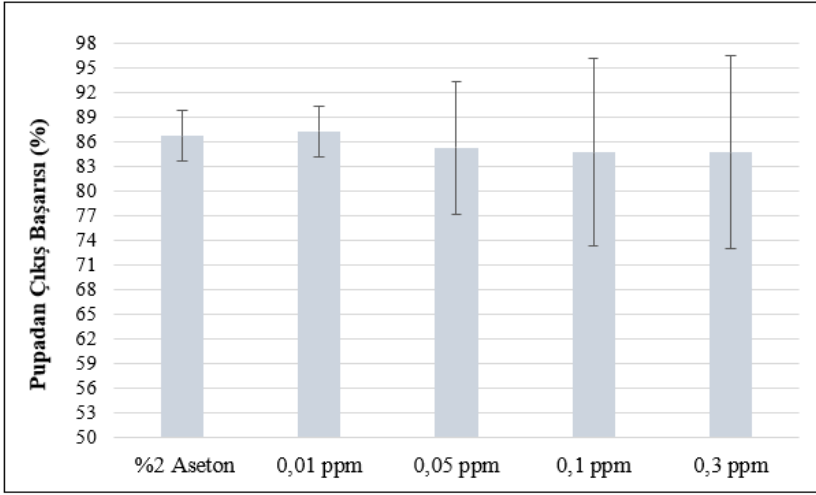
Şekil 1 Pupa oluşturma başarısı

Pupadan çıkarak ergin hale gelebilen bireylerin sayıları çözücü kontrol grubu ile karşılaştırıldığında istatistiksel olarak farklılık bulunmamıştır ($p>0,05$) (Tablo 2). Pupadan çıkış yüzdeleri karşılaştırıldığında istatistiksel olarak anlamlı bulunmasa da doza bağlı bir azalmanın olduğu görülmektedir (Şekil 2).

Tablo 2. Pupadan çıkış başarısı deneyinden elde edilen verilerin istatistiksel analiz sonuçları

Kimyasallar	SO	sd	χ^2	p
Distile Su	10,00			
%2 Aseton	9,50			
0,01 ppm alfa-sipermetrin	10,17	5	0,279	0,998
0,05 ppm alfa-sipermetrin	9,83			
0,1 ppm alfa-sipermetrin	9,33			
0,3 ppm alfa-sipermetrin	8,17			

SO: sıra ortalaması, sd: serbestlik derecesi



Şekil 2 Pupadan çıkış başarı yüzdesi

3.2. Ergin Birey Kütle Ölçümü

Yapılan uygulamalardan elde edilen veriler normal dağılım göstermiştir. Bu nedenle parametrik tek yönlü varyans analizi (one-way ANOVA) yapılmıştır.

Ergin birey kütle ölçümü deneyinden elde edilen veriler incelendiğinde en yüksek alfa-sipermetrin dozu olan 0,3 ppm uygulamasında ergin birey kütle ortalamasının %2 aseton uygulamasına göre daha düşük olduğu görülmüştür (Şekil 3). Ancak çözücü kontrol grubu ve alfa-sipermetrin uygulama grupları arasında ergin bireylerin kütleleri bakımından istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığı bulunmuştur ($p>0,05$) (Tablo 3).

3.3. Negatif Jeotaksis

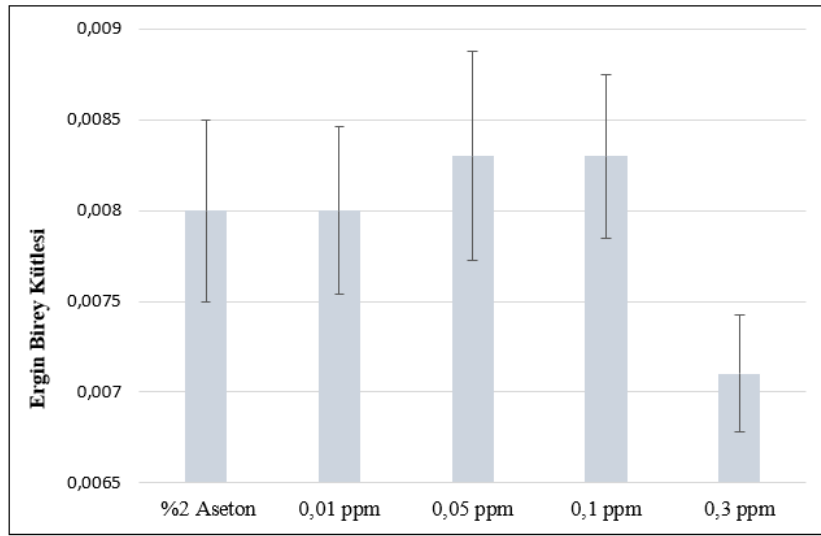
Bu deneyde 10 sn'de 10 cm'yi geçebilen sineklerin sayıları belirlenmiştir. Elde edilen verilerin normal dağılım göstermemesi nedeniyle non-parametrik testlerden Kruskal-Wallis testi ile analiz edilmiştir. Doz artışı ile ters orantılı olarak yukarı çıkan birey sayılarında azalma görülmektedir (Şekil 4). İstatistiksel

analiz sonucunda gruplar arasındaki farkın anlamlı olduğu bulunmuştur ($p < 0,05$) (Tablo 4). Farkın hangi gruplar arasında olduğunu belirlemek için yapılan Mann-Whitney U testi sonucunda alfa sipermetrinin tüm dozlarının aseton ile karşılaştırılmasının istatistiksel olarak anlamlı olduğu bulunmuştur ($p < 0,05$) (Şekil 4).

Tablo 3. Ergin birey kütle ölçümü deneyinden elde edilen verilerin istatistiksel analiz sonuçları

Varyansın Kaynağı	Kareler Toplamı	sd	Kareler Ortalaması	F	p
Gruplar Arası	0,000	5	0,000	1,675	0,215
Gruplar İçi	0,000	12	0,000		
Toplam	0,000	17			

sd: serbestlik derecesi



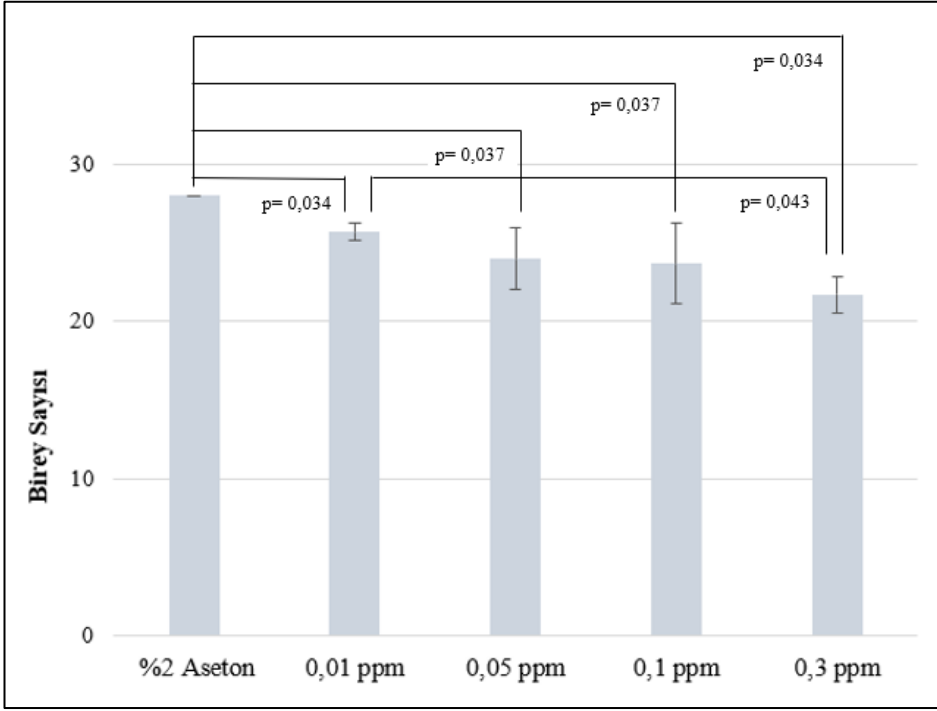
Şekil 3 Ergin birey kütlelerinin karşılaştırılması

Ayrıca yapılan ikili karşılaştırmalarda, alfa sipermetrinin en düşük dozu olan 0,01 ppm'in istatistiksel olarak 0,05 ppm ve 0,1 ppm'den farklı olmadığı ($p > 0,05$) ancak en yüksek doz olan 0,3 ppm ile karşılaştırıldığında istatistiksel olarak anlamlı ($p < 0,05$) olduğu bulunmuştur. Bununla birlikte 0,05; 0,1 ve 0,3 ppm dozları kendi aralarında anlamlı bir fark göstermemektedirler ($p > 0,05$) (Şekil 4).

Tablo 4. Negatif jeotaksis deneyinden elde edilen verilerin istatistiksel analiz sonuçları

Kimyasallar	SO	sd	χ^2	p^a	Anlamlı Fark ^b
Distile Su (1)	13,00				2-3 (p:0,034)
% 2 Aseton (2)	16,50				2-4 (p:0,037)
0,01 ppm alfa-sipermetrin (3)	10,50	5	12,679	0,027	2-5 (p:0,037)
0,05 ppm alfa-sipermetrin (4)	7,33				2-6 (p:0,034)
0,1 ppm alfa-sipermetrin (5)	6,67				3-6 (p:0,043)
0,3 ppm alfa-sipermetrin (6)	3,00				

SO: sıra ortalaması, sd: serbestlik derecesi, a: Kruskal Wallis Testi, b: Mann-Whitney U Test



Şekil 4 Negatif jeotaksis deneyinde yukarı çıkabilen bireylerin sonuçları

4. TARTIŞMA ve SONUÇ

Piretroidler tarım, halk ve hayvan sağlığında yaygın kullanımları nedeniyle insanların günlük hayatta doğrudan ya da dolaylı yollarla maruziyetlerinin yüksek olduğu insektisitlerdir. Diğer insektisitlere göre nispeten daha güvenilir kabul edilmeleri nedeniyle zararlı böcekler ile mücadelede piretroid grubu insektisitler daha çok tercih edilmektedir. Bununla birlikte literatürde bulunan araştırmalar bu grupta bulunan pek çok insektisit mutajenik, sitotoksik, genotoksik etkilerinin bulunduğunu göstermektedir [19-21]. Son yıllarda nörodejeneratif hastalıkların görülme oranındaki artış nedeniyle pestisitlerin nörotoksik etkilerini araştıran çalışmalar da artmaktadır.

Bu çalışmada alfa-sipermetrin'in subletal dozlarının *D.melanogaster*'de pupa oluşturma ve pupadan çıkış başarısı, ergin birey kütle ölçümü ve negatif jeotaksis deneyleri ile davranışsal toksisitesi incelenmiştir. Elde edilen verilere göre alfa-sipermetrin'in uygulanan dozlarının pupa oluşturma ve pupadan çıkış başarısı üzerinde olumsuz etkisi gözlenmemiştir. Ayrıca yapılan uygulamalar sonucunda alfa-sipermetrin'in ergin bireylerin kütleleri üzerinde etkisinin olmadığı da bulunmuştur. Bununla birlikte alfa-sipermetrin uygulamaları sonucunda ergin bireylerde yürütülen negatif jeotaksis deneyinin sonuçları, alfa-sipermetrin'in bireylerin uçuş aktivitelerini etkilediğini göstermiştir.

Alfa-sipermetrin tip 2 piretroid grubunda yer alan, sahip olduğu kimyasal yapısı nedeniyle nörotoksosite potansiyeli yüksek olan bir insektisittir. Literatürde alfa-sipermetrin'in toksik etkilerini inceleyen araştırma sonuçları çeşitli organizmalarda akut ve kronik toksik etkilere neden olduğunu göstermektedir. Alfa-sipermetrin ile ratlarda yapılan subakut toksisite çalışmasında LD₅₀ değeri 145 mg/kg, sucul

organizmalarda yapılan akut toksisite çalışmalarında LC₅₀ değerleri *Oreochromis niloticus*'da 5.99 µg/L, *Bufotes variabilis* (Pallas, 1769)'de 15,62 µg/L olarak bulunmuştur [22-24]. Alfa-sipermetrin'in subakut etkisinin değerlendirildiği çalışmada 30 gün süreyle oral yolla günlük 14,5 mg/kg alfa-sipermetrin uygulanan ratlarda aminotransaminaz (AST, ALT), alkalin fosfat (ALP), laktat dehidrogenaz (LDH) aktiviteleri ve kan glukoz seviyesinde önemli ölçüde artma, akciğerlerde, karaciğerde, midede, böbreklerde, testislerde ve beyincikte histopatolojik değişikliklere paralel olarak sitokrom P450 içeriğinde ve antioksidan aktivitesinde azalma gözlenmiştir [22]. Alfa-sipermetrin'in akut toksisitesinin sucul organizmalardan *Oreochromis niloticus*'da değerlendirildiği çalışmada uygulanan tüm dozlarda yetişkin bireylerde davranış değişiklikleri gözlenmiştir [23]. *Bufotes variabilis*'de yapılan akut toksisite araştırmasında alfa-sipermetrin'in ölüme, davranışsal ve morfolojik değişikliklere neden olduğu bildirilmiştir [24].

Tooming vd. (2014) araştırmalarında alfa-sipermetrin'in *Platynus assimilis*'de davranışsal etkilerini değerlendirmişlerdir. Araştırma sonuçları subletal dozlarda (0,01-100 mg/L) alfa-sipermetrin maruziyetinin kısa sürede (< 2 saat) lokomotor hiperaktiviteye, uzun sürede (> 24 saat) ise lokomotor hipoaktiviteye neden olduğunu göstermiştir [25]. Alfa-sipermetrin'in nörotoksik etki mekanizmasının *in vitro* olarak incelendiği çalışmada, alfa-sipermetrin uygulanan insan nöroblastoma hücrelerinde (SH-SY5Y) sitozolik adenilat kinaz (AK) salınımında, kaspaz 3/7 aktivitesinde, apoptoz ve oksidatif stres araçlarının gen ekspresyonunda konsantrasyona bağlı artış meydana geldiği bildirilmiştir [3].

Pestisitler ile yapılan epidemiyolojik çalışmalarda insanlarda hamilelik döneminde piretroid maruziyeti ile bebeklerde düşük doğum ağırlığı ve nörogelişimsel gecikme gibi etkiler arasında bağlantı olduğu saptanmıştır [26-28]. Ratlarda yürütülen çalışmalar gebelik ve emzirme döneminde alfa-sipermetrin maruziyetinin dişi bireylerde toksisitenin yanı sıra bu bireylerin yavrularında oksidatif stres, metabolik anomaliler gibi etkilere neden olduğunu göstermiştir [29-30]. Alfa-sipermetrin'in uzun dönemde etkilerinin değerlendirildiği çalışmada gebelik ve emzirme döneminde günlük olarak düşük dozda alfa-sipermetrin (1,50 mg/kg/day) verilen dişi ratların yavrularında vücut ağırlığında ve gıda tüketiminde azalma, plazma glukoz, trigliserid, üre, kreatinin ve aminotransferaz seviyelerinde artma şeklinde metabolik değişiklikler, karaciğer, böbrekler ve eritrositlerde protein karbonil ve malondialdehid seviyelerinde artış, antioksidan seviyelerinde ise azalma gözlenmiştir. Yetişkinlik dönemine kadar alfa-sipermetrin ile beslenmeye devam eden yavru ratlarda daha yüksek düzeyde metabolik değişiklikler ve oksidatif stres meydana geldiği saptanmıştır [30].

D. melanogaster'de yapılan davranışsal toksisite deneyleri kimyasal ajanların toksik etkilerinin değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır [17]. Literatürde bulunan çalışmalarda pestisit maruziyetine bağlı nörokimyasal değişikliklerin *D. melanogaster*'de davranışsal toksisiteye neden olduğu saptanmıştır [31]. *D. melanogaster* ve insanlarda nörotoksik maddelere verilen davranışsal yanıtların benzer olduğu bilinmektedir [32]. Bu bağlamda *D. melanogaster*'de yürütülen davranışsal toksisite araştırmaları pestisitlerin insanlardaki potansiyel nörotoksik etkilerinin değerlendirilmesinde önemlidir.

Organizmalarda erken gelişim döneminde nörotoksik kimyasallara maruziyet daha sonraki gelişim evrelerinde davranışsal bozukluklara yol açabilmektedir [33]. Organizmalarda uçmak, yürümek,

beslenmek, çiftleşmek gibi davranışların gerçekleştirilebilmesi motor kontrol ile sağlanır. Motor fonksiyonlar merkezi sinir sisteminden çıkan uyarıların kaslara iletilmesi yoluyla gerçekleştirilir. Sinir hücrelerinden kas hücrelerine uyarı iletiminde aksaklık olması halinde organizmada motor fonksiyonlarında bozulmalar meydana gelir [18]. Nörotoksik bir ajan olan alfa-sipermetrin'in *D. melanogaster*'in farklı gelişim evrelerindeki etkilerinin değerlendirildiği bu çalışmada elde edilen sonuçlar alfa-sipermetrin'e maruz bırakılan larvalardan gelişen ergin bireylerin uçuş kabiliyetlerinin negatif yönde etkilendiğini göstermektedir. Bu sonuca göre larval evrede subletal alfa-sipermetrin maruziyeti ergin evrede motor fonksiyonlarda bozulmaya neden olmuştur.

Canlılarda beyinde meydana gelen oksidatif stres ve biyokimyasal bozukluklar davranışsal toksisiteye neden olabilmektedir [34]. Literatürde bulunan çalışmalar alfa-sipermetrin'in oksidatif stresi indüklediğini göstermektedir [3,30]. Bu bağlamda çalışmamızda alfa-sipermetrin uygulama gruplarında bulunan bireylerin uçuş kabiliyetlerinde azalma olduğu yönünde gözlenen ve istatistiksel olarak anlamlı bulunan değişiklik alfa-sipermetrin'in bu bireylerde oksidatif stresi indükleyerek lokomotor aktivitelerini etkilemesi sonucu meydana gelmiş olabileceğini akla getirmektedir. Bu açıdan *D.melanogaster*'de alfa-sipermetrin'in neden olduğu davranışsal toksisitede oksidatif stresin etkisinin netleştirilebilmesi için biyokimyasal ve moleküler çalışmaların yapılmasının faydalı olacağı düşünülmektedir.

Teşekkür

Yazarlar; bu çalışmanın Akdeniz Üniversitesi Fen Fakültesi Biyoloji Bölümünde gerçekleştirilmesine imkân sağlayan Prof. Dr. Bülent KAYA'ya, katkılarından dolayı Dr. Sezgi ŞEREF'e ve Doç. Dr. Özge TUFAN ÇETİN'e, önerilerinden ve katkılarından dolayı hakemlere teşekkür eder.

Finansman

Yazarlar bu çalışmanın araştırılması, yazarlığı veya yayınlanması için herhangi bir maddi destek almamıştır.

Çıkar Çatışması/Ortak Çıkar Beyanı

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması veya ortak çıkar beyan edilmemiştir.

Yazar(lar)ın Katkısı

Yazarlar çalışmaya eşit katkıda bulunmuştur.

Etik Kurul Onayı

Bu çalışma etik kurul izni veya herhangi bir özel izin gerektirmez.

Araştırma ve Yayın Etiği Bildirgesi (Zorunlu alan)

Yazarlar, makalenin tüm süreçlerinde Environmental Toxicology and Ecology Dergisinin bilimsel, etik ve alıntı kurallarına uyduklarını ve toplanan veriler üzerinde herhangi bir tahrifat yapmadıklarını beyan ederler. Ayrıca karşılaşılabilecek etik ihlallerden Environmental Toxicology and Ecology ve yayın kurulunun hiçbir sorumluluğu olmadığını ve bu çalışmanın Environmental Toxicology and Ecology dışında herhangi bir akademik yayın ortamında değerlendirilmediğini beyan ederler.

REFERANSLAR

- [1] A.-M. Saillenfait vd., “Evaluation of the effects of α -cypermethrin on fetal rat testicular steroidogenesis”, *Reprod. Toxicol.*, c. 72, ss. 106-114, Eyl. 2017, doi: 10.1016/j.reprotox.2017.06.133.
- [2] A. Gajendiran ve J. Abraham, “An overview of pyrethroid insecticides”, *Front. Biol.*, c. 13, sy 2, ss. 79-90, Nis. 2018, doi: 10.1007/s11515-018-1489-z.
- [3] M.-A. Martínez vd., “Toxicologic evidence of developmental neurotoxicity of Type II pyrethroids cyfluthrin and alpha-cypermethrin in SH-SY5Y cells”, *Food Chem. Toxicol.*, c. 137, s. 111173, Mar. 2020, doi: 10.1016/j.fct.2020.111173.
- [4] A. DeMicco, K. R. Cooper, J. R. Richardson, ve L. A. White, “Developmental Neurotoxicity of Pyrethroid Insecticides in Zebrafish Embryos”, *Toxicol. Sci.*, c. 113, sy 1, ss. 177-186, Oca. 2010, doi: 10.1093/toxsci/kfp258.
- [5] R. Iyadurai vd., “Pyrethroid poisoning: Insecticide with mild human toxicity”, *Med. J. Armed Forces India*, Kas. 2023, doi: 10.1016/j.mjafi.2023.09.009.
- [6] Y. S. Cha vd., “Pyrethroid poisoning: features and predictors of atypical presentations”, *Emerg. Med. J.*, c. 31, sy 11, ss. 899-903, Kas. 2014, doi: 10.1136/emered-2013-202908.
- [7] E. Cham, J. Tse, Y. Chong, M. Chen, O. Wong, ve H. Fung, “A Case of Pyrethroid Poisoning with Clinical Presentation Mimicking Organophosphate Poisoning”, *Hong Kong J. Emerg. Med.*, c. 23, sy 2, ss. 47-51, Mar. 2016, doi: 10.1177/102490791602300207.
- [8] W. Bao, B. Liu, D. W. Simonsen, ve H.-J. Lehmler, “Association Between Exposure to Pyrethroid Insecticides and Risk of All-Cause and Cause-Specific Mortality in the General US Adult Population”, *JAMA Intern. Med.*, c. 180, sy 3, ss. 367-374, Mar. 2020, doi: 10.1001/jamainternmed.2019.6019.
- [9] V. Žikić vd., “Effect of α -cypermethrin and pirimiphos-methyl on wing morphology of *Tribolium castaneum* (Herbst) and *T. confusum* Jacquelin du Val: a comparative study”, *Environ. Sci. Pollut. Res.*, c. 31, sy 1, ss. 895-908, Kas. 2023, doi: 10.1007/s11356-023-30783-3.
- [10] W. Tang vd., “Pyrethroid pesticide residues in the global environment: An overview”, *Chemosphere*, c. 191, ss. 990-1007, Oca. 2018, doi: 10.1016/j.chemosphere.2017.10.115.
- [11] A.-M. Saillenfait, D. Ndiaye, ve J.-P. Sabaté, “Pyrethroids: exposure and health effects--an update”, *Int. J. Hyg. Environ. Health*, c. 218, sy 3, ss. 281-292, May. 2015, doi: 10.1016/j.ijheh.2015.01.002.
- [12] S. M. Ensley, “Chapter 39 - Pyrethrins and Pyrethroids”, içinde *Veterinary Toxicology (Third Edition)*, R. C. Gupta, Ed., Academic Press, 2018, ss. 515-520. doi: 10.1016/B978-0-12-811410-0.00039-8.
- [13] J. J. Soares vd., “Continuous liquid feeding: New method to study pesticides toxicity in *Drosophila melanogaster*”, *Anal. Biochem.*, c. 537, ss. 60-62, Kas. 2017, doi: 10.1016/j.ab.2017.08.016.
- [14] A. Fauzi, S. Zubaidah, ve H. Susanto, “The study of larva and adult behavior of *drosophila melanogaster*: Do strains affect behavior?”, *AIP Conf. Proc.*, c. 2231, 2020, doi: 10.1063/5.0002429.
- [15] M. Ulfah vd., “Insecticidal activity of essential oil of *syzygium aromaticum* flower in *drosophila*”, *Biointerface Res. Appl. Chem.*, c. 12, sy 2, ss. 2669-2677, 2022, doi: 10.33263/BRIAC122.26692677.
- [16] Behrens, B., ve G. Karber. 1983, “Mathematics for Naturalists and Agriculturalists”, PWN, Warszawa. Pp. 218.

- [17] A. Y. Kurşun, B. Yalcin, M. Güneş, G. Tagorti, ve B. Kaya, “MgO Nanopartiküllerinin *Drosophila melanogaster* Üzerindeki Davranışsal Toksikitesinin Değerlendirilmesi”, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendis. Bilim. Derg., c. 21, sy 6, Art. sy 6, Ara. 2021, doi: 10.35414/akufemubid.931922.
- [18] S. B. Manjila ve G. Hasan, “Flight and Climbing Assay for Assessing Motor Functions in *Drosophila*”, Bio-Protoc., c. 8, sy 5, s. e2742, Mar. 2018, doi: 10.21769/BioProtoc.2742.
- [19] A. Özkara, “Assessment of Mutagenic Activity of Karate Zeon Pesticide by Ames Test”, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendis. Bilim. Derg., c. 22, sy 3, Art. sy 3, Haz. 2022, doi: 10.35414/akufemubid.1069842.
- [20] L. Barrios-Arpi vd., “In Vitro Neurotoxicity of Flumethrin Pyrethroid on SH-SY5Y Neuroblastoma Cells: Apoptosis Associated with Oxidative Stress”, Toxics, c. 10, sy 3, s. 131, Mar. 2022, doi: 10.3390/toxics10030131.
- [21] M. R. R. Laborde, M. L. Larramendy, ve S. Soloneski, “Cytotoxic and genotoxic profiles of the pyrethroid insecticide lambda-cyhalothrin and its microformulation Karate® in CHO-K1 cells”, Mutat. Res. Toxicol. Environ. Mutagen., c. 891, s. 503682, Eki. 2023, doi: 10.1016/j.mrgentox.2023.503682.
- [22] S. Manna, D. Bhattacharyya, T. K. Mandal, ve S. Das, “Repeated dose toxicity of alfa-cypermethrin in rats”, J. Vet. Sci., c. 5, sy 3, s. 241, 2004, doi: 10.4142/jvs.2004.5.3.241.
- [23] R. Sarıkaya, “Investigation of Acute Toxicity of Alpha-Cypermethrin on Adult Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus* L.)”, 2009.
- [24] M. Gürkan, S. Serbest, ve S. Hayretdağ, “Acute toxicity of the synthetic pyrethroid alfa-cypermethrin on the tadpoles of variable green toad, *Bufo variabilis* (Amphibia:Anura)”, Ege J. Fish. Aquat. Sci., c. 33, sy 4, ss. 367-371, Ara. 2016, doi: 10.12714/egejfas.2016.33.4.10.
- [25] E. Tooming, E. Merivee, A. Must, I. Sibul, ve I. Williams, “Sub-lethal effects of the neurotoxic pyrethroid insecticide Fastac® 50EC on the general motor and locomotor activities of the non-targeted beneficial carabid beetle *Platynus assimilis* (Coleoptera: Carabidae)”, Pest Manag. Sci., c. 70, sy 6, ss. 959-966, 2014, doi: 10.1002/ps.3636.
- [26] J.-F. Viel vd., “Behavioural disorders in 6-year-old children and pyrethroid insecticide exposure: the PELAGIE mother-child cohort”, Occup. Environ. Med., c. 74, sy 4, ss. 275-281, Nis. 2017, doi: 10.1136/oemed-2016-104035.
- [27] E. Coker vd., “Association between prenatal exposure to multiple insecticides and child body weight and body composition in the VHEMBE South African birth cohort”, Environ. Int., c. 113, ss. 122-132, Nis. 2018, doi: 10.1016/j.envint.2018.01.016.
- [28] J. F. Shelton vd., “Neurodevelopmental Disorders and Prenatal Residential Proximity to Agricultural Pesticides: The CHARGE Study”, Environ. Health Perspect., c. 122, sy 10, ss. 1103-1109, Eki. 2014, doi: 10.1289/ehp.1307044.
- [29] L. Hocine, H. Merzouk, S. A. Merzouk, H. Ghorzi, M. Youbi, ve M. Narce, “The effects of alfa-cypermethrin exposure on biochemical and redox parameters in pregnant rats and their newborns”, Pestic. Biochem. Physiol., c. 134, ss. 49-54, Kas. 2016, doi: 10.1016/j.pestbp.2016.04.007.
- [30] H. Ghorzi, H. Merzouk, L. Hocine, ve S. A. Merzouk, “Long term biochemical changes in offspring of rats fed diet containing alfa-cypermethrin”, Pestic. Biochem. Physiol., c. 142, ss. 133-140, Eki. 2017, doi: 10.1016/j.pestbp.2017.05.010.

- [31] A. Chaudhuri vd., “Exposure to Spectracide® causes behavioral deficits in *Drosophila melanogaster*: Insights from locomotor analysis and molecular modeling”, *Chemosphere*, c. 248, s. 126037, Haz. 2020, doi: 10.1016/j.chemosphere.2020.126037.
- [32] D. E. Janner vd., “Oxidative stress and decreased dopamine levels induced by imidacloprid exposure cause behavioral changes in a neurodevelopmental disorder model in *Drosophila melanogaster*”, *Neurotoxicology*, c. 85, ss. 79-89, Tem. 2021, doi: 10.1016/j.neuro.2021.05.006.
- [33] P. Grandjean ve P. J. Landrigan, “Neurobehavioural effects of developmental toxicity”, *Lancet Neurol.*, c. 13, sy 3, ss. 330-338, Mar. 2014, doi: 10.1016/S1474-4422(13)70278-3.
- [34] A. Sarkar vd., “Role of cerium oxide nanoparticles in improving oxidative stress and developmental delays in *Drosophila melanogaster* as an in-vivo model for bisphenol a toxicity”, *Chemosphere*, c. 284, s. 131363, Ara. 2021, doi: 10.1016/j.chemosphere.2021.131363.

The Impact of Dissolved Salts on the Erosion of Physically Purified Compacted Bentonite

Süleyman BÜLBÜL^{1*} , Akın DUVAN¹ 

ABSTRACT

Compressed bentonite is an appropriate cushion material for getting rid of spent nuclear waste below the surface storage. The contact of compressed bentonite with water, its immersion in water and subsequently its swelling into the neighboring gaps are the principal processes for the development of colloid fines. In this study, to examine the impact of ionic strength on the erosion of compacted bentonite, only the ionic power values of the water contacting the bentonite were changed by keeping the flow rates constant. Sodium chloride was used to change the ionic power of the water contacting the bentonite throughout the experiment. Turbidity meter (TM) was used to determine the amount of eroded particles. An experimentation methodology is introduced. The implemented flow rates were 0.06 ml/min and 0.22 ml/min, and the selected waters were distilled water and 0.05 M NaCl ionic strength water. The dry densities of the compressed bentonite samples used were 1.67 g/cm³, 1.72 g/cm³, 1.72 g/cm³ and 1.72 g/cm³. With distilled water, the total erosion value measured at the end of the 24th day using a flow rate of 0.06 ml/min was 1002.7 mg, whereas the final erosion value measured at the end of the 24th day using water containing 0.05 M NaCl salt was 31.13 mg. In the case of distilled water, the total erosion value measured at the end of the 24th day using a flow rate of 0.22 ml/min was 1774.85 mg, while the total erosion value measured at the end of the 24th day using water containing 0.05 M NaCl salt was 73.6 mg. This demonstrates that the influence of the ionic strongness of the water on erosion is too important to be neglected.

Çözünmüş Tuzların Fiziksel Olarak Safılaştırılmış Sıkıştırılmış Bentonitin Erozyonu Üzerindeki Etkisi

ÖZET

Sıkıştırılmış bentonit, kullanılan nükleer atıkların yüzey altı depolanması için uygun bir yastık malzemesidir. Sıkıştırılmış bentonitin su ile teması, suya daldırılması ve ardından komşu boşluklara doğru şişmesi, kolloid ince tanelerin gelişimi için temel süreçlerdir. Bu çalışmada, iyonik gücün sıkıştırılmış bentonitin erozyonu üzerindeki etkisini incelemek için, akış hızları sabit tutularak sadece bentonitle temas eden suyun iyonik güç değerleri değiştirilmiştir. Deney boyunca bentonite temas eden suyun iyonik gücünü değiştirmek için sodyum klorür kullanılmıştır. Aşınan parçacık miktarını belirlemek için bulanıklık ölçer (TM) kullanılmıştır. Bir

Article Info

*Corresponding author:

e-mail:

suleymanbulbul@kmu.edu.tr

Institution: ¹ Karamanoğlu Mehmetbey University

Article history

Received: 18/01/2024

Accepted: February 25/03/2024

Available online: 03/05/2024

Anahtar Kelimeler:

Bentonit, Tampon, Erozyon, Nükleer atık bertarafı

Keywords:

Bentonite, Buffer, Erosion, Nuclear-waste disposal

How to Cite: S. Bülbül, A. Duvan

"The Impact of Dissolved Salts on the Erosion of Physically Purified Compacted Bentonite", *Environmental Toxicology and Ecology*, c. 4, sayı. 1, ss. 38-58, 2024.

DOI: 10.59838/etoxec.1422258

deney metodolojisi tanıtılmıştır. Uygulanan akış hızları 0,06 ml/dak ve 0,22 ml/dak, seçilen sular ise damıtılmış su ve 0,05 M NaCl iyonik dayanımlı su olmuştur. Kullanılan sıkıştırılmış bentonit numunelerinin kuru yoğunlukları 1,67 g/cm³, 1,72 g/cm³, 1,72 g/cm³ ve 1,72 g/cm³'tür. Damıtılmış su ile, 0,06 ml/dak akış hızı kullanılarak 24. günün sonunda ölçülen toplam erozyon değeri 1002,7 mg iken, 0,05 M NaCl tuzu içeren su kullanılarak 24. günün sonunda ölçülen nihai erozyon değeri 31,13 mg'dır. Damıtılmış su durumunda, 0,22 ml/dak akış hızı kullanılarak 24. günün sonunda ölçülen toplam erozyon değeri 1774,85 mg iken, 0,05 M NaCl tuzu içeren su kullanılarak 24. günün sonunda ölçülen toplam erozyon değeri 73,6 mg'dır. Bu da suyun iyonik kuvvetinin erozyon üzerindeki etkisinin ihmal edilemeyecek kadar önemli olduğunu göstermektedir.

1. INTRODUCTION

Compressed clay is utilized in numerous deep bedrock reservoirs to enclose the long-lived containers that contain used radioactive energy. Bentonite is preferred for its swelling performance and elasticity because of its high smectite ingredient (up to 80%). The strong adsorption potential of radioactive nuclides in bentonite is also highly beneficial, because in the event of a canister breakdown, the released radioactive nuclides will be significantly contained by absorption in the clay material [1]. The possibility of water-bearing cracks on the surface of the bentonite buffer cannot be ruled out, although the zones selected for storage in the bedrock have the smallest possible incidence of cracks [2]. As watered smectite is a mixed system itself in the mixture, particles can be produced and dispersed circumstances. It is known that the constancy of fine smectite particles is highly dependent on the subsurface water chemistry with pH and dissolved salt in water being predominant drivers. Nano-sized montmorillonite particles are more determined in water with little salt dissolved [3,4]. If colloid formation at the interface is important and circumstances are favorable to colloidal determination, montmorillonite can be removed from the buffer. If bentonite erosion continues, the expected performance of bentonite will not be met. Based on the bumper breakdown standard of SKB (Swedish Nuclear Fuel and Waste Management), an erosion of more than 5 percent of the bentonite mass is unsuitable [5]. Not only the loss of fine clay particles, but also the carrying of radioactive nuclides inside in bentonite with bentonite brings environmental concerns [6]. After an ice age, glacial meltwater with low salinity can enter the depth of storage with flows high enough not to mix with older and more saline groundwater. This possibility has attracted interest in the Scandinavian nations because a glacial period is predicted within a 10,000-year period [7,8].

Rheological properties of bentonite (mostly Na-bentonite) have been examined by many researchers [9-12]. The dissolution of bentonite fines by a block of flowing subsurface water at the contacting place of pressurized bentonite and cracked igneous rock has been experimentally examined by several investigators under a variety of geochemical circumstances [13-15]. According to the findings of the researchers, it was observed that the eroded particles increased with the rise in the flow rate.

The size and shape of colloids emitted from a natural bentonite into a low-mineral subsurface water are studied employing different colloid characterization approaches. In this study, a turbidity meter was used to measure the influence of dissolved salts on erosion. The purpose of this research is to evaluate the effect of the dissolved salts of the water contacting the bentonite during the prescribed water influx on the amount of erosion of compacted bentonite used for spent nuclear fuel deposition.

In the experimental results, when the ionic strength of the water acting on the system was increased, the amount of erosion obtained decreased significantly. In this series of experiments, not only the effect of the flow rate and the ionic strength of the water acting on the system separately, but also the effect of these two factors on the erosion of compacted bentonite was investigated by increasing them together.

2. MATERIALS AND METHODS

In this section, the properties of the material used, the method of obtaining physically purified bentonite, the experimental setup, the ionic strength of the water acting on the system and how the amount of eroded bentonite particles was determined are presented. All experiments were carried out at room temperature (26 °C).

2.1. Raw Bentonite

Bentonite utilized in these experimental studies called Voclay was acquired by Amcol firm in 2018. The composition of the materials of Voclay clay are presented in Table 1.

Table 1. Mineral ingredient of Voclay bentonite used in these experimental studies.

Assets	Percentage
Clay friction (%)	56
Smectite content (%)	86,8
Accessory minerals (%)	13,2
Quartz	3,9
Plagioclase	5,6
K-feldspar	0,9
Pyrite	0,2
Gypsum	trace
Compositions (%)	SiO ₂ = 62.30, Al ₂ O ₃ = 19.13, Fe ₂ O ₃ = 10.31, CaO = 3.70, K ₂ O = 1.39, MgO =1.52, P ₂ O ₅ = 0.38, TiO ₂ = 0.39
Water content (%)	11,8
Liquid limit (%)	435
Plastic limit (%)	51,9
Specific gravity	2,73
External surface area (m ² /g)	19,98
Total surface area(m ² /g)	527
CEC (meq/100g)	93,9
Exchangeable cations (meq/100g)	Na ⁺ =55,9, Ca ²⁺ =30,1, Mg ²⁺ = 6,9, K ⁺ =1.1

As shown in Table 1, the percentages of replaceable cations in the intermediate layer of bentonite are sodium 55.9% and calcium 30.1%. This shows that the bentonite we have is sodium bentonite. The liquid limit and plastic limit are in accordance with the values found in the literature for sodium bentonite.

2.2. Bentonite with Increased Smectite Content

Even if it is obtained from the same quarry, the percentage of the components of bentonite material as a mineral may vary. In order not to be affected by these changes in bentonite during the experiment, a physical purification process was applied to bentonite. Gong et al., (2016) presented a simple technique comprising cracking, splitting and segregation to raise the montmorillonite ingredient of low-quality bentonite from Zhejiang, China [16]. Smectite content (mainly montmorillonite) was increased from 44% to 96.5 % in their experimental studies. The protocol for enhancing the smectite ingredient is as described below:

- 3 g minced bentonite was blended with 36 g deionised water to which 0.06 g sodium hexametaphosphate (NaPO₃)₆ was admixed.
- Stirred for a day. At the end of one day of mixing, it is followed by the removal of the remaining part at the top of the polypropylene tube.
- The top part of the admixture was separated by centrifugation in a constant condition for two minutes. Bentonite with elevated smectite ingredient was formed following centrifugation at 4500 r/min for two minutes.
- After removal of the tip from the polypropylene tube, the top of the solution was collected in a glass tube and transferred to an oven for drying.

The change in the composition of the clay after physical purification is presented in Table 2.

Table 2. The change in the composition of the bentonite after physical purification in terms of element.

Ingredients	Raw bentonite	Bentonite with increased smectite content
Quartz	3,9	0,5
Plagioclase	5,6	trace
K-feldspar	0,9	0
Pyrite	0,2	0
Gypsum	trace	0
Opal-C	2,6	2,7
Smectite (Di)	86,8	96,8
Kaolinite	0	trace

The new water content value obtained after the operations was found to be 8.11 per cent. Cylindrical pressed bentonite specimens with a height of 1 cm and a radius of 1 cm were produced.

2.3. Empirical Setup and 0.05 Molar Sodium Chloride Water

Perspex, a clear glassy and robust material, was utilized to mimic the possible ingress of liquid into the spent nuclear fuel store beneath the surface. Figure 1 displays the width and length of the test equipment with 3 mm aperture.

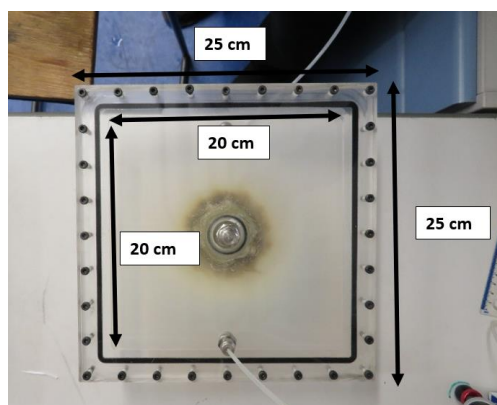


Figure 1. The width and length of the test equipment (top view)

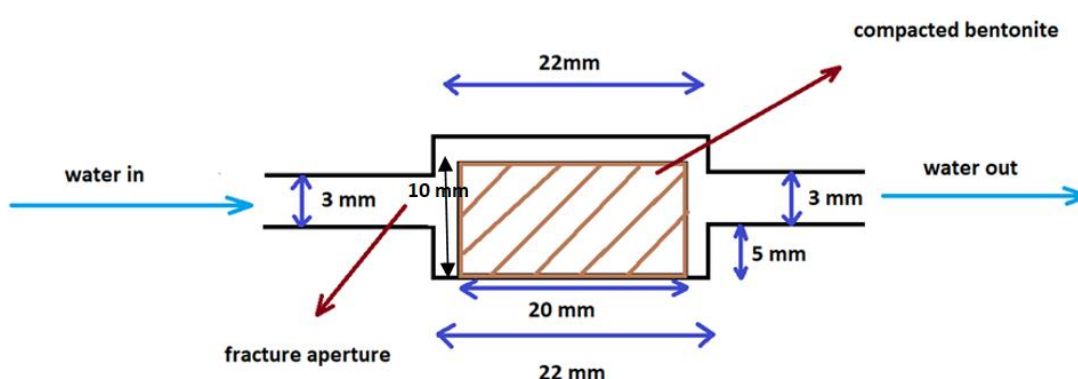


Figure 2. Cross-section of experimental apparatus

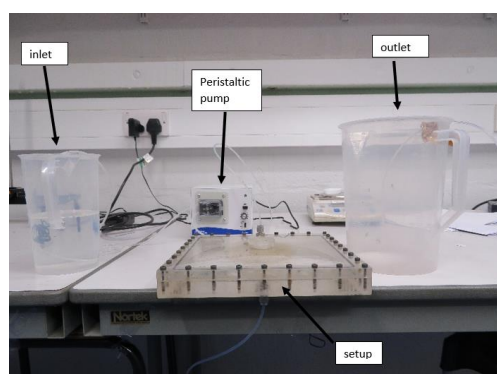


Figure 3. General view of experimental setup

Figure 3 shows the peristaltic pump, inlet, outlet and perspex containing bentonite.

2.4. Determination of the Weight of Eroded Compacted Bentonite

The Nephelometric Turbidity Unit (NTU) measures turbidity. A turbidimeter is used to measure the density of luminous dispersed at a perpendicular angle as the light travels across a sample of water. The HI98703 device is with a precision of per cent ± 2 data plus 0.02 NTU. Readings range from zero to one thousand NTU. Effluent water samples were collected on a day-to-day basis for twenty-four days and charted utilizing a turbidity meter. Following the collection of discharge water, the effluent was placed in glass tubes for turbidity meter measurements. In Figure 4, turbidity meter and glass tube were shown.

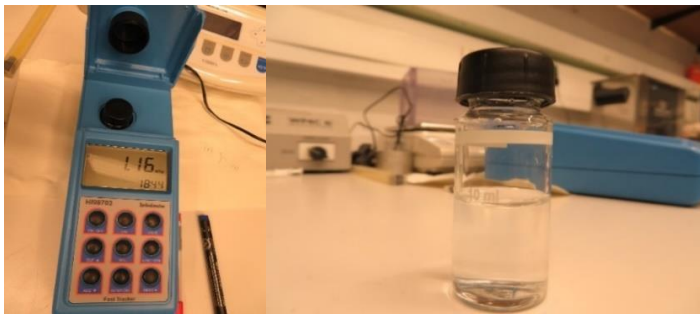


Figure 4. Turbidity meter and glass tube

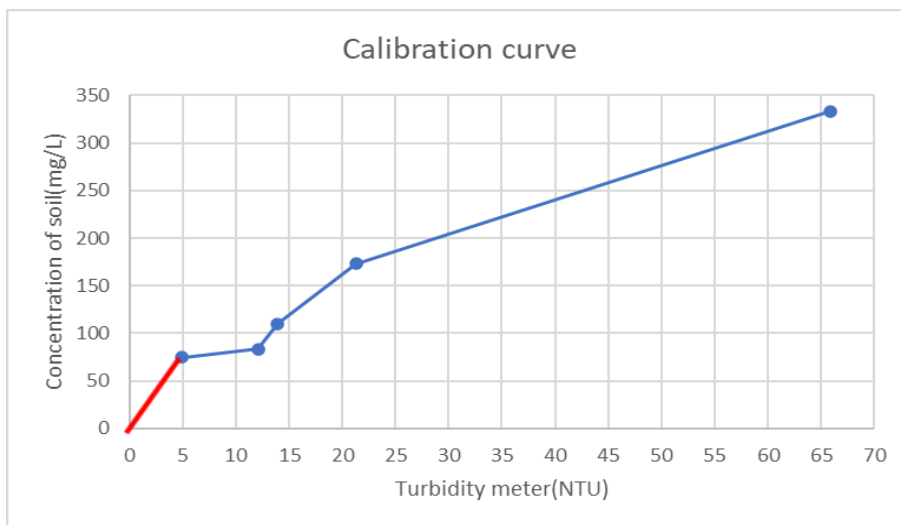


Figure 5. The relationship between The NTU vales and particle concentration

The weight of eroded bentonite material is determined from the calibration curve in Figure 6 if the NTU readings are above these numbers.

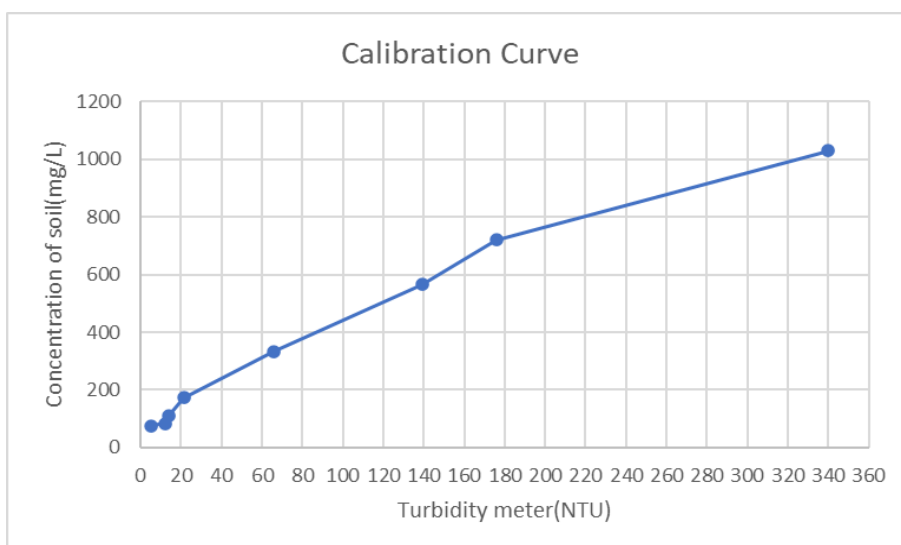


Figure 6: The relationship between The NTU values and particle concentration

Although erosion was seen in some instances throughout the tests, because NTU values were under 5, the value of 5 in Figure 5 was combined with the value of 0 and considered linear. The red line in Figure 4 shows this situation. Since no visible erosion was observed in the experiments with ionic force, this was neglected. In this case, NTU readings were used to compare tests conducted within the same conditions but with different ionic strength. The Nephelometric Turbidity Unit readings quantified along the tests are utilized in the measurement curve and the accumulation of abraded particles respective to the measured NTU value is determined. Considering the daily measured effluent volumes, this value is converted to the effluent volume of that day and erosion is obtained.

3. RESULTS AND DISCUSSION

Both distilled water and water containing 0.05 M NaCl ionic strength were applied to the system under different flow rates and the results are shown separately. The results obtained were compared.

3.1.5.75 Grams Compacted Bentonite with Dry Density 1.67 g/cm³ Under 0.061 ml/min Flow Rate (Distilled Water)

Compressed bentonite with a dry density of 1.67% is exposed to distilled water with a flow rate of 0.061 ml/min for 24 days. During this time, daily NTU values and effluent volumes are recorded. Figure 7 shows the daily NTU values obtained. During the 24-day experiment, the NTU values ranged between 25 and 150 NTU values, except for the 14th, 15th, and 16th days. The average daily NTU value is 137.8.

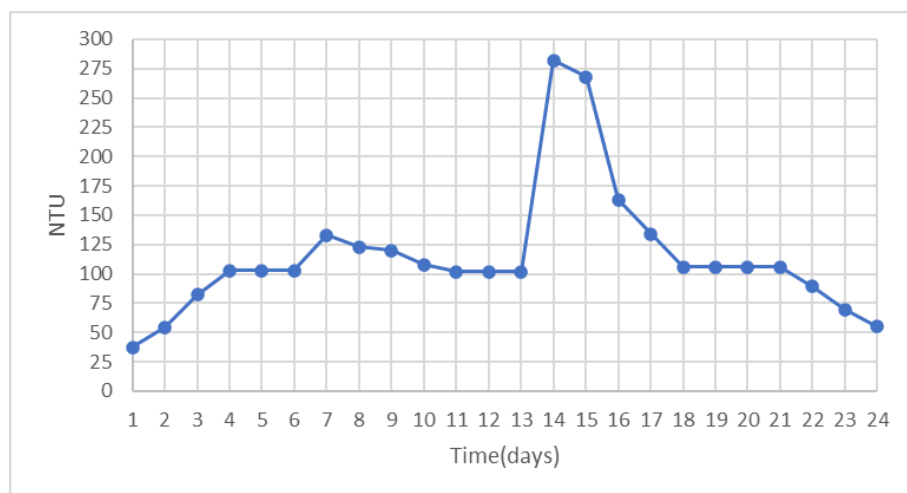


Figure 7. NTU values and time relationship per day

Figure 8 shows the daily outflow rate throughout the test. Average daily flow rate is 0.061 ml/min.

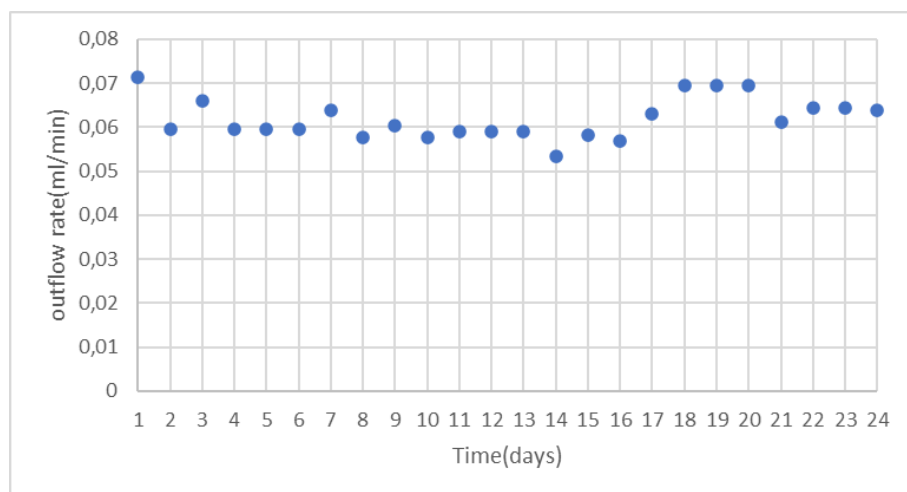


Figure 8. Outflow rate and time relationship per day

Figure 9 shows the daily volume of effluent throughout the test. The total eluted volume is 2142 ml. Average daily volume of effluent is 89.25 ml.

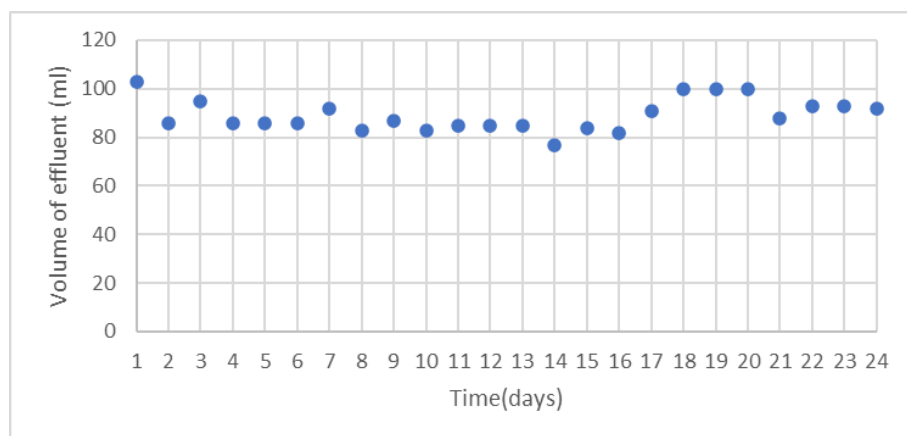


Figure 9. Volume of effluent and time relationship per day

Figure 10 shows the daily erosion rate throughout the test. Average daily erosion is 41.77 mg. During the 24 days of the test, approximately 1 g of the original 5.27 g of dry mass of bentonite initially employed was eroded, i.e., 18.97% of the initial sample mass.

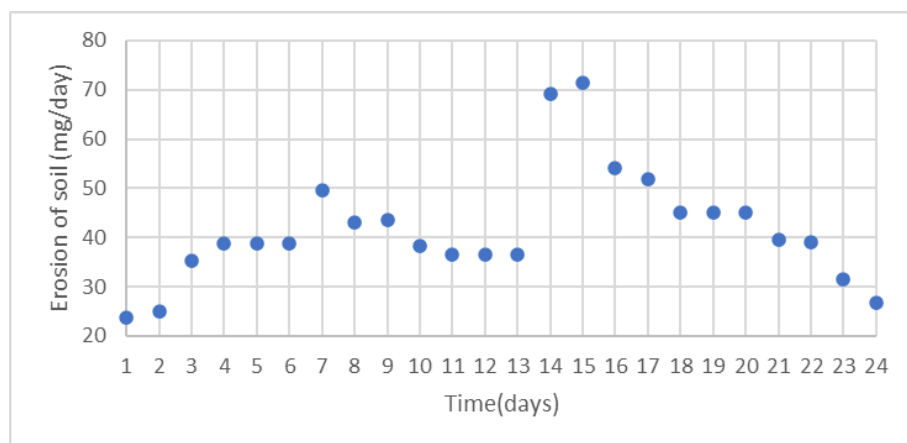


Figure 10. Erosion of soil and time relationship per day.

Figure 11 shows total erosion of soil throughout the test. During the 24 days of the test, 1002.61 mg bentonite was eroded.

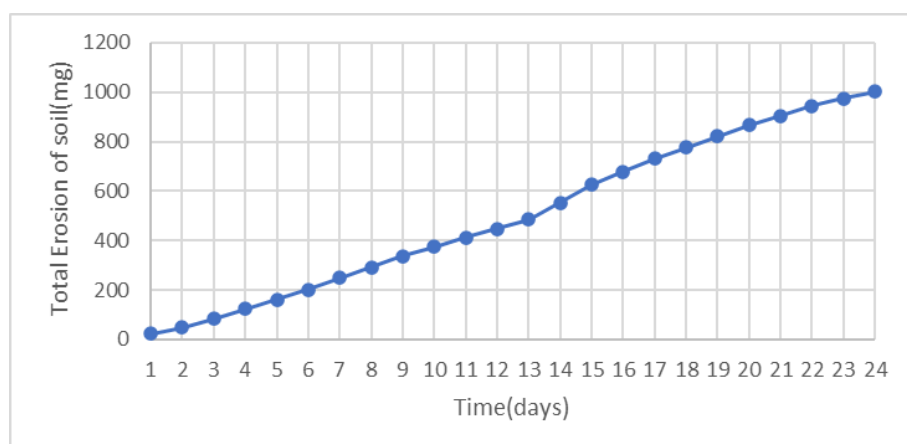


Figure 11. Total erosion of soil over time

3.2. 5.906 Grams Compacted Bentonite with Dry Density 1.72 g/cm³ Under 0.061 ml/min Flow Rate (0.05 M NaCl Water)

Compressed bentonite with a dry density of 1.72% is exposed to 0.05 M NaCl ionic strength water with a flow rate of 0.061 ml/min for 24 days. During this time, daily NTU values and effluent volumes are recorded. Figure 12 shows the daily NTU values obtained. NTU values ranged from 0.4 to 1.6 NTU during the 24-day experiment. The average daily NTU value is 0.99.

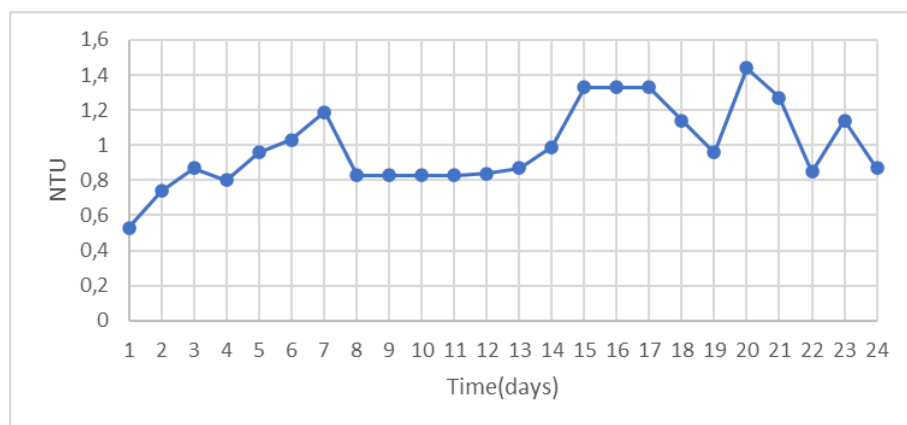


Figure 12. NTU values and time relationship per day

Figure 13 shows the daily outflow rate throughout the test. Average daily flow rate is 0.06 ml/min.

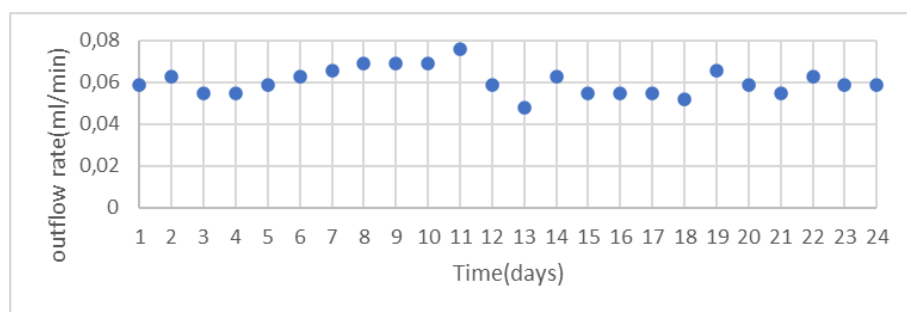


Figure 13. Outflow rate and time relationship per day

Figure 14 shows the daily volume of effluent throughout the test. The total eluted volume is 2095 ml. Average daily volume of effluent is 87.29 ml.

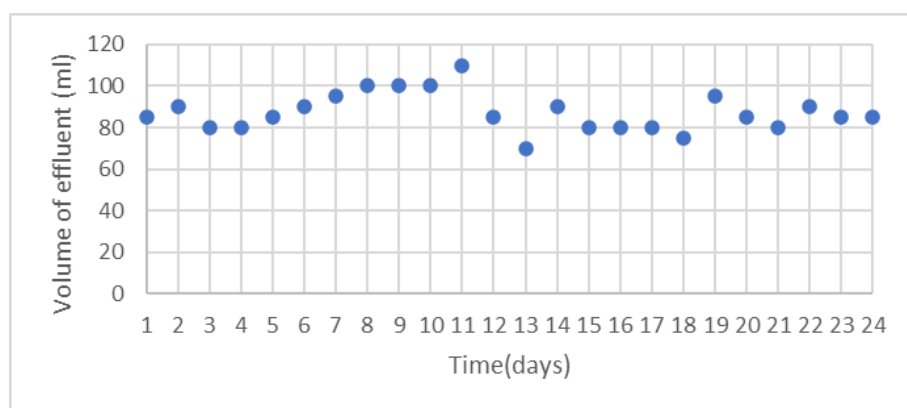


Figure 14. Volume of effluent and time relationship per day

Figure 15 shows the daily erosion rate throughout the test. Average daily erosion is 1.29 mg. During the 24 days of the test, approximately 30 mg of the original 5.42 g of dry mass of bentonite initially employed was eroded, i.e., 0.55% of the initial sample mass.

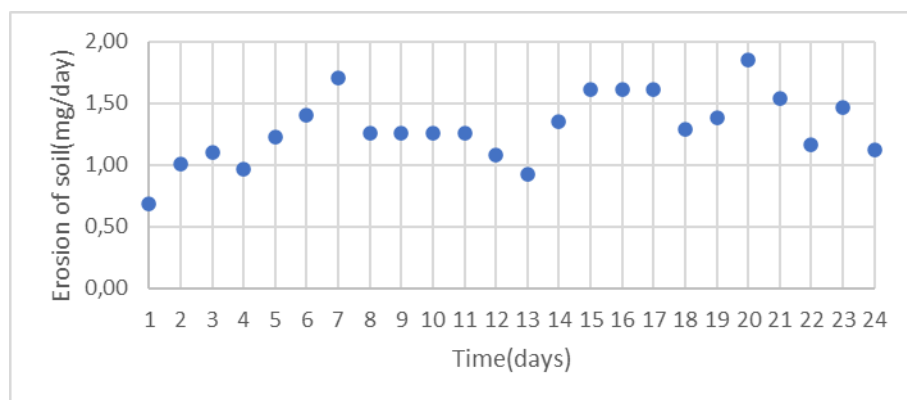


Figure 15. Erosion of soil and time relationship per day

Figure 16 shows total erosion of soil throughout the test. During the 24 days of the test, 31.13 mg bentonite was eroded.

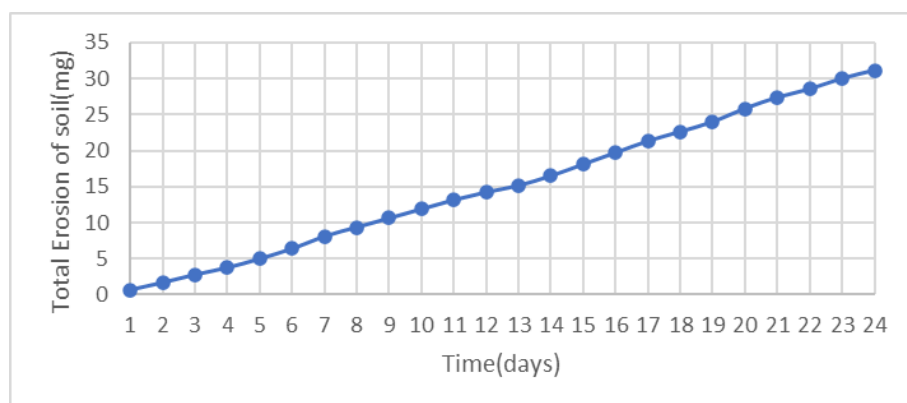


Figure 16. Total erosion of soil over time

3.3. Figure 16. Total erosion of soil over time

Compressed bentonite with a dry density of 1.72% is exposed to distilled water with a flow rate of 0.22 ml/min for 24 days. During this time, daily NTU values and effluent volumes are recorded. Figure 17 shows the daily NTU values measured. NTU values changed abruptly during the 24-day experiment. The average daily NTU value is 37.3.

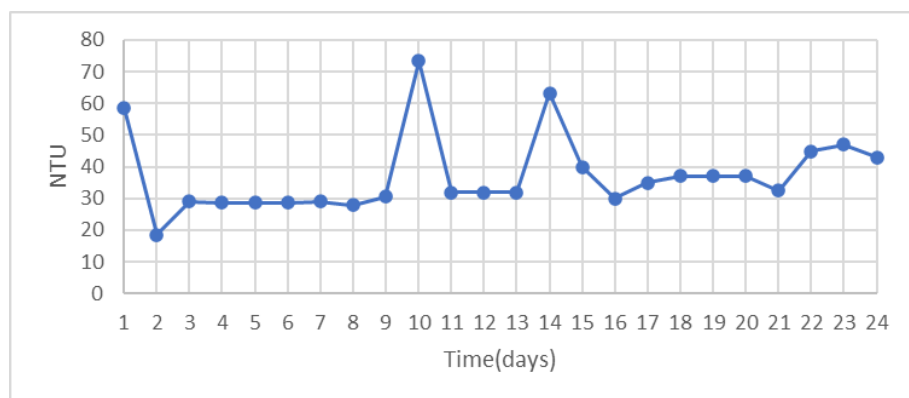


Figure 17. NTU values and time relationship per day

Figure 18 shows the daily outflow rate throughout the test. Average daily flow rate is 0.22ml/min.

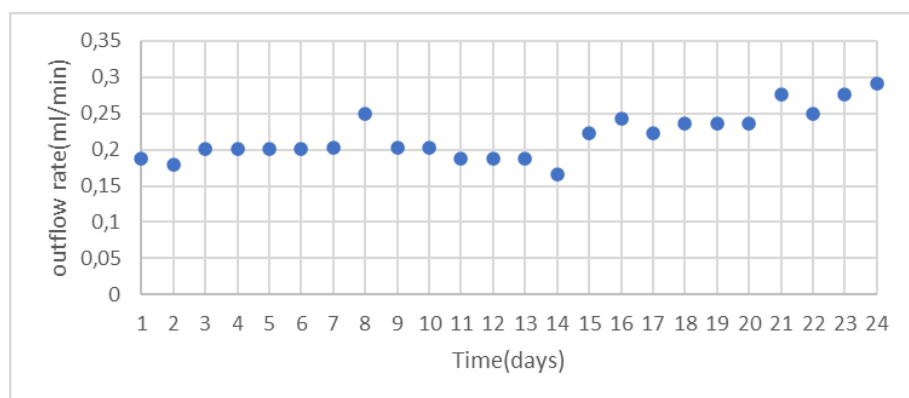


Figure 18. Outflow rate and time relationship per day

Figure 19 shows the daily volume of effluent throughout the test. The total eluted volume is 7590 ml. Average daily volume of effluent is 316.25 ml.

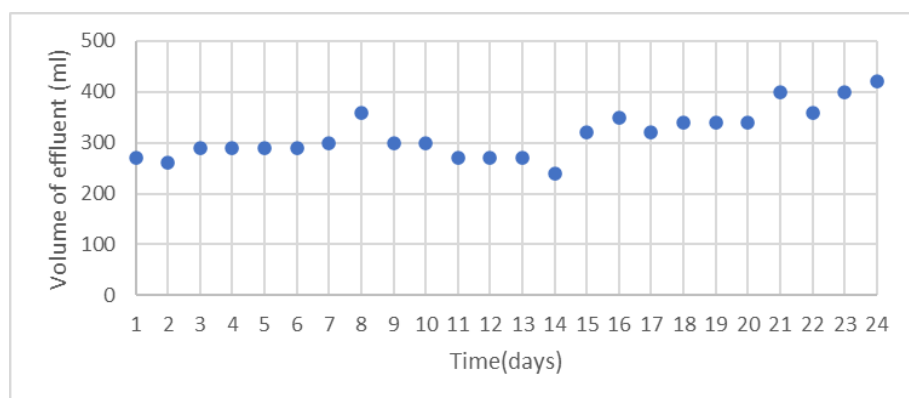


Figure 19. Volume of effluent and time relationship per day

Figure 20 shows the daily erosion rate throughout the test. Average daily erosion is 73.95 mg. During the 24 days of the test, approximately 1.774 g of the original 5.41 g of dry mass of bentonite initially emplaced was eroded, i.e., 32.79% of the initial sample mass.

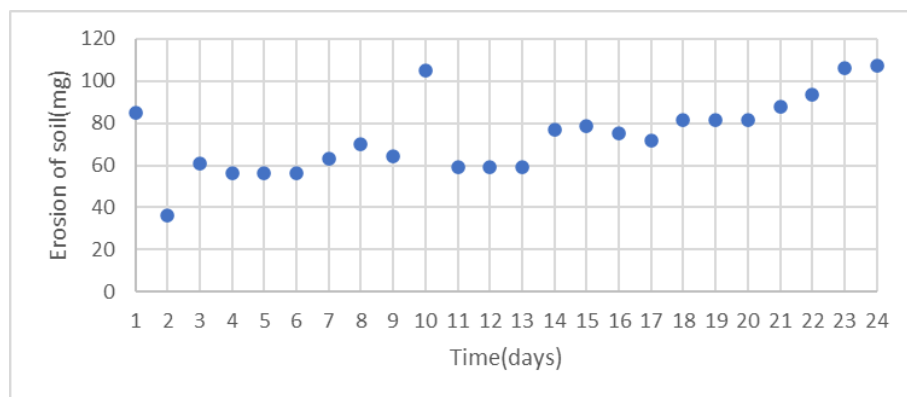


Figure 20. Erosion of soil and time relationship per day

Figure 21 shows total erosion of soil throughout the test. During the 24 days of the test, 1774.85 mg bentonite was eroded.

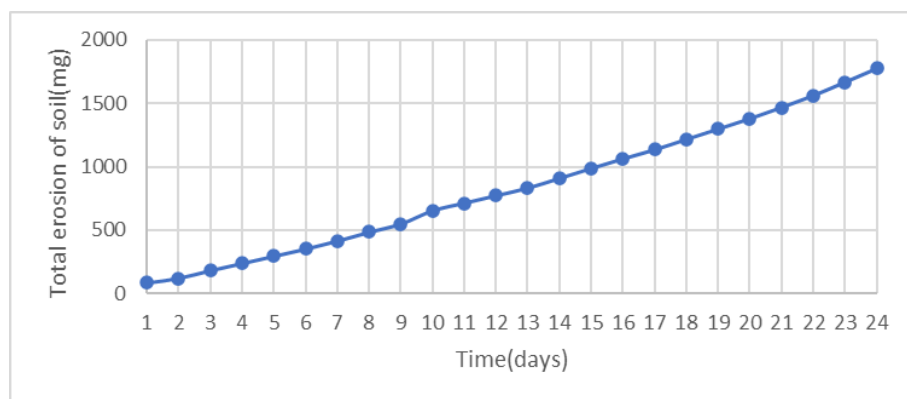


Figure 21. Total erosion of soil over time

3.4. 5.899 Grams Compacted Bentonite with Dry Density 1.72 g/cm³ Under 0.242 ml/min Flow Rate (0.05 M NaCl Water)

Compressed bentonite with a dry density of 1.72% is exposed to 0.05 M NaCl ionic strength water with a flow rate of 0.242 ml/min for 24 days. During this time, daily NTU values and effluent volumes are measured. Figure 22 shows the daily NTU values recorded. NTU values ranged from 0.3 to 1 NTU during the 24-day experiment. The average daily NTU value is 0.57.

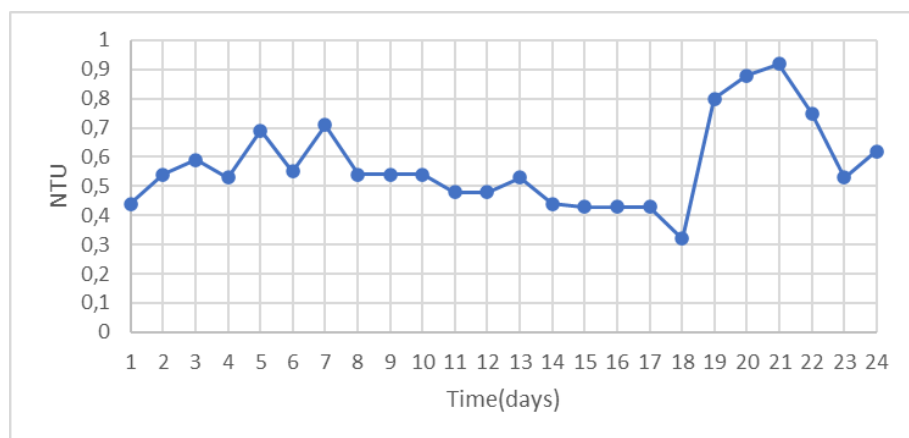


Figure 22. NTU values and time relationship per day

Figure 23 shows the daily outflow rate throughout the test. Average daily flow rate is 0.242 ml/min.

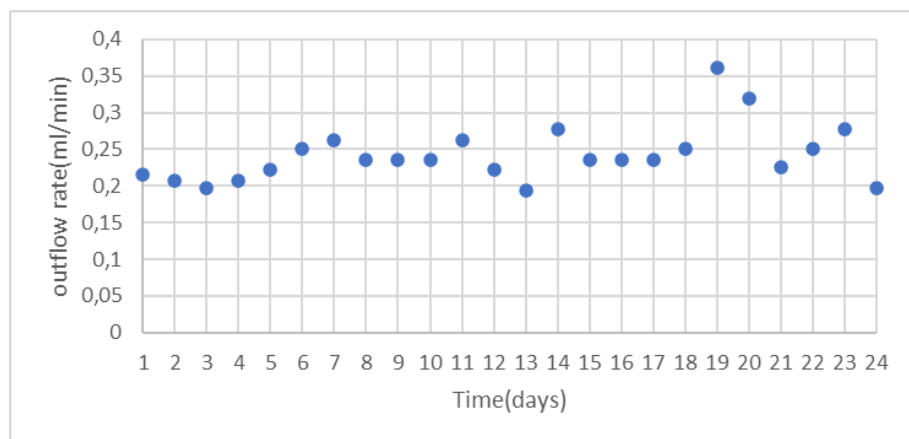


Figure 23. Outflow rate and time relationship per day

Figure 24 shows the daily volume of effluent throughout the test. The total eluted volume is 8385 ml. Average daily volume of effluent is 349.375 ml.

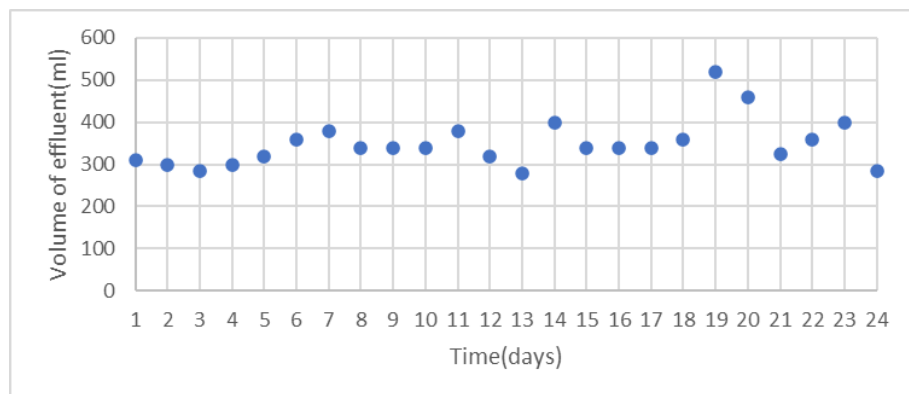


Figure 24. Volume of effluent and time relationship per day

Figure 25 shows the daily erosion rate throughout the test. Average daily erosion is 73.60 mg. During the 24 days of the test, approximately 0.07 g of the original 5.41 g of dry mass of bentonite initially emplaced was eroded, i.e., 1.36% of the initial sample mass.

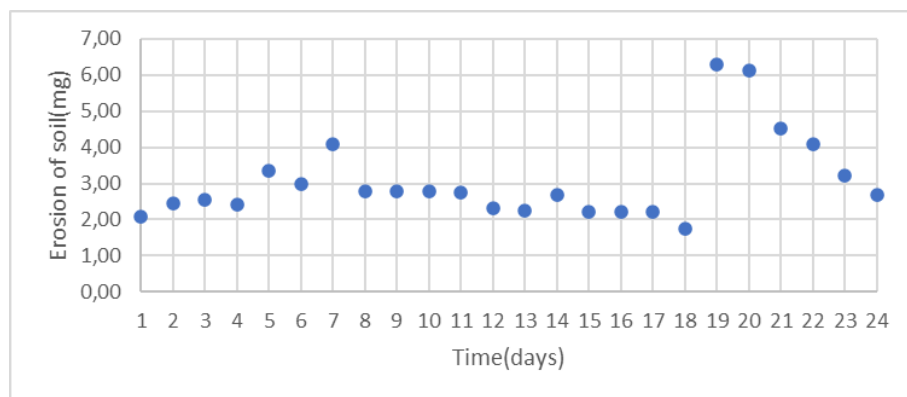


Figure 25. Erosion of soil and time relationship per day

Figure 26 shows total erosion of soil throughout the test. During the 24 days of the test, 73.6 mg bentonite was eroded.

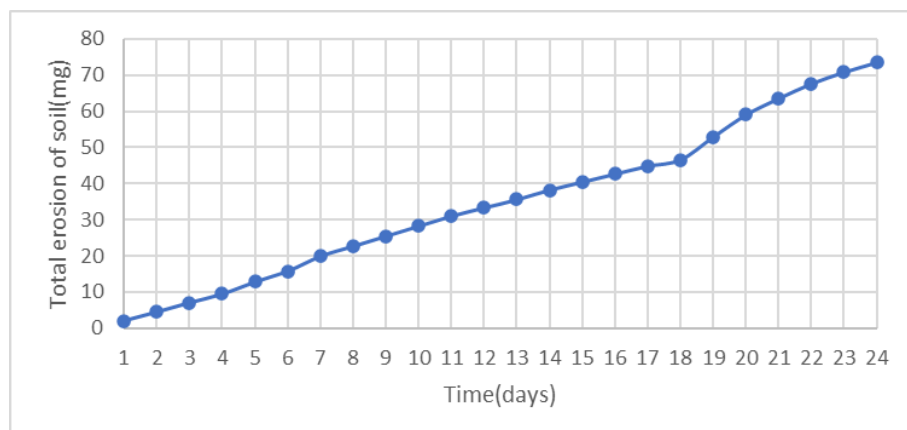


Figure 26. Total erosion of soil over time

Under flow rates of 0.06 ml/min and approximately 0.22 ml/min, both distilled water and 0.05 molarity sodium chloride saline water were applied to the system containing compacted bentonite and the erosion occurring in these conditions was measured by means of a turbidity meter. Daily NTU values, daily erosion values, daily effluent volumes and daily flow rates were recorded throughout the experiment.

Figure 27 shows the change in the NTU values of two compacted bentonites exposed to the same flow rate but tested with waters of different ionic strengths during the 24-day experiment.

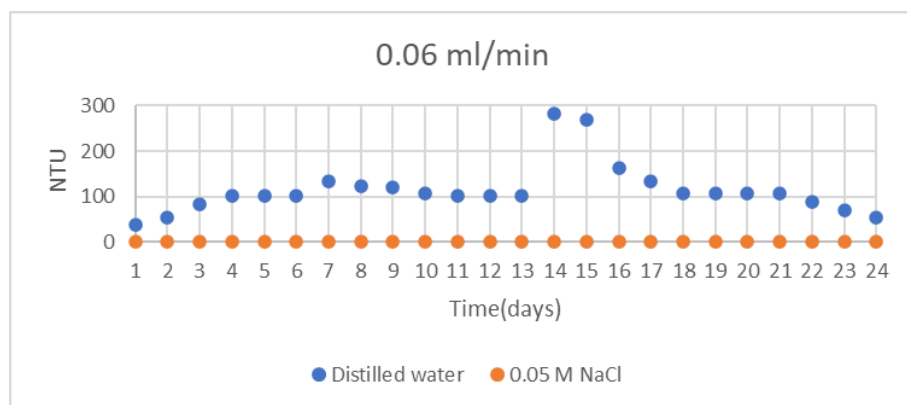


Figure 27. The effect of ionic strength under 0.06 ml/min flow rate (turbidity meter)

In Figure 27, NTU values obtained when water containing 0.05 Molar NaCl acts on the system are between 0 and 2. However, in the system where distilled water acts, NTU values vary between 37 and 287. This shows the effect of increasing the ionic strength by a relatively small amount on NTU values.

Figure 28 shows the daily erosion amounts of distilled water and water containing 0.05 M NaCl under a flow rate of 0.06 ml/min. In the system where distilled water is applied, daily erosion values vary between 23 mg and 71 mg. On the other hand, daily erosion values vary between 0 and 2 mg in the system where 0.05 M NaCl salt-containing water is applied.

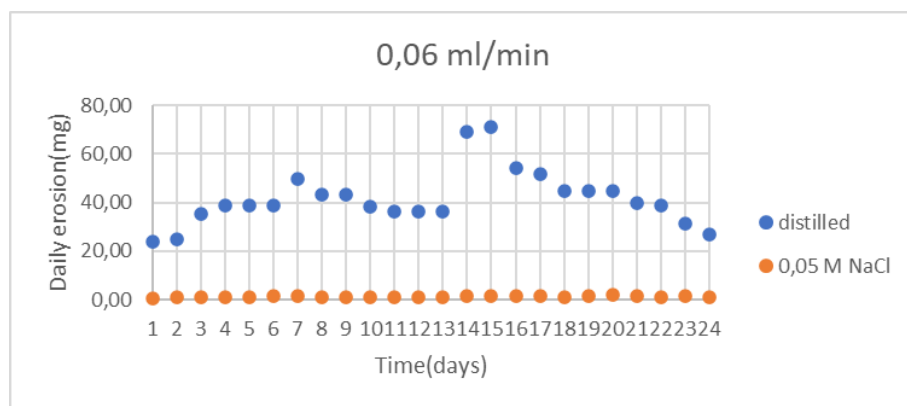


Figure 28. Daily erosion value

Figure 29 shows the total erosion values at the end of each day. At the end of the 24th day, the total erosion value in the system where distilled water was applied was 1002,7 mg, while the total erosion value in the system where water containing 0,05 M NaCl salt was applied was 31.13 mg. The erosion value obtained by mixing 0,05 M NaCl salt with water decreased to 1 in 30. The effect of salt on erosion is too great to be neglected.

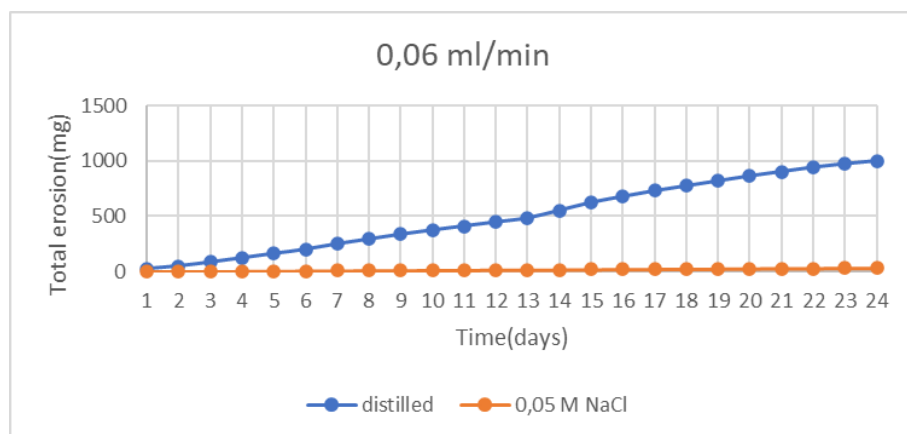


Figure 29. Total erosion values during the experiment

In Figure 30, both distilled water and 0.05 M NaCl ionic strength water were applied to the system under a flow rate of 0.22 ml/min. NTU values obtained when distilled water was used under a flow rate of 0.22 ml/min ranged between 18.5 and 73.3, while they ranged between 0 and 1 when 0.05 M NaCl was used. This showed the effect of ionic strength on NTU values and thus its effect on erosion.

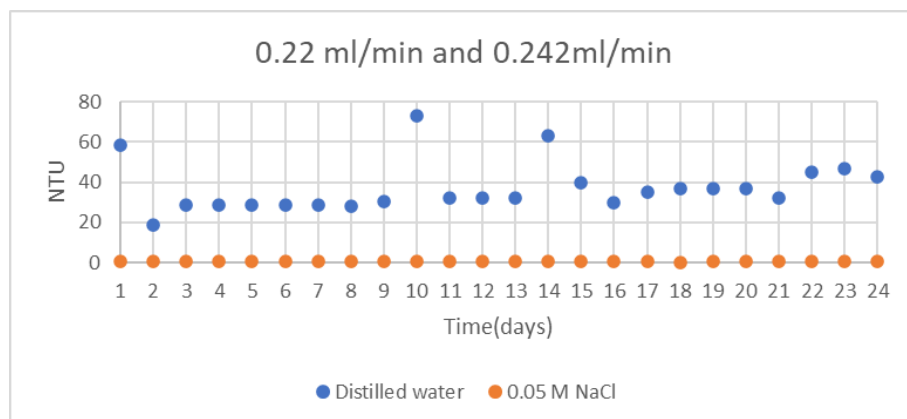


Figure 30. The effect of ionic strength under 0.22 ml/min and 0.242 ml/min flow rate (turbidity meter)

Figure 31 shows the daily erosion amounts of distilled water and water containing 0.05 M NaCl under a flow rate of 0.06 ml/min. In the system where distilled water is applied, daily erosion values vary between 36 mg and 107 mg. On the other hand, daily erosion values vary between 2 and 6 mg in the system where 0.05 M NaCl salt-containing water is applied.

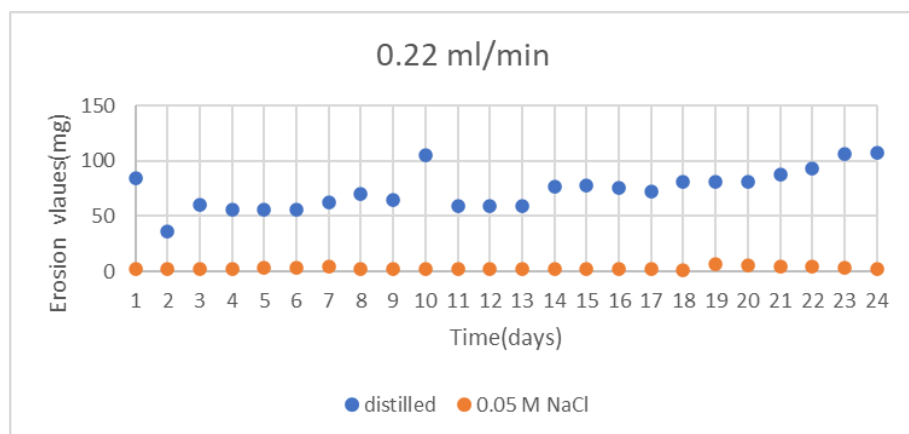


Figure 31. Daily erosion values

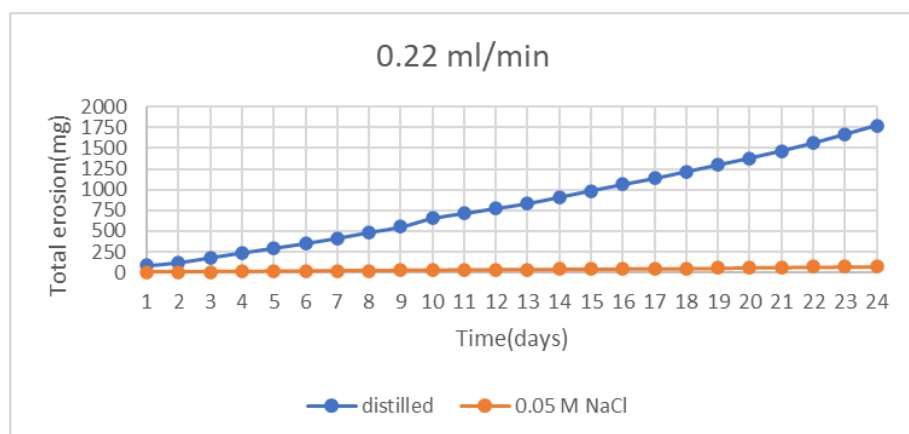


Figure 32. Total erosion values during the experiment

In the studies conducted in the literature on this subject, numerical comparison will not give healthy results because of the ratio of montmorillonite contained in the bentonite material used, the type and ratio of exchangeable cations in the intermediate of bentonite, the dry densities of the compacted bentonite, the weights of the compacted bentonite, the different experimental setup prepared, the different flow rate values applied and the different aperture value in the experimental setup.

Baik et al. (2007) has investigated the effect of ionic strength of water on the erosion of compacted bentonite [14]. In their findings, erosion of compacted bentonite with ionic strength is depending on contacting time. In the short run, eroded bentonite fines decrease as the ionic strength of water increases. On the other hand, in the long run, the amount of bentonite particles eroded increases with increasing ionic strength. This is something we have not observed in our own experiments.

Baik and Lee (2010) have examined colloidal stability of bentonite clay as a function of pH and ionic strength [17]. According to them, pH does not have any significant effect, whereas ionic strength does. Bentonite colloids (Ca-bentonite) are more stable at lower ionic strength. This finding coincides with our experimental results.

Missana et al. (2003) conducted experiments to investigate the stability of bentonite colloids under both flow and still water (no flow) conditions [13]. According to their observations, bentonite colloids are more stable in low salinity water. This finding coincides with our experimental results.

4. CONCLUSION

Experiments were conducted to investigate the influence of the salt content of the aqua on the erosion of compacted bentonite during the estimated water inflow to nuclear waste facilities. An easy, relatively cheap, and portable turbidity meter was used to measure the amount of bentonite particles eroded. The applied flow rates were 0.06 ml/min and 0.22 ml/min, and the applied waters were distilled water and 0.05 M NaCl ionic strength water. The range of NTU values obtained when using distilled water under 0.06 ml/min flow rate is 37 to 287, while the range of NTU values obtained when using water containing 0.05 M NaCl is 0 to 2. When distilled water was used, the daily erosion values obtained under 0.06 ml/min flow rate ranged between 23 mg and 71 mg, while the daily erosion values obtained when water containing 0.05 M NaCl salt ranged between 0 and 2 mg. When distilled water was used, the total erosion value obtained at the end of 24th day under 0.06 ml/min flow rate was 1002.7 mg, while the total erosion value obtained at the end of 24th day when water containing 0.05 M NaCl salt was used was 31.13 mg. With the application of 0.05 M NaCl salt-containing water to the system, the erosion value obtained under a flow rate of 0.06 ml/min decreased by 1 in 30 compared to the system using distilled water. Under 0.22 ml/min flow rate, the range of NTU values obtained when using distilled water is 18.5 to 73.3, while the range of NTU values obtained when using water containing 0.05 M NaCl is 0 to 1. When distilled water was used, the daily erosion values obtained under 0.22 ml/min flow rate ranged between 36 mg and 107 mg, while the daily erosion values obtained when water containing 0.05 M NaCl salt ranged between 2 and 6 mg. When distilled water was used, the total erosion value obtained at the end of 24th day under 0.22 ml/min flow rate was 1774.85 mg, while the total erosion value obtained at the end of 24th day when water containing 0.05 M NaCl salt was used was 73.6 mg. With the application of 0.05 M NaCl salt-containing water to the system, the erosion value obtained under a flow rate of 0.22 ml/min decreased by 1 in 24 compared to the system using distilled water. Under both 0.06 ml/min and 0.22 ml/min flow rates, when the salt content of the water was increased from 0 to 0.05 M NaCl, the daily NTU values, daily erosion values and total erosion values obtained at the end of the experiment decreased drastically. With increasing the flow rate, the effect of the salt content of the water on erosion decreased relatively compared to the experiments with distilled water. Under 0.06 ml/min flow rate, the amount of erosion obtained at the end of the experiment decreased to 1 in 30 with the introduction of 0.05 M NaCl into the system, while under 0.22 ml/min flow rate, the amount of erosion obtained at the end of the experiment decreased to 1 in 24 with the introduction of 0.05 M NaCl into the system. This can be explained by the increase in the shear force acting on the compacted bentonite with increasing flow rate.

Acknowledgements

I would like to thank Dr Majid Sedighi for his help throughout this study.

Funding

The author did not receive any financial support for the research, authorship, or publication of this study.

The Declaration of Conflict of Interest/ Common Interest

No conflict of interest or common interest has been declared by the authors.

Author's Contribution

The first author contributed 90%, the second author 10%.

The Declaration of Ethics Committee Approval

This study does not require ethics committee permission or any special permission.

The Declaration of Research and Publication Ethics

The author of the paper declares that he complies with the scientific, ethical, and quotation rules of Environmental Toxicology and Ecology in all processes of the paper and that he does not make any falsification of the data collected. In addition, he declares that ETOXEC and its editorial board have no responsibility for any ethical violations that may be encountered and that this study has not been evaluated in any academic publication environment other than ETOXEC.

REFERENCES

- [1] Cho, W. J., Lee, J. O., Chun, K. S., & Park, H. S. Analysis of functional criteria for buffer material in a high-level radioactive waste repository. *Nuclear Engineering and Technology*, vol. 31, no.1, pp. 116-132, 1999.
- [2] J. Andersson, A. Ström, C. Svemar, K.-E. Almén, L.O. Ericsson, SKB Technical Report, TR-00-12, 2000.
- [3] S. García-García, M. Jonsson, and S. Wold, "Temperature effect on the stability of bentonite colloids in water," *Journal of Colloid and Interface Science*, vol. 298, no. 2, pp. 694–705, Jun. 2006, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2006.01.018>.
- [4] S. García-García, S. Wold and M. Jonsson, "Effects of temperature on the stability of colloidal montmorillonite particles at different pH and ionic strength," *Applied Clay Science*, vol. 43, no. 1, pp. 21–26, Jan. 2009, doi: <https://doi.org/10.1016/j.clay.2008.07.011>.
- [5] C. Reid, R. J. Lunn, Gráinne El Mountassir, and A. Tarantino, "A mechanism for bentonite buffer erosion in a fracture with a naturally varying aperture," *Mineralogical Magazine*, vol. 79, no. 6, pp. 1485–1494, Nov. 2015, doi: <https://doi.org/10.1180/minmag.2015.079.6.23>.
- [6] Kersting, A. B., Efurud, D. W., Finnegan, D. L., Rokop, D. J., Smith, D. K., & Thompson, J. L.. Migration of plutonium in ground water at the Nevada Test Site. *Nature*, vol. 397, pp.56-59, Jan. 1999.
- [7] G. S. Boulton, P. E. Caban, and K. Van Gijssel, "Groundwater flow beneath ice sheets: Part I — Large scale patterns," *Quaternary Science Reviews*, vol. 14, no. 6, pp. 545–562, Jan. 1995, doi: [https://doi.org/10.1016/0277-3791\(95\)00039-r](https://doi.org/10.1016/0277-3791(95)00039-r).
- [8] Puigdomenech, SKB Technical Report, TR-01-28, 2001.

- [9] M. Benna, N. Kbir-Ariguib, A. Magnin, and F. Bergaya, “Effect of pH on Rheological Properties of Purified Sodium Bentonite Suspensions,” *Journal of Colloid and Interface Science*, vol. 218, no. 2, pp. 442–455, Oct. 1999, doi: <https://doi.org/10.1006/jcis.1999.6420>.
- [10] P. F. Luckham and S. Rossi, “The colloidal and rheological properties of bentonite suspensions,” *Advances in Colloid and Interface Science*, vol. 82, no. 1–3, pp. 43–92, Oct. 1999, doi: [https://doi.org/10.1016/s0001-8686\(99\)00005-6](https://doi.org/10.1016/s0001-8686(99)00005-6).
- [11] D. Penner and G. Lagaly, “Influence of anions on the rheological properties of clay mineral dispersions,” *Applied Clay Science*, vol. 19, no. 1–6, pp. 131–142, Jul. 2001, doi: [https://doi.org/10.1016/s0169-1317\(01\)00052-7](https://doi.org/10.1016/s0169-1317(01)00052-7).
- [12] V. R. Ouhadi, R. N. Yong, and M. Sedighi, “Influence of heavy metal contaminants at variable pH regimes on rheological behaviour of bentonite,” *Applied Clay Science*, vol. 32, no. 3–4, pp. 217–231, May 2006, doi: <https://doi.org/10.1016/j.clay.2006.02.003>.
- [13] Tiziana Missana, U. Alonso, and María Jesús Turrero, “Generation and stability of bentonite colloids at the bentonite/granite interface of a deep geological radioactive waste repository,” vol. 61, no. 1–4, pp. 17–31, Mar. 2003, doi: [https://doi.org/10.1016/s0169-7722\(02\)00110-9](https://doi.org/10.1016/s0169-7722(02)00110-9).
- [14] Min Hoon Baik, W.-J. Cho, and P.-S. Hahn, “Erosion of bentonite particles at the interface of a compacted bentonite and a fractured granite,” *Engineering Geology*, vol. 91, no. 2–4, pp. 229–239, May 2007, doi: <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2007.02.002>.
- [15] L. Moreno, L. Liu, and Ivars Neretnieks, “Erosion of sodium bentonite by flow and colloid diffusion,” *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, vol. 36, no. 17–18, pp. 1600–1606, Jan. 2011, doi: <https://doi.org/10.1016/j.pce.2011.07.034>.
- [16] Z. Gong, L. Liao, G. Lv, and X. Wang, “A simple method for physical purification of bentonite,” *Applied Clay Science*, vol. 119, pp. 294–300, Jan. 2016, doi: <https://doi.org/10.1016/j.clay.2015.10.031>.
- [17] M. H. Baik and S. Y. Lee, “Colloidal stability of bentonite clay considering surface charge properties as a function of pH and ionic strength,” *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, vol. 16, no. 5, pp. 837–841, Sep. 2010, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2010.05.002>.

Kanatlı etlerinde Gıda Güvenliği: Bakteriyel Tehlikeler

Rabia EROĞLU^{1*} , Nesrin ÇAKICI¹ 

ÖZET

Kanatlı etleri ekonomik ve besleyici olması sebebiyle dünya çapında yaygın olarak tüketilen önemli bir besin kaynağıdır. Ancak etler yüksek su ve protein içeriğinden dolayı tedarik ve üretim zincirinin herhangi bir aşamasında (işleme, paketlenme, depolama, sevkiyat vb.) bulaşan mikroorganizmaların gelişmesi için uygun bir ortam oluşturur. Kanatlı etlerinde tespit edilen en yaygın bakteriyel patojenlerin *Salmonella*, *Campylobacter*, *Escherichia*, *Bacillus*, *Clostridium*, *Listeria* ve *Staphylococcus* türleri olduğu bilinmektedir. Bu patojen bakterilerin toksinleri veya virulans faktörleri insanlarda gıda kaynaklı hastalıklara yol açar. Bakteriyel patojenlerin yol açtığı hastalıklar pazar kısıtlamaları, ekonomik kayıpların yanısıra ciddi bir halk sağlığı problemidir. Kanatlı eti üretim tesislerinde söz konusu mikroorganizmaların gıda zincirine bulaşmaması açısından personel ve çevrede hijyenik koşullara uyulması, iyi tarım uygulamaları, iyi üretim uygulamaları, tehlike analizi ve kritik kontrol noktaları uygulamalarının benimsenmesi gerekmektedir. Ayrıca toplum sağlığı açısından tüketicilerin bilinçlendirilmesi oldukça önemlidir.

Food Safety in Poultry: Bacterial Hazards

ABSTRACT

Poultry meat is an important food source widely consumed around the world because it is economical and nutritious. However, due to the high water and protein content of meat, it creates a suitable environment for the development of microorganisms that are transmitted at any stage of the supply and production chain (processing, packaging, storage, shipment, etc.). It is known that the most common bacterial pathogens detected in poultry meat are *Salmonella*, *Campylobacter*, *Escherichia*, *Bacillus*, *Clostridium*, *Listeria* and *Staphylococcus* species. The toxins or virulence factors of these pathogenic bacteria cause foodborne diseases in humans. Diseases caused by bacterial pathogens are a serious public health problem, as well as market restrictions and economic losses. In poultry meat production facilities, in order to prevent the microorganisms in question from being transmitted to the food chain, hygienic conditions must be provided for personnel and the environment, good agricultural practices, good production practices, hazard analysis and critical control point practices must be adopted. In addition, raising consumer awareness is very important for public health.

Article Info

*Corresponding author:

e-mail:

eroglubaria44@gmail.com

Institution: ¹ Çanakkale Onsekiz Mart University

Article history

Received: 04/04/2024

Accepted: February 03/05/2024

Available online: 03/05/2024

Anahtar Kelimeler:

Kanatlı eti, Gıda güvenliği, Bakteriyel tehlikeler.

Keywords:

Poultry meat, Food safety, Bacterial hazards

How to Cite: R. Eroğlu, N. Çakıcı "Kanatlı etlerinde Gıda Güvenliği: Bakteriyel Tehlikeler", *Environmental Toxicology and Ecology*, c. 4, sayı. 1, ss. 58-71, 2024.

DOI: 10.59838/etoxec.1464980

1. GİRİŞ

Gıda endüstrisi ülke ekonomisi ve insanların yeterli beslenmesi açısından, gıda güvenliği ise endüstrinin sürdürülebilirliği açısından çok önemlidir. Günümüzde nüfus artışı, küresel ısınma, çevre kirliliği, iklim değişimleri gibi faktörler yeterli ve güvenli gıdaya ulaşmayı zorlaştırmaktadır [1]. Bozularak atılan gıdaların maliyeti, hastalanan insanların tedavi giderleri, iş gücü ve ülkeler arası ticari ilişkilerin etkisi ile prestij kayıpları gibi etmenler gıda güvenliğini halk sağlığı ve sosyoekonomik yönden her ülkenin başlıca odak noktası haline getirmiştir.

Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) “Güvenli değilse gıda değildir” sloganı ile güvenli gıdayı sağlıklı beslenmenin önkoşulu olarak belirtmiştir. Güvenli gıda insan, hayvan ve çevre sağlığını riske atmayan, yabancı maddelerden arındırılmış, toksin içermeyen, hijyenik koşullarda üretilmiş ve tüketime kadar bozulmamış, sağlıklı gıdalardır. Gıda güvenliği kavramı ise tarladan çatala dek gıdalarda oluşabilecek fiziksel, kimyasal ve biyolojik her türlü zararın önlenmesi için alınacak tedbirlerin tümü olarak ifade edilmektedir [2].

Gıdalardaki toksinlere ve/veya patojenlere maruz kalınmasından kaynaklanan gıda kaynaklı hastalıklar, halk sağlığında ciddi tehdit oluşturmaktadır. Gıda kaynaklı hastalıklar tüketilen gıdaların patojen bakteri, virüs, parazit, prion ve funguslar tarafından kontamine olmasından veya mikrobiyal toksin içermesinden kaynaklanır. Mikrobiyal etmenlerle veya bunların toksinleriyle gıda kaynaklı hastalık ve zehirlenmelerin oluşumunda gıdanın mikroorganizma gelişimine elverişli olma durumu, pH, ısı, zaman, nem ve çevre koşulları etkilidir. Mikrobiyal kirlenme, gıdalarda doğrudan, çapraz kontaminasyonla gerçekleşebildiği gibi dolaylı olarak çöpler, kirli sular, haşere ve kemirgenler ya da toprakla da bulaşabilmektedir. Genel olarak mikrobiyal gıda kaynaklı hastalıkların nedeni deniz ürünleri, çiğ ve ya az pişmiş et, süt ve yumurta gibi hayvansal kaynaklı gıdalardır [3].

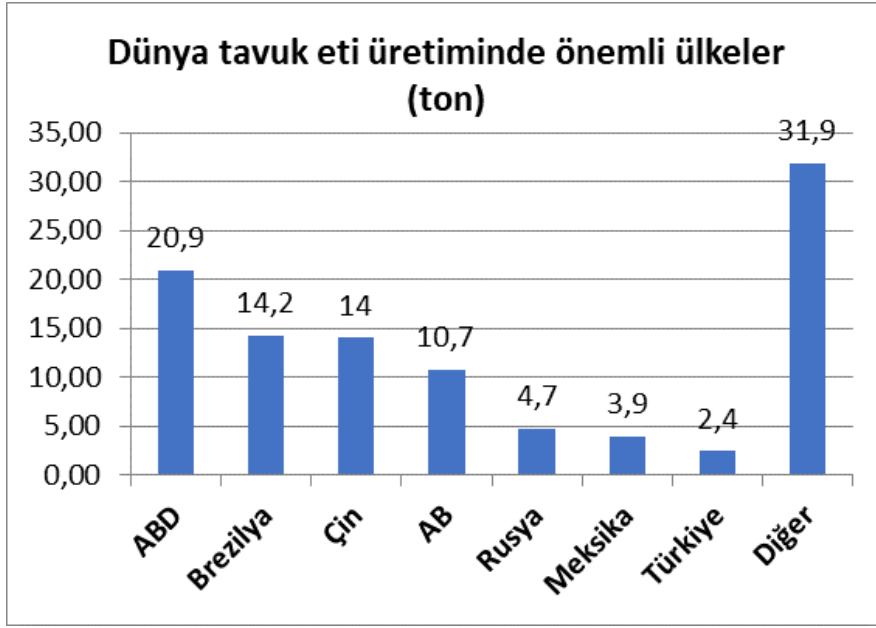
Gıda kaynaklı hastalıklar sağlık harcamaları, turizm ve ticarete olumsuz etkisinden dolayı ülke ekonomilerini olumsuz yönde etkiler, sosyoekonomik kalkınmayı engeller. Gıda kaynaklı hastalıkların yıllık ekonomik yükünün tıbbi tedavi maliyetleri üretim kayıpları, erken ölümler ve iş kaybı da dahil olmak üzere 17,6 milyar dolar olduğu tahmin edilmektedir [4].

Dünyada Ve Türkiye’de Kanatlı Eti Sektörü

Kanatlı eti başta tavuk olmak üzere hindi, kaz, ördek, gibi hayvanların kas doku, bağ doku, deri ve yenilebilir iç organlarından oluşmaktadır. Düşük yağ oranı, yüksek protein içeriği, taşıdığı vitamin ve mineral maddeler ile sağlıklı ve dengeli beslenmede oldukça önemli bir gıda maddesidir[5]. Kırmızı ete göre daha kolay sindirilebilir olması, uygun fiyatlı bir protein kaynağı olması, hazırlama süresinin kısa olması gibi sebepler tüketimini arttırmaktadır [6].

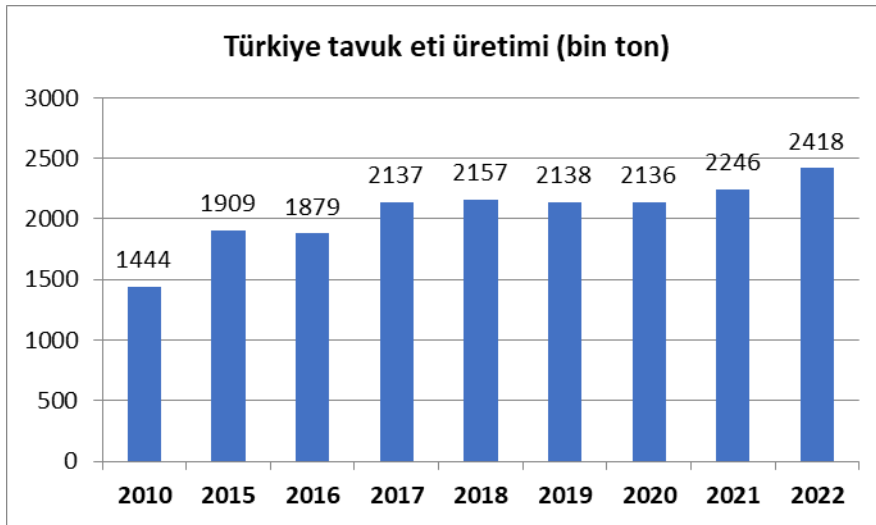
Tavuk etinin küresel et üretiminin yaklaşık %40’ını temsil ederek en yaygın üretilen et olması, kanatlı eti sektörünün insan beslenmesindeki sıklığını ve güvenliğinin önemini göstermektedir. Amerika Birleşik Devletleri Tarım Bakanlığı (USDA) 2022 yılı verilerine göre Dünya tavuk eti üretimi yaklaşık 102 milyon ton olarak gerçekleşmiştir. Dünya tavuk eti üretiminin 2023 yılında yaklaşık 103 milyon ton olacağı tahmin edilmiştir [7].

Dünya tavuk eti üretiminde her yıl olduğu gibi 2022 yılında da ABD 20,9 milyon ton üretim ile lider ülke olmuştur. Çin ise 14,2 milyon ton tavuk eti üretimi ile ikinci sırada, Brezilya 14,0 milyon ton ile üçüncü sırada yer almıştır. 2022 yılı tavuk eti üretiminin yaklaşık yarısının (%48,8) bu üç ülke tarafından gerçekleştirildiği görülmektedir. Türkiye 2,4 milyon ton tavuk eti üretimi ile 2022 yılında dünya üretiminde 8. sırada yer almıştır [8]. Şekil 1.



Şekil 1. Dünya tavuk eti üretiminde önemli ülkeler (2022)

Türkiye’de 2022 yılında 1,25 milyar adet kesilen tavuk sayısı ve 2,4 milyon ton tavuk eti üretimi ile rekor düzeye ulaşılmıştır. Kesilen tavuk sayısı bir önceki yıla göre %8,4 artarken tavuk eti üretimi %7,7 artış göstermiştir. Türkiye kanatlı sektörü, son 15 yılda ortalama %6-10 oranında artan tavuk eti üretimi ile yıllar itibarıyla büyümüştür [8]. Şekil 2.



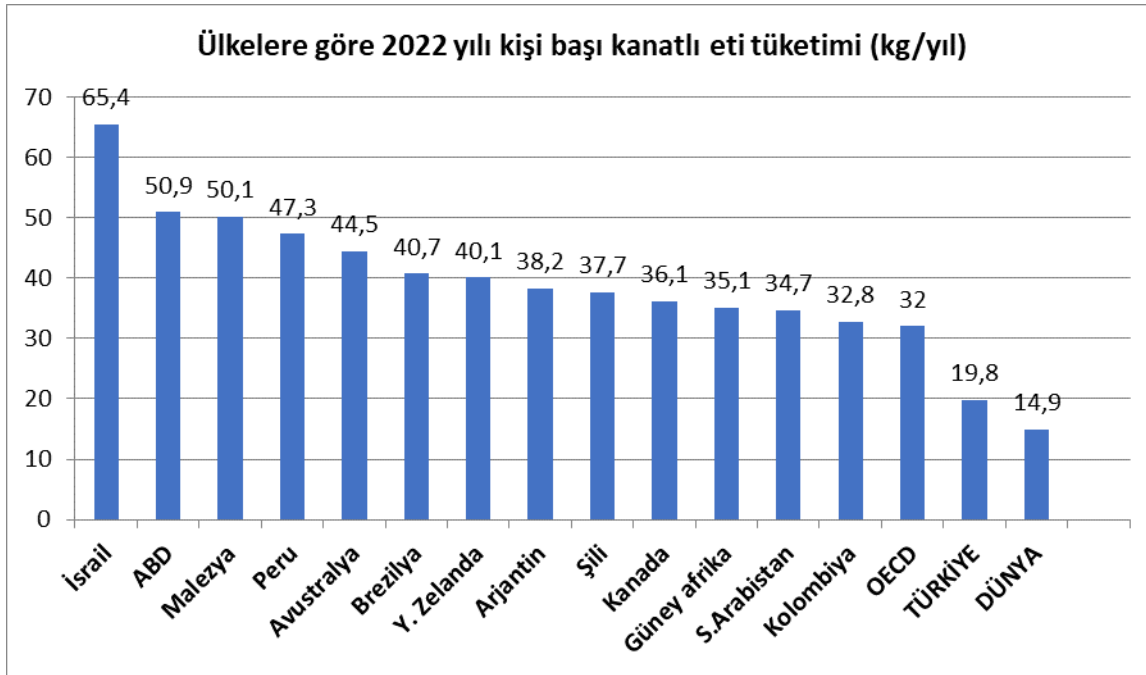
Şekil 2. Türkiye’de 2010-2022 yılları tavuk eti üretimi (bin ton)

Ülkemizde 2024 yılı Ocak-Şubat ayında bir önceki yılın aynı ayına göre, tavuk eti üretimi %10,1, hindi eti üretimi %32,2 artmıştır. Türkiye’de kanatlı eti kavramı yaygın olarak tavuk ve hindi etinden oluşmaktadır. Hindi etinin payı yaklaşık olarak %1 olduğu için ülkemizde kanatlı eti tavuk etinden oluşuyor denilebilir[9].

Türkiye’de tavuk eti ihracat değeri 2022 yılında bir önceki yıla göre %30,7 oranında artarak 1,07 milyon dolar olarak gerçekleşmiştir. Bu durum uluslararası pazarda tavuk eti talebinin artması ve ihraç fiyatlarının yükselmesinden kaynaklanmaktadır. USDA verilerine göre; Türkiye, 2022 yılında dünya tavuk eti ihracatında 4. sırada yer almıştır.

Dünya tavuk eti tüketimi 2022 yılında bir önceki yıla göre %0,4 oranında artarak 99,5 milyon tona ulaşmıştır. Dünya tavuk eti tüketiminde 17,7 milyon ton ile lider olan ABD’yi, 14,4 milyon ton ile Çin ve 10 milyon ton ile Brezilya takip etmektedir. Bu üç ülke dünya tavuk eti tüketiminde %42,2 paya sahiptir.

OECD verilerine göre başlıca ülkelere ait 2022 yılı kişi başı tüketimleri Şekil 3’de verilmiş olup ülke sıralamasının değişmediği ve bir önceki yılın tüketim verilerine çok yakın olduğu anlaşılmaktadır. İsrail 65,4 kg/yıl ile kişi başı kanatlı eti tüketiminde ilk sırada yer almaktadır. İsrail’i 50,9 kg/yıl ile ABD, 50,1 kg/yıl ile Malezya ve 47,3 kg/yıl Peru takip etmektedir. Kişi başına kanatlı eti tüketim ortalaması OECD ülkelerinde 32,0 kg/yıl, Türkiye’de 19,8 kg/yıl ve BRICS ülkelerinde 11,9 kg/yıl iken dünya ortalaması 14,9 kg/yıl olarak gerçekleşmiştir [8].



Şekil 3. Ülkelere göre 2022 yılı kişi başı kanatlı eti tüketimi (kg/yıl)

Kanatlı eti tüketiminin hızlı artış oranı üreticileri ve halk sağlığı personellerinin gıda güvenliği konusunda endişelerini arttırmıştır. Günümüzde sosyal medya ve çeşitli kanallarda yapılan duyurular, bilinçlendirme çalışmaları sonucunda tüketicilerin de risk farkındalığı oluşturulmaya başlanmıştır. Hayvanın etinin beslenmesinden kesilip paketlenmesine kadar oldukça uzun süreçlerden geçerek işlenmesi, hasta hayvan eti tüketimi, yanlış muhafaza koşulları, üretim yerlerindeki eksik ya da yanlış uygulamalar ve denetimler,

personel ve çevrenin hijyenik olmayan koşulları gibi bir çok farklı unsura bağlı olarak etin tüketimi insan sağlığı için zararlı hale gelebilir.

Kanatlı eti üretiminde mikrobiyal kalitenin gıda güvenliği ve raf ömrü açısından önemli olduğu bilinmektedir. Gelişen mikroorganizmaların tamamı patojen olmayıp bir kısmı da bozulmalara sebep olmaktadır. Kanatlı eti tüketimi kaynaklı hastalıklar genellikle kontamine olmuş etin tüketimi ile enfeksiyonlar ya da bakterilerin toksinlerinin tüketilmesi ile zehirlenmeler şeklinde görülür. Gıda zehirlenmesi, kısa kuluçka süresi, akut hastalık ve esas olarak mide-bağırsak bozukluklarının klinik semptomları ile karakterize edilir [10].

Kanatlı Etlerinde Rastlanan Bakteriyel Etkenler

Kanatlı etinde büyük çoğunlukla karşılaşılan *Campylobacter*, *Salmonella*, *Escherichia*, *Enterobacter*, *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Flavobacterium*, *Micrococcus*, *Acinetobacter*, *Staphylococcus* ve türleri olduğu bilinmektedir. *Salmonella* ve *Campylobacter* türleri gıda kaynaklı hastalıkların meydana gelmesine sebep olan temel mikroorganizmalar olarak bilinmektedir.

Salmonella

Salmonella tifo, paratifo ve gıda zehirlenmesine yol açabilen Gram negatif basillerdir. *Salmonella bongori* ve *Salmonella enterica* olmak üzere iki türü mevcuttur. *S. enterica* 6 adet alt tür (*Salmonella enterica* subsp. *enterica* *S. e. salame*, *S. e. arizonae*, *S. e. diarizonae*, *S. e. houtenae* ve *S. e. indica*), somatik ve kirpik antijenlerine göre 2600'den fazla serotip (serovar) içermektedir. *S. enterica* en patojenik tür olarak kabul edilmektedir [11],[12]. *Salmonella enterica* subsp. *enterica* dünya çapında en önemli gıda kaynaklı patojenlerden biridir ve bulaşıcı gastroenteritin önde gelen nedeni olmaya devam etmektedir. Vakalar çoğunlukla yumurta ve çiğ tavuk gibi kümes hayvanı ürünleri başta olmak üzere hayvansal kökenli gıdaların tüketimiyle ilişkilidir [13].

Hastalık Kontrol ve Önleme Merkezi (CDC), *Salmonella* bakterisinin ABD'de her yıl yaklaşık 1,35 milyon enfeksiyona, 26,500 hastaneye kaldırılmaya ve 420 ölüme neden olduğunu tahmin ediyor. *Salmonella*'nın diğer bakterilerden daha fazla gıda kaynaklı hastalığa neden olduğunu vurgulayarak, hastalıkların başlıca kaynağı olarak ise tavuk etini gösteriliyor ve marketlerde satılan her 25 paket tavuktan yaklaşık 1'i *Salmonella* ile kontamine olduğunu belirtmektedir [14].

Amerika (11 çalışma), Afrika (13 çalışma), Avrupa (3 çalışma) ve Asya'da (18 çalışma) yapılan 45 çalışmada; çiğ tavuk etinden 7033 izolat elde edilmiş, *Salmonella* prevalansı %40,5 bulunmuştur. En yaygın serotiplerin *S. enteritidis* (13 çalışma), *S. typhimurium* (4 çalışma), *S. heidelberg* (3 çalışma) ve *S. infantis* (3 çalışma) olduğu tespit edilmiştir [15].

Bangladeş'te beş büyük şehirdeki süpermarketlerden satın alınan 113 yerli dondurulmuş tavuk eti örneğinde geniş spektrumlu laktamaz (GSBL) barındıran *Salmonella* görülme sıklığını değerlendirilmiştir. Örneklerin %65,5'inde *Salmonella* türleri pozitif çıkarken, bu izolatların %58,1'inde GSBL oluşumu gözlemlenmiştir [16]. Irak'ta 2019-2020 yılları arasında toplanan 2000 örnekten toplamda 100 *S. enteritidis* izolatı belirlenmiştir. Bu izolatlar sırasıyla %4,9 tavuk eti ve %5,1 yumurta örneklerinden tanımlanmıştır [17].

Kuzey Tayvan'daki gıdalarda tifo dışı *Salmonella*'nın yaygınlığı, serotipleri ve antimikrobiyal direnç modellerini araştırdıkları çalışmada Ocak 2017 ile Aralık 2019 arasında perakende satışta domuz eti ve tavuk başta olmak üzere birçok gıda türü incelenmiştir. Toplam 459 farklı gıda inceleyerek 117 *Salmonella* suşu izole etmişlerdir. Tavuk etinde *Salmonella* kontaminasyon oranını %29,1 bulmuşlardır [18].

Salmonelloz, Avrupa Birliği'nde *Campylobacteriosis*'den sonra ikinci en yaygın zoonotik hastalıktır. AB'de her yıl 91.000'den fazla salmonelloz vakası rapor edilmektedir. EFSA, insan salmonellozunun genel ekonomik yükünün yılda 3 milyar Euro kadar yüksek olabileceğini tahmin etmektedir [19]. Etin kontaminasyonu çiftlikte, kesim sırasında veya sonrasında kontamine gıda ürünleri ve yüzeylerle temas yoluyla veya enfekte kişiler tarafından meydana gelebilir. Kümes hayvanlarının enfeksiyonu kontamine yumurta üretimine yol açabilir.

Campylobacter

Campylobacter, *Campylobacteriaceae* ailesine ait gram negatif, mikroaerofilik bir bakteri cinsidir. Yirmiden fazla türü bulunmasına karşın hepsi hastalığa sebep olmamaktadır. İnsanlardaki *Campylobacter* hastalığının yaklaşık %90'ının temel etmeni *Campylobacter jejuni* türüdür. *C.coli*, *C. upsaliensis*, *C.fetus* ve *C. lari* daha az yaygın olmakla beraber insanları enfekte edebilen diğer türleridir.

Ana kontaminasyon kaynağı çiğ veya az pişmiş kanatlı etidir. Kanatlı hayvan çiftliklerinde *Campylobacter*'in kontrol altına alınması halk sağlığı açısından oldukça faydalıdır. Çünkü kümes hayvanları, gıda zinciri yoluyla insanlarda *Campylobacter* enfeksiyonunun ana rezervuarını oluşturmaktadır. Bulaşma, enfekte hayvanlarla doğrudan temas, ekipman, su veya karkasın kesim hattında işlenmesi sırasında gerçekleşebilir. *Campylobacter*'in insanlara ana bulaşma yolu kontamine gıdaların, özellikle kümes hayvanı kökenli gıdaların işlenmesi, hazırlanması ve tüketilmesidir [20].

Hastalık Kontrol ve Korunma Merkezleri (CDC), Amerika Birleşik Devletleri'nde her sene yaklaşık 1,5 milyon kişinin *Campylobacter* etkiyle hastalandığını tahmin etmektedir. Bu verilere göre ülke genelinde rastlanılan vakalarda *Campylobacter jejuni* (%28,93), *C. coli* (%3,14) ve *C. lari* (%0,23) tespit edilmiştir. Kümes hayvanları, çiğ süt ve arıtılmamış su, *Campylobacter* salgınlarının en yaygın olarak tanımlanan kaynakları olmuştur [21].

Kanlı ishal, mide bulantısı, ateş ve kusma *Campylobacter* enfeksiyonunun semptomlarıdır. Yaklaşık bir hafta sürer ve genellikle antibiyotik kullanımına ihtiyaç duyulmaksızın hastalar iyileşir. Bağışıklık sistemi düşük kişilerde, kronik hastalık sahibi olanlarda, 5 yaşından küçük çocuklarda ve yaşlılarda enfeksiyon kan dolaşımına yayılarak hayatı tehdit edebilir. Bazı insanlar irritabl bağırsak sendromu, geçici felç ve artrit gibi komplikasyonlar da yaşayabilir. Bildirilen her 1000 *Campylobacter* hastalığından yaklaşık biri Guillain-Barre sendromuna (GBS) yol açmaktadır. Amerika Birleşik Devletleri'ndeki GBS vakalarının %40 kadarının *Campylobacter* enfeksiyonu tarafından tetiklenebileceğini tahmin edilmektedir [22].

Kasım 2020 – Şubat 2021 tarihleri arasında Afyonkarahisar il merkezinde satışa sunulan piliç etlerinde *Campylobacter jejuni*, *Campylobacter coli* ve *Campylobacter lari* suşlarını Gerçek zamanlı polimeraz zincir reaksiyonu (Real-Time PCR) yöntemi ile araştırmak için 30 adet piliç kanat, 27 adet piliç but, 24

adet piliç göğüs eti örneği olmak üzere toplam 81 numune analize alınmıştır. Örneklerin %18,52 (15/81)'sinin *Campylobacter* spp. ile kontamine olduğunu tespit edilmiştir [23].

E.coli

Enterobacteriaceae familyasının bir üyesi olan *Escherichia coli* (*E.coli*), yaklaşık 2,0 µm uzunluğunda 0,5 µm çapında, gram negatif basildir. *E. coli* enterit, idrar yolu enfeksiyonu, sepsis ve neonatal menenjit gibi diğer klinik enfeksiyonların önde gelen nedenidir. *E. coli* aynı zamanda evcil ve çiftlik hayvanlarında ishal ile de belirgin bir şekilde ilişkilidir. İshalli hastalıklara neden olan *E. coli* tipleri Enterotoksijenik *E. coli* (ETEC), Enteroinvazif *E. coli* (EIEC), Enteropatogenik *E. coli* (EPEC), Enterohemorajik *E. coli* (EHEC)'dir. *E. coli* enfeksiyonlarının terapötik tedavisi, antimikrobiyal direncin ortaya çıkması nedeniyle tehdit altındadır. Çoklu ilaca dirençli *E. coli* suşlarının prevalansı, esas olarak plazmidler gibi mobil genetik unsurların yayılması nedeniyle dünya çapında artmaktadır. Bu nedenle *E. coli*'de direncin yayılması Avrupa ülkelerinde giderek artan bir halk sağlığı sorunudur [24].

Amerika Birleşik Devletleri'nde her yıl patojenik *E.coli* enfeksiyonlarının 1 milyon acil servis ziyareti, 100.000 hastane yatışı ile toplam 7 milyon tıbbi ziyaretin sebebi olduğu ve bir yıllık maliyetin yılda 1-1.6 milyar dolar olduğu tahmin edilmektedir[25]. Kuş patojeni *E. coli*, tavuklarda, hindilerde ve diğer kuş konakçılarında aerosakkülit, poliserozit ve sepsis gibi sistemik bağırsak dışı enfeksiyonlara neden olur. EPEC genellikle sağlıklı kuşların bağırsak mikrobiyotasında bulunur ve enfeksiyonlar çevresel maruziyetlerden ve artan konakçı duyarlılığından kaynaklanır[26]. Kesim sırasında, bağırsaklardan gelen dirençli suşlar kümes hayvanı karkaslarını kolaylıkla kirletir ve sonuç olarak kümes hayvanı etleri genellikle çoklu dirençli *E. coli* ile kontamine olur ve hem doğrudan hem de gıda yoluyla insanları enfekte edebilir.

Yapılan bir çalışmada, 2010 ve 2021 yılları arasında Bangladeş'teki kümes hayvanları ve kümes hayvanı ortamlarından elde edilen *E. coli* izolatlarındaki antimikrobiyal direnç senaryolarını bulmak için sistematik inceleme gerçekleştirilmiştir. Yayımlanmış 17 bilimsel makaleden, Bangladeş'teki 64 bölgenin 18'inde kümes hayvanlarında *E. coli*'nin daha yüksek bir yaygınlığa sahip olduğu ve *E. coli* izolatlarının, tarım hayvanlarında enfeksiyonların tedavisi için son basamak antibiyotikler ve yasaklı antimikrobiyal kategorileri de dahil olmak üzere 14 antimikrobiyal sınıfa ve 45 farklı antimikrobiyal maddeye direnç gösterdiğini bulmuşlardır [27]. 2021 Haziran ayında Gelişmekte olan Güney Asya bölgelerinde (Nepal, Bangladeş, Pakistan ve Hindistan) yapılan 9 çalışmanın meta-analizi yapılmış ve *E.coli* %73, *E.coli*'ye karşı kolistin direncinin prevalansı %28 bulunmuş ve kanatlılarda kolistine karşı dirençli *E. coli* oranı yüksek olarak belirtilmiştir [28].

Clostridium

Clostridiaceae familyası üyesi olan *C. perfringens*, memelilerde ve kümes hayvanlarında enterik enfeksiyonlara neden olan Gram pozitif, spor oluşturan, kapsüllü, anaerobik bir basildir. Altı toksin (alfa (CPA) beta (CPB), epsilon (ETX), iota (ITX), enterotoksin (CPE) ve nekrotik B benzeri toksin (NetB)) enfeksiyonun başlangıcında ve ilerlemesinde önemli bir rol oynar.

C. perfringens türü toprak, kanalizasyon ve yiyecekler gibi çeşitli ortamlarla bulunur aynı zamanda hasta ve sağlıklı insan ve hayvanların gastrointestinal mikrobiyotasının bir bileşenidir. *C.perfringens*,

hayvanlarda ve insanlarda gazlı kangren, gıda zehirlenmesi, gıda kaynaklı olmayan ishal ve enterokolit gibi farklı sistemik ve enterik hastalıklarla bağlantılıdır [29]. *C. perfringens* anaerobik bakteri topluluğuna aittir ancak oksijen varlığında da hayatta kalabilir. Toksinlerin ve ısıya dayanıklı sporların çoklu üretim kabiliyeti, birçok virülans geninin mobil genetik elementler üzerindeki konumu ve bu fırsatçı patojenin farklı ekolojik nişlerde yaşaması, *C. perfringens*'i halk sağlığı açısından çok önemli bir mikroorganizma haline getirmektedir [30].

Hem sağlıklı hem de nekrotik veya ülseratif enteritli tavuklardan *C. perfringens*'i izole etmek, tanımlamak ve toksin tipini belirlemek için tasarlanan bir çalışmada; Temmuz 2019'dan Şubat 2021'e kadar toplam 110 örnek toplanarak 38'i *C. perfringens* için pozitif bulunmuştur. Multipleks PCR toksin tiplemesinde 34 (%89,4) izolatanın alfa toksin geninin varlığıyla *C. perfringens* tip A olduğu belirlendiği sonucuna ulaşılmıştır. Bu çalışmanın Bangladeş'teki sağlıklı ve enterik hastalıklı tavuklardan elde edilen ve insan sağlığı üzerinde potansiyel gıda kaynaklı zoonotik etkiye sahip olabilecek *C. perfringens*'in moleküler toksin tiplemesine ilişkin ilk çalışma olduğunu belirtilmiştir [31].

Ağustos 2019 ile Nisan 2020 arasında Pakistan'ın altı bölgesindeki (Jhang, Multan, Kasur, Lahor, Sargodha ve Mansehra) 44 kümes hayvanı çiftliğinden toplam 134 tavuk toplandı. 134 örnekten toplam 34 *C. perfringens* suşu izole edildi ve prevalans oranı %25,37 olarak tespit edildi. İzole edilen tüm suşlar, alfa toksin (CPA) açısından pozitif bulunmuştur. İlginç bir şekilde izole edilen *C. perfringens* suşlarının tümü çoklu ilaca dirençliydi. En yüksek direnç Pakistan kanatlı üretiminde rutin olarak kullanılan Neomisin , Trimetoprim , Tetrasiklin ve Lincomycin'e karşı gözlemlenmiştir[29].

Haziran ve Aralık 2000 tarihleri arasında Türkiye'deki farklı kümes hayvanı işleme tesislerinden 40 adet çiğ dondurulmuş öğütülmüş kümes hayvanı ve 40 adet dondurulmuş kümes hayvanı burger numunesi satın alınmıştır. *C. perfringens*, 40 öğütülmüş kümes hayvanı örneğinin 28'inden (%70,0) izole edilmiştir. *C. perfringens*, sıcak aylarda (%67,9) ekim ile aralık sonu (%32,1) arasında olduğundan daha yüksek bulunmuştur. Sonuç olarak, kara kümes hayvanlarının özellikle sıcak aylarda önemli bir *C. perfringens* kaynağı olduğu düşünülebilir. Bu bakterinin öğütülmüş kümes hayvanlarında yüksek görülme oranı, sağlıklı koşulların ve işleme tesislerinde uygunsuz muamelenin göstergesi olabileceği düşünülmüştür [32].

Staphylococcus

Staphylococcaceae ailesi üyesi olan Stafilokoklar, birden fazla düzlemde bölünerek çoğaldıklarından üzüm salkımı şeklinde görünüm veren, hareketsiz, sporsuz, oksidaz negatif, katalaz pozitif kok şeklinde bakterilerdir. *Staphylococcus aureus* normalde hayvanların, kuşların ve hayvanların derisinde ve iç organlarında bulunan Gram pozitif bir koktur. İnsanlarda belirli koşullar altında *S. aureus* septisemiye ve ciltte, eklemlerde ve kalpte enfeksiyona, sepsis ve ölüm gibi ciddi durumlara neden olabilir. *S. aureus*'un patojenitesi bazı öldürücü toksinlerin ve enzimlerin üretimi bazı öldürücü yüzey proteinlerinin varlığıyla ilişkilidir. Bu patojen dünya çapındaki en önemli patojenlerden biri olarak kabul edilir. Veterinerlikte antibiyotiklerin tehlikeli kullanımı insanlara bulaşabilen çoklu ilaca dirençli *S. aureus* suşlarının gelişmesine yol açmaktadır [33].

Stafilokok toksinleri gıda zehirlenmesi durumlarında ana etkindir. Bakteri uygun olmayan şartlarda saklanan yiyeceklerde ürer. Pişirme süreci onları öldürse de, enterotoksinler ısıya dayanıklıdır ve

dakikalarca kaynamaya bile dayanabilirler. ABD'deki Hastalık Kontrol ve Önleme Merkezine (CDC) göre, yılda 240,000 hastalık, 1000 hastaneye yatış ve 6 stafilokokal gıda zehirlenmesine bağlı ölüm meydana gelmektedir [34].

Tshwane Metropolitan'da belirlenen 13 pazardan Nisan ve Mayıs 2011'de altı marketten toplam 100 numune toplanmıştır. *S. aureus*'un genel prevalansı tüketime hazır tavuk örneklerinde %44 bulunmuş, tüketiminden enterotoksin alma olasılığının %1,3 olduğu tahmin edilmiştir[35]. Bakteriyolojik inceleme için Mısır'ın Kaliobyia vilayetindeki farklı süpermarketlerden 90 adet rastgele yarı pişmiş tavuk eti ürünü örneği (her biri 30 adet) toplanmıştır. Konvansiyonel kültür yöntemi kullanılarak yapılan incelemelerde *S. aureus* insidansı tavuk şeritleri, pane ve nugget'larda %20, %26,6 ve %26,6 olarak belirlenmiştir. Isıl işlem görmüş gıdalarda *S. aureus* varlığı yetersiz temizlenmiş ekipmandan bulaşma veya işlem sonrası gıda işleyicilerinden kaynaklanan kontaminasyon nedeniyle olabileceği düşünülmüştür[36].

Bacillus

Bacillus cereus Gram pozitif, spor oluşturan, fakültatif anaerobik çubuk şeklinde ve toksin kökenli gıda kaynaklı hastalıkların önde gelen etiyolojik ajanlarından biridir. *B. cereus*'un neden olduğu gıda zehirlenmesi kendini kusturucu veya ishal sendromu olarak gösterebilir. *B. cereus* 'un dünya çapındaki tüm gıda zehirlenmesi salgınlarının %1,4-12'sinden sorumlu olduğu tahmin edilmektedir [37]. 2018'de Avrupa Birliğinde kaydedilen 98 salgında *B. cereus* toksinleri, *Salmonella*, *Campylobacter*, *norovirüs* ve *Staphylococcus* toksinlerinin ardından beşinci sırada yer almıştır. Bunların arasında 100'den fazla kişinin etkilendiği büyük bir gıda zehirlenmesi salgını da görülmüştür[19].

Mısır'ın Sharkia Valiliği'nde et ve tavuk ürünlerinin *B. cereus* kontaminasyon düzeyinin tespit edilmesi amaçlanmıştır. Genel olarak incelenen 200 numunedan 43'ü (%21,5) *B. cereus* grubu tarafından kontamine olmuştur. *B. cereus* izolatları tavuk eti örneklerinde (%25,71) sık görülürken, en yüksek görülme sıklığını tavuk etinde (%30) gözlemlemişlerdir[38]. Kahire ve New Valley vilayetindeki farklı süpermarketlerden rastgele olarak dondurulmuş tavuk göğsü, dondurulmuş tavuk budu, tavuk öğle yemeği, tavuk burger ve tavuk sosisi (her biri 35 adet) içeren 175 örnek toplamıştır. *B. cereus*'u tavuk göğsü, but, burger, öğle yemeği ve sosislerden sırasıyla %8,6, %8,6, %17,1, %14,3 ve %11,4 oranında izole etmişlerdir[39].

Listeria

Listeria monocytogenes Gram pozitif, spor oluşturmeyen ve fakültatif anaerobik bir bakteridir. Listeriosis, genellikle *L. monocytogenes* bakterisi ile kontamine olmuş gıdaların tüketilmesinden kaynaklanan ciddi bir enfeksiyondur. Her yıl tahminen 1.600 kişi listeriosise yakalanıyor ve yaklaşık 260 kişi ölüyor. *Listeria* enfeksiyonunun belirti ve semptomları, enfekte olan kişiye ve vücudun etkilenen kısmına bağlı olarak değişir. Ateş, kas ağrıları ve yorgunluk gibi grip benzeri semptomlar, baş ağrısı, boyun tutulması, bilinç bulanıklığı, konfüzyon, denge kaybı ve nöbetler genel semptomlardır. Bakteriler en çok hamile insanları ve onların yeni doğan bebeklerini, 65 yaş ve üzeri yetişkinleri ve bağışıklık sistemi zayıf olan kişileri hasta eder. Bağırsak hastalığının belirtileri genellikle *Listeria* ile kontamine olmuş yiyecekleri yedikten sonra 24 saat içinde başlar ve genellikle 1-3 gün sürer ishal ve kusma görülür [40]. Listeriyozun yasal olarak bildirim zorunlu olduğu ülkelerde (örneğin Fransa, Almanya ve İsviçre) listeriosisin görülme oranı yılda milyon kişi başına yaklaşık 5 vakadır [41].

2012 ve 2017 yıllarında, Japonya Fukuoka'daki farklı süpermarketlerden sırasıyla, farklı vücut parçalarını içeren toplam 85 ve 50 tavuk eti örneği toplamışlardır. *Listeria monositogenes*'in tespiti, izolasyonu, tanımlanması ve karakterizasyonunu konvansiyonel yöntemlere göre gerçekleştirmişlerdir. 2012'de 85 örnekten 45'ini (%53), 2017'de 50 numunedan 12'sini (%24) pozitif bulmuşlardır. *L. monocytogenes* izolatları %46,7'si (2012) ve %82,6'sı (2017) çoklu ilaç direnci göstermiştir. Dirençli izolatların çoğunda *mecA* geni PCR ile pozitif bulunmuştur[42]. Çin ile Avrupa Birliği (AB) arasında canlı hayvan ve kümes hayvanları (sığır eti, domuz eti ve tavuk) etindeki *L. monocytogenes*'in yaygınlığını ve antibiyotik direnç oranını karşılaştırmak için bir meta-analiz yapmışlardır. Ocak 2001 ile Şubat 2022 arasında yayımlanan Çince ve İngilizce 2156 makaleden 91'i dört veri tabanından seçilmiştir. Çin ve Avrupa'da besi hayvanı ve kümes hayvanlarında *L. monocytogenes* prevalansı %7,1 ve %8,3 bulunmuştur [43].

Hindistan'ın Nalpur şehrinde 100 çiğ kanatlı eti örneğinden *Listeria* türlerinin fenotipik ve moleküler karakterizasyonunu gerçekleştirmişlerdir. *L.greyi* %15, *L.monocytogenes* %12, *L.walshimeri* %5, *L.innocua* %2, *L. seeligeri* %1 olarak toplam %35 *Listeria* spp. bularak yaygınlığın yüksekliğini ortaya koymuşlardır [44].

4. SONUÇ

Dünya kanatlı eti üretiminde son on yılda görülen artış özellikle Asya'da artan tüketimden kaynaklanmaktadır. Diğer bir neden de tüketiciler arasında hayvan refahı, çevreye duyarlılığın artması, sağlık kaygıları ve karbon ayak izi gibi konular nedeniyle tercihin sığır ve domuz etinden kümes hayvanları etine yönelmesidir. Bu durumun artarak devam etmesi ve kanatlı etine talebin artması beklenmektedir.

Başta tavuk eti olmak üzere kanatlı etlerinin mikrobiyal kalitesi kesim öncesi, kesim sırasında veya kesimden sonraki faktörlere bağlı olarak etkilenebilir. Kanatlılar taşıma, kesim, iç organların çıkarılması ve ambalajlama gibi basamaklarda kontaminasyona maruz kalmaktadırlar. Kanatlı etinin toksinlere ve/veya patojenlere maruz kalınmasından kaynaklanan gıda kaynaklı hastalıklar, halk sağlığında ciddi tehdit oluşturmaktadır. Yaşamı sürdürmenin ve sağlığı geliştirmenin anahtarı yeterli miktarda güvenli ve besleyici gıdaya erişimdir. Gıda güvenliğinin sağlanmasına yardımcı olmak için hükümetler, üreticiler ve tüketiciler arasında iyi bir işbirliğine ihtiyaç vardır.

REFERASLAR

- [1] A.Y. Yadkinson, N. Çağlarırnak, & Hepçimen A. Z. "Hayvanlardan insanlara geçen hastalıklar ve gıda güvenliği," Mersin Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi, vol.15(3), pp. 594–604. 2022, <https://doi.org/10.26559/mersinsbd.1073353>.
- [2] A. C. Sezgin, "Gıda Güvenliği Açısından Tehlike Oluşturan Bazı Bakteriler ve Sağlık Üzerinde Etkileri," Journal of Business Management and Economic Research, vol. 1, no. 1, pp. 1–9, Dec. 2020, doi: <https://doi.org/10.29226/tr1001.2020.227>.
- [3] P. Patel, A. S. Komorowski, and D. P. Mack, "An allergist's approach to food poisoning," Annals of Allergy, Asthma & Immunology, Nov. 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.anai.2022.10.021>.

- [4] M. B. Horeh, L. Elbakidze, and A. C. Sant’Anna, “Foodborne illnesses and product liability in the U.S.,” *Agricultural and Resource Economics Review*, vol. 52, no. 1, pp. 1–42, Apr. 2023, doi: <https://doi.org/10.1017/age.2022.25>.
- [5] F. Yücesoy and H. Kaya, “Kanatlı Et Kalitesi Üzerine Beslemenin Etkisi,” *Palandöken Journal of Animal Sciences Technology and Economics*, vol. 1, no. 1, pp. 42–53, Feb. 2022, Accessed: Apr. 26, 2024, <https://dergipark.org.tr/tr/pub/paste/issue/71334/1149004>
- [6] M. Grzybowska–Brzezińska, J. Banach, and M. Grzywińska–Rapca, “Shaping Poultry Meat Quality Attributes in the Context of Consumer Expectations and Preferences—A Case Study of Poland,” *Foods*, vol. 12, no. 14, pp. 2694–2694, Jul. 2023, doi: <https://doi.org/10.3390/foods12142694>.
- [7] USDA, “China’s Influence on World Pork Trade Has Become Significant,” 2016. https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/livestock_poultry.pdf
- [8] “Durum ve Tahmin Raporları,” *arastirma.tarimorman.gov.tr*, Dec. 12AD. <https://arastirma.tarimorman.gov.tr/tepge/Menu/36/Durum-Ve-Tahmin-Raporlari>
- [9] Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK). Erişim tarihi: 12.01.2024. <https://www.tuik.gov.tr/>
- [10] L. Sharif and T. Al-Malki, “Knowledge, attitude and practice of Taif University students on food poisoning,” *Food Control*, vol. 21, no. 1, pp. 55–60, Jan. 2010, doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2009.03.015>.
- [11] F. W. Brenner, R. G. Villar, F. J. Angulo, R. Tauxe, and B. Swaminathan, “Salmonella Nomenclature,” *Journal of Clinical Microbiology*, vol. 38, no. 7, pp. 2465–2467, Jul. 2000, doi: <https://doi.org/10.1128/JCM.38.7.2465-2467.2000>.
- [12] M. Cobo-Simon, R. Hart, and H. Ochman, “Gene flow and species boundaries of the genus Salmonella,” *MSystems*, Jul. 2023, doi: <https://doi.org/10.1128/msystems.00292-23>.
- [13] C. R. Braden, “Salmonella enterica Serotype Enteritidis and Eggs: A National Epidemic in the United States,” *Clinical Infectious Diseases*, vol. 43, no. 4, pp. 512–517, Aug. 2006, doi: <https://doi.org/10.1086/505973>.
- [14] Centers for Disease Control and Prevention, “Salmonella ,” Centers for Disease Control and Prevention, 2019. <https://www.cdc.gov/salmonella/index.html>
- [15] R. E. Castro-Vargas, M. P. Herrera-Sanchez, R. Rodríguez-Hernández, I. S. Rondón-Barragán, “Antibiotic resistance in Salmonella spp. isolated from poultry: A global overview,” *Veterinary World*, vol. 13, no. 10, pp. 2070–2084, Oct. 2020, doi: <https://doi.org/10.14202/vetworld.2020.2070-2084>.
- [16] Mst. S. Parvin, Md. M. Hasan, Md. Y. Alı, E. H. Chowdhury, Md. T. Rahman, And Md. T. Islam, “Prevalence and Multidrug Resistance Pattern of Salmonella Carrying Extended-Spectrum β -Lactamase in Frozen Chicken Meat in Bangladesh,” *Journal of Food Protection*, vol. 83, no. 12, pp. 2107–2121, Jul. 2020, doi: <https://doi.org/10.4315/jfp-20-172>.
- [17] M. H. G. Kanaan, Z. K. Khalil, H. T. Khashan, and A. Ghasemian, “Occurrence of virulence factors and carbapenemase genes in Salmonella enterica serovar Enteritidis isolated from chicken meat and

- egg samples in Iraq,” *BMC Microbiology*, vol. 22, no. 1, Nov. 2022, doi: <https://doi.org/10.1186/s12866-022-02696-7>.
- [18] Y.J. Chang, C. Chen, H.P. Yang, and C. Chiu, “Prevalence, Serotypes, and Antimicrobial Resistance Patterns of Non-Typhoid Salmonella in Food in Northern Taiwan,” *Pathogens*, vol. 11, no. 6, pp. 705–705, Jun. 2022, doi: <https://doi.org/10.3390/pathogens11060705>.
- [19] “Salmonella,” European Food Safety Authority, 2017. <https://www.efsa.europa.eu/en/topics/topic/salmonella> (accessed Dec. 16AD).
- [20] Md. A. H Chowdhury, Md. Ashrafudoulla, S. I. U. Mevo, Md. F. R. Mizan, S. H. Park, and S. Ha, “Current and future interventions for improving poultry health and poultry food safety and security: A comprehensive review,” *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, vol. 5, no. 567, Feb. 2023, doi: <https://doi.org/10.1111/1541-4337.13121>.
- [21] CDC, “Campylobacter (Campylobacteriosis),” Centers for Disease Control and Prevention, 2019. <https://www.cdc.gov/campylobacter/index.html>
- [22] E. Crushell, S. Harty, F. Sharif, and B. Bourke, “Enteric Campylobacter : Purging Its Secrets?,” *Pediatric Research*, vol. 55, no. 1, pp. 3–12, Jan. 2004, doi: <https://doi.org/10.1203/01.PDR.0000099794.06260.71>.
- [23] A. R. McWhorter, Gayani Weerasooriya, S. Kumar, and K. K. Chousalkar, “Comparison of peroxyacetic acid and acidified sodium chlorite at reducing natural microbial contamination on chicken meat pieces,” *Poultry science*, vol. 102, no. 11, pp. 103009–103009, Nov. 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.psj.2023.103009>.
- [24] N. Allocati, M. Masulli, M. F. Alexeyev, C. D. Ilio, “Escherichia coli in Europe: An overview,” *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 10(12), pp. 6235–6254. 2021, <https://doi.org/10.3390/ijerph10126235>
- [25] G. Schmiemann and E. H. Pradier, “Epidemiology of urinary tract infections,” *Nieren- Und Hochdruckkrankheiten*, vol. 36(7), pp. 252–257. (2007), <https://doi.org/10.5414/nhp36252>
- [26] A. R. Manges, “Escherichia coli and urinary tract infections: The role of poultry-meat,” *Clinical Microbiology and Infection*, vol. 22(2), pp. 122–129, 2016, <https://doi.org/10.1016/j.cmi.2015.11.010>
- [27] M. S. Islam, M. J. Hossain, M. A Sobur, S. A. Punom, A. M. Rahman, “A Systematic Review on the Occurrence of Antimicrobial-Resistant Escherichia coli in Poultry and Poultry Environments in Bangladesh between 2010 and 2021,” *BioMed Research International*, 2023, <https://doi.org/10.1155/2023/2425564>
- [28] P. Dawadi, S. Bista, “Prevalence of Colistin-Resistant Escherichia coli from Poultry in South Asian Developing Countries,” *Veterinary Medicine International*, pp. 1-5, 2021, <https://doi.org/10.1155/2021/6398838>
- [29] Z. Haider, T. Ali, A. Ullah, A. Basit, H. Tahir, H. Tariq, S. U. Rehman, “Isolation, toxinotyping and antimicrobial susceptibility testing of Clostridium perfringens isolated from Pakistan poultry,” 2022, *Anaerobe* 73, 102499

- [30] T. Grenda, A. Jarosz, M. Sapała, A. Grenda, E. Patyra, K. Kwiatek, “Clostridium perfringens—Opportunistic Foodborne Pathogen,” Its Diversity and Epidemiological Significance. *Pathogens*, vol. 12(6), pp. 1–12, 2023, <https://doi.org/10.3390/pathogens12060768>
- [31] E. Rana, A. Nizami, T. A Islam, M. S. H. Barua, M. Z. Islam, “Phenotypical Identification and Toxinotyping of Clostridium perfringens Isolates from Healthy and Enteric Disease-Affected Chickens,” *Veterinary Medicine International*, 2023. <https://doi.org/10.1155/2023/2584171>
- [32] Ö. Çakmak, F. Ormancı, M. Tayfur, İ. Erol, “Presence and contamination level of Clostridium perfringens in raw frozen ground poultry and poultry burgers,” *Turkish Journal of Veterinary & Animal Sciences*, vol. 30(1), pp. 101-105, 2006
- [33] W. A. A. El-Ghany, “Staphylococcus aureus in poultry, with special emphasis on methicillin-resistant strain infection: a comprehensive review from one health perspective,” 2021
- [34] S. M. Tallent, J. A. DeGrasse, N. Wang, D. M. Mattis, M. Kranz, “Novel platform for the detection of staphylococcus aureus enterotoxin B in foods,” *Applied and Environmental Microbiology*, vol. 79(5), pp. 1422–1427, March 2013, <https://doi.org/10.1128/AEM.02743-12>
- [35] j. W. Oguttu, C. M. E. McCrindle, K. Makita, D. Grace, “Investigation of the food value chain of ready-to-eat chicken and the associated risk for staphylococcal food poisoning in Tshwane Metropole, South Africa,” *Food Control*, vol. 45, pp. 87–94, Nov. 2014 <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2014.04.026>
- [36] A. sobhy, F. Shaltout, “Detection of some food poisoning bacteria in some semi cooked chicken meat products marketed at Kaliobyia governorate,” *Benha Veterinary Medical Journal*, vol. 38(2), pp. 93–96, 2020, <https://doi.org/10.21608/bvmj.2020.25547.1184>
- [37] A. A. Grutsch, P. Nimmer, R. Pittsley, G. Kornilow, J. McKillip, “Molecular pathogenesis of Bacillus spp., with emphasis on the dairy industry,” *Fine Focus*, vol. 4, pp. 203-222, 2018
- [38] A. Gharib, N. El-Aziz, M. Allam, “Multiplex Polymerase Chain Reaction for Detection of Toxin Genes of Bacillus cereus Group Isolated from Meat and Chicken Products.” *Zagazig Veterinary Journal*, vol. 48(4), pp. 457–470, 2020, <https://doi.org/10.21608/zvjz.2020.49230.1122>
- [39] R. S. Zaki and G. A. Hadad, “Rate of Salmonellae and Bacillus cereus in some Retailed cut-up Chicken and Poultry Meat Products,” *Journal of Advanced Veterinary Research*, vol. 9, no. 2, pp. 76–80, Apr. 2019, Accessed: Apr. 26, 2024. Available: <https://advetresearch.com/index.php/AVR/article/view/359>
- [40] Centers for Disease Control and Prevention, “Listeria (listeriosis) ,” Centers for Disease Control and Prevention, Feb. 06, 2024. <https://www.cdc.gov/listeria/index.html>
- [41] V. Garrido, L Torroba, I. García-Jalón, and Ana Isabel Vitas, “Surveillance of listeriosis in Navarre, Spain, 1995-2005 – epidemiological patterns and characterisation of clinical and food isolates,” *Eurosurveillance*, vol. 13, no. 49, Dec. 2008, doi: <https://doi.org/10.2807/ese.13.49.19058-en>.
- [42] Aye Thida Maung et al., “Antimicrobial resistance profiles of Listeria monocytogenes isolated from chicken meat in Fukuoka, Japan,” *International Journal of Food Microbiology*, vol. 304, pp. 49–57, Sep. 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2019.05.016>.

- [43] H. Zhang, X. Luo, Z. Aspidou, O. Misiou, P. Dong, and Y. Zhang, “The Prevalence and Antibiotic-Resistant of *Listeria monocytogenes* in Livestock and Poultry Meat in China and the EU from 2001 to 2022: A Systematic Review and Meta-Analysis,” *Foods*, vol. 12, no. 4, p. 769, Jan. 2023, doi: <https://doi.org/10.3390/foods12040769>.
- [44] S. R. Warke and S. S. Bobade, “Phenotypic and Molecular Characterization of *Listeria* Spp. from Raw Chicken Meat,” *Indian Journal of Veterinary Sciences and Biotechnology*, vol. 19, no. 6, pp. 86–89, Nov. 2023, doi: <https://doi.org/10.48165/ijvsbt.19.6.17>.