



**EÜ Ziraat Fakültesi Adına Sahibi (Director):**

**Prof. Dr. Banu YÜCEL**

Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dekan  
(Dean, Faculty of Agriculture - Ege University)

**Sorumlu Müdür ( Publishing Manager)**

**Prof. Dr. Özer Hakan BAYRAKTAR**

**Baş Editör (Editor- in-Chief ):**

**Prof. Dr. Galip KAŞKAVALCI**

**Yardımcı Editör (Associate Editor)**

**Prof. Dr. Cem KARAGÖZLÜ**

**Yabancı Dil Editörleri (Foreign Language Editors)**

**Prof. Dr. Adnan DEĞİRMENCİOĞLU**

**Prof. Dr. Eftal DÜZYAMAN**

**İndeks Editörü (Index Editor)**

**Doç. Dr. Gülfem ÜNAL**

**Teknik Editör (Technical Editor)**

**Doç. Dr. Çağrı KANDEMİR**

**ISSN 1018-8851**

**e-ISSN 2548-1207**

Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi; SCOPUS, EBSCO Clarivate Analysis Master Journal List, Zoological Record, DOAJ, TÜBİTAK/ULAKBİM, CAB Abstracts, FAO AGRIS ve NAL Catalog (AGRICOLA) tarafından taranan hakemli bir dergidir.

The Journal of Ege University Faculty of Agriculture is abstracted and indexed in SCOPUS, EBSCO Clarivate Analysis Master Journal List, Zoological Record, DOAJ, TÜBİTAK/ULAKBİM, CAB Abstracts, FAO AGRIS and NAL Catalog (AGRICOLA).

Dergimize yaptığınız atırlarda “Ege Üniv. Ziraat Fak. Derg.” kısaltması kullanılmalıdır.

The title of the journal should be cited as “Ege Üniv. Ziraat Fak. Derg.”.

## Konu Editörleri (Section Editors)

**Prof. Dr. Galip KAŞKAVALCI**

**Bitki Koruma**

(Plant Protection)

**Prof. Dr. Zümrüt AÇIKGÖZ**

**Zootekni**

(Animal Science)

**Prof. Dr. Cem KARAGÖZLÜ**

**Süt Teknolojisi**

(Dairy Technology)

**Prof. Dr. Fatma AYKUT TONK**

**Tarla Bitkileri**

(Field Crops)

**Doç. Dr. Arzu YAZGI**

**Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği**

(Agricultural Machinery & Technologies)

**Doç. Dr. Ali Rıza ONGUN**

**Toprak Bilimi ve Bitki Besleme**

(Soil Science & Plant Nutrition)

**Doç. Dr. İpek ALTUĞ TURAN**

**Peyzaj Mimarlığı**

(Landscape Architecture)

**Dr. Öğr. Üyesi Ece SALALI**

**Tarım Ekonomisi**

(Agricultural Economics)

**Dr. Öğr. Üyesi Emrah ZEYBEKOĞLU**

**Bahçe Bitkileri**

(Horticulture)

**Dr. İlkay ALKAN**

**Tarımsal Yapılar ve Sulama**

(Agricultural Structures & Irrigation)

**Yayın Tarihi: 29.03.2024**

**Yazışma Adresi**

(Correspondence Address)

Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dekanlığı, 35100 Bornova, İzmir, TÜRKİYE

e-mail: [ziraatbasinyayin@mail.ege.edu.tr](mailto:ziraatbasinyayin@mail.ege.edu.tr) – [ziraatbasinyayin@gmail.com](mailto:ziraatbasinyayin@gmail.com)

**Baskı:** Ege Üniversitesi Basımevi Müdürlüğü, Bornova – İZMİR, T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı Sertifika No: 18679



## Uluslararası Yayın Kurulu (International Editorial Board)

- Meryem ATİK**, Akdeniz Üniversitesi, TÜRKİYE
- George BAURAKIS**, Mediterranean Agronomic Institute of Chania, GREECE
- Kemal BENLİOĞLU**, Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, TÜRKİYE
- Süha BERBEROĞLU**, Çukurova Üniversitesi, TÜRKİYE
- Boris BILČÍK**, Slovak Academy of Sciences, SLOVAK REPUBLIC
- Vittorio CAPOZZI**, National Research Council of Italy, ITALY
- Vedat CEYHAN**, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, TÜRKİYE
- İlkay DELLAL**, Ankara Üniversitesi, TÜRKİYE
- Vedat DEMİR**, Ege Üniversitesi, TÜRKİYE
- Can ERTEKİN**, Akdeniz Üniversitesi, TÜRKİYE
- Hakan GEREN**, Ege Üniversitesi, TÜRKİYE
- Salim HIZIROĞLU**, Oklahoma State University, USA
- M. Ali KHALVATI**, Ontario Technology University, CANADA
- Figen KIRKPINAR**, Ege Üniversitesi, TÜRKİYE
- Ahmet KURUNÇ**, Akdeniz Üniversitesi, TÜRKİYE
- Monika MARKOVIC**, University of Osijek, CROATIA
- Pedro MARTINEZ-GOMEZ**, Biología Aplicada del Segura, SPAIN
- Hossein NAVID**, University of Tabriz, IRAN
- Barbaros ÖZER**, Ankara Üniversitesi, TÜRKİYE
- Sezen ÖZKAN**, Ege Üniversitesi, TÜRKİYE
- Erdoğan ÖZTÜRK**, Atatürk Üniversitesi, TÜRKİYE
- Reza Farshbaf POURABAD**, University of Tabriz, IRAN
- Ian T. RILEY**, The University of Adelaide, AUSTRALIA
- Roman ROLBIECKI**, Bydgoszcz University, POLAND
- Evangelia N. SOSSIDOU**, Veterinary Research Institute, GREECE
- Ali TOPÇU**, Hacettepe Üniversitesi, TÜRKİYE
- Serdar TEZCAN**, Ege Üniversitesi, TÜRKİYE
- Yüksel TÜZEL**, Ege Üniversitesi, TÜRKİYE
- Attila YAZAR**, Çukurova Üniversitesi, TÜRKİYE
- Banu YÜCEL**, Ege Üniversitesi, TÜRKİYE

## İÇİNDEKİLER (CONTENTS)

### ARAŞTIRMA MAKALELERİ (RESEARCH ARTICLES)

- Landscape significance and value of Ankara's first public green space: Millet Garden**  
Ankara'nın ilk kamusal yeşil alanı peyzaj önemi ve değeri: Millet Bahçesi  
Ali Kemal ARKUN .....1
- The effect of pre-harvest salicylic acid and gibberellic acid applications on-tree storability in 'Satsuma' mandarins (*Citrus unshiu* Marc.)**  
Satsuma mandarininde (*Citrus unshiu* Marc.) hasat öncesi salisilik asit ve giberellik asit uygulamalarının ağaçta depolamaya etkilerinin belirlenmesi  
Canan YILDIZ KUTLAR, Fatih ŞEN.....19
- The use of EUNIS habitat classification to assess ecosystem services capacity: the case of Mamak district (Ankara, Türkiye)**  
Ekosistem hizmetleri kapasitesini değerlendirmede EUNIS habitat sınıflandırmasının kullanımı: Mamak ilçesi örneği (Ankara, Türkiye)  
İrem TÜFEKÇİOĞLU, Muhammed Hakan ÇAKMAK, Çiğdem COŞKUN HEPCAN .....31
- Gender analysis of sweet potato production: the case of farmers in Delta State, Nigeria**  
Tatlı patates üretiminde cinsiyet analizi: Nijerya'nın Delta Eyaletindeki çiftçilerin durumu  
Ogheneakpobor OYIBO, Stella O.ODEBODE .....47
- The public extension in the last quarter century in Manisa Province in Türkiye**  
Son çeyrek yüzyılda Türkiye'nin Manisa İlinde kamu yayımı  
Murat BOYACI, Özlem YILDIZ.....61
- Heavy metal content of mountainous agricultural soils and ecological risk assessment in Gadabay district, Azerbaijan**  
Azerbaycan'ın Gedebay ilçesinde dağlık tarım topraklarının ağır metal içeriği ve ekolojik risk değerlendirmesi  
Mehmane SADIG .....73
- İkinci ürün olarak yetiştirilen bazı tatlı sorgum [*Sorghum bicolor* var. *saccharatum* (L.) Mohlenbr.] genotiplerinin verim ve verim öğelerinin belirlenmesi**  
Determination of yield and yield components of some sweet sorghum [*Sorghum bicolor* var. *saccharatum* (L.) Mohlenbr.] genotypes grown as a second crop  
Mızgin GÖLER, Mehmet Arif ÖZYAZICI .....87

**Aromatik bitki ekstraktları ile zenginleştirilmiş fonksiyonel elma suyu üretimi**

Production of functional apple juice enriched with aromatic plant extracts

Seda ERSUS, İdil TEKİN, Rahila VİSALİ, Zulfıya ALLAHVERDİYEVA, İrada ASKEROVA, Aybeniz

HASANOVA, Rovshan KAMALOV, Dürdane ALİYEVA .....103

**Sera biber yetiştiriciliğinde etkin mikroorganizma ve kompost kullanımı**

Effective microorganisms and compost use in greenhouse pepper cultivation

Esmâ TOPUZ, Yüksel TÜZEL, Mahmut TEPECİK, Tuğç DURDU.....113

**DERLEMELER (REVIEWS)**

**Karbon ayak izi ve yeşil organizasyon kavramlarına yönelik bibliyometrik araştırmalar**

Bibliometric research on carbon footprint and green organization concepts

İbrahim DURMUŞ, İlknur GÜCÜYETER..... 125

**Research Article**  
(Araştırma Makalesi)

Ege Üniv. Ziraat Fak. Derg., 2024, 61 (1):1-17  
<https://doi.org/10.20289/zfdergi.1180900>

Ali Kemal ARKUN<sup>1</sup> 

<sup>1</sup> Ministry of Family and Social Services,  
Ankara, Turkey.

\* Corresponding author (Sorumlu yazar):

[alikemalarkun@yahoo.com](mailto:alikemalarkun@yahoo.com)

## Landscape significance and value of Ankara's first public green space: Millet Garden

Ankara'nın ilk kamusal yeşil alanı peyzaj önemi ve  
değeri: Millet Bahçesi

Received (Alınış): 27.09.2022

Accepted (Kabul Tarihi):04.02.2024

### ABSTRACT

**Objective:** Some of the parliament buildings have public open and green spaces nearby. For instance, United States' Capitol Building has Capitol Grounds, Germany's Reichstag Building has Platz der Republik Park and Spreebogen Park, The Palace of Westminster of United Kingdom has Victoria Tower Gardens. These spaces originated as green public spaces associated with state. The parliament buildings are often landmarks. Their green spaces enhance the spatial quality. Green spaces make parliament buildings more attractive places to visit and work. There is no landscape architecture research on Türkiye's first parliament building's green space so called Millet Garden. The objective of this study is to identify historic features and evaluate components.

**Material and Methods:** The research is structured in qualitative research method and consists of four parts. The first part includes theoretical framework. The explanation of research design and the implementation of data collection method is the second part. The third part contains description of the site. The fourth part constitutes analyses the components of historic landscape in details.

**Results:** This study reveals the importance of the Millet Garden by evaluating it in terms of landscape architecture.

**Conclusion:** This study touches upon the importance and benefits of historic landscapes. Finally, the study revealed some directions for further studies.

**Keywords:** Historic landscape, identity,  
Millet Garden, open green space, urban  
heritage

**Anahtar sözcükler:** Tarihi peyzaj, kimlik,  
Millet Bahçesi, açık yeşil alan, kentsel miras

### ÖZ

**Amaç:** Bazı parlamento binalarının halka açık ve yeşil alanları bulunmaktadır. Bunlara örnek olarak, ABD'nin Capitol Binasının Capitol Grounds alanı, Almanya'nın Reichstag Binasının Platz der Republik Parkı ve Spreebogen Parkı, Büyük Britanya'nın The Westminster Sarayının Victoria Tower Bahçeleri verilebilir. Bu mekanlar, devletle ilişkili yeşil alanlar olarak ortaya çıkmış olup parlamento binaları genellikle sembolik yapılardır. Bu yapıların yeşil alanları mekansal kaliteyi artırmaktadır. Türkiye'nin ilk parlamento binasının Millet Bahçesi olarak adlandırılan halka açık yeşil alanı ile ilgili detaylı peyzaj mimarlığı araştırması bulunmamaktadır. Bu araştırma tarihi özellikleri belirlemeyi, analiz etmeyi ve değerlendirmeyi amaçlamaktadır.

**Materyal ve Yöntem:** Araştırma alanı Ankara Ulus Millet Bahçesi Ankara'nın ilk tasarlanmış kamu parkı olarak ele alınmıştır. Araştırmada nitel araştırma yöntemi kullanılmış olup dört bölümden oluşmaktadır. İlk bölüm teorik çerçeveyi içermektedir. Araştırma tasarımının açıklanması ve veri toplama yönteminin uygulanması ikinci bölümde yer almaktadır. Üçüncü bölüm araştırma alanının tanımını içermektedir. Dördüncü bölümde, tarihi kentsel peyzajın bileşenlerini detaylı olarak analiz edilmektedir.

**Araştırma Bulguları:** Bu araştırma, Millet Bahçesi'nin peyzaj mimarlığı disiplini açısından değerlendirilerek önemini ortaya koymaktadır.

**Sonuç:** Bu araştırma, Türkiye'deki tarihi kamusal alanların önemine ve yararlarına değinmektedir. Araştırma daha ileri çalışmalar için yönlendirme önerileriyle sonuçlanmaktadır.

## INTRODUCTION

The majority of the parliament buildings have green public spaces nearby. For instance, The Capitol, which is the parliament building of United States has Capitol Grounds (designed by Frederick Law Olmsted), The Reichstag, which is the parliament building of Germany has Platz der Republik Park (Königsplatz) and Spreebogen Park, The Westminster Palace, which is the parliament building of United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland has Victoria Tower Gardens. These parks originated as green spaces associated with the state. The parliament buildings are often symbolically important and architecturally impressive landmarks. Their green spaces enhance the spatial quality and identity. Green spaces make parliament buildings more attractive places to visit and work.

There is some research on historical parks and other Millet Gardens in Anatolia, but there is no study on a more specific and detailed landscape research on Ankara Millet Garden. Besides transforming the park plot into a paved square is on the agenda of the Ankara metropolitan municipality. This attempt could be an opportunity to rebuild and reshape Millet Garden. Hence a study was conducted and the objective of this study was to identify historic landscape features, analyze and evaluate components of public green space, which is called Millet Garden (Millet means Nation in Turkish). The Millet Garden can also be considered as the first designed public park in Ankara, where green spaces for public recreation were lacking.

The research is structured in qualitative research method and consists of five parts. Theoretical framework is given in the first part. Secondly, research design is explained. The description of the research area is provided in the third part. The fourth part features analyses of historic urban landscape components. This study revealed some recommendations and directions for further studies. This study is of importance and benefits of historical public landscapes in Türkiye.

## MATERIALS and METHOD

The literature review shows that there has been no detailed research within landscape architecture approach on Ankara Millet Garden. No research has been carried out specifically adopting an urban design and landscape approach. As a research location, Millet Garden did not attract many scientists. Besides, little attention is paid to the designed historic landscape of Ankara. Millet Garden is chosen because the general history and development of the site was not very well documented.

The objective of this study was to demonstrate the significance of the first designed public urban landscape of Ankara. This qualitative research seeks to examine how the Millet Garden was developed, how it was changed and why it disappeared. Therefore, case study method which involves the detailed examination of physical and social history was employed.

Illustrative case study method which is used to provide a detailed and descriptive account, is carried out to gain an in-depth understanding of Millet Garden. Carrying out an extensive analysis of Millet Garden is inevitable to interpret and evaluate data that contributes to its significance and integrity. It is important to identify the natural, cultural and social context for historic landscape.

The transformation process and the components of the research site are identified. Components define the archeological, landscape architectural features, values, and associations that make the landscape significant. The physical units provide an understanding of the designed landscape's evolution. The following components of historic landscape were analyzed:

1. History of the Site
2. Topography
3. Land Use and Settlement History

4. Vegetation
5. Design and Spatial Organization of the Park
6. Circulation
7. Buildings, Small Scale Features and Structures of the Park

These landscape components are determined according to National Park Service's cultural landscape studies (an agency of the United States government), Parks Canada's cultural heritage studies (the agency of the Government of Canada), ICOMOS Historic Urban Public Parks' approach and UNESCO's Historic Urban Landscape approach.

In this context, the data used to support this study were obtained from many different sources such as books, articles, drawings, old images, historic maps and plans. General Directorate of Mapping and The Vehbi Koc and Ankara Research Center's Archives were especially used for obtaining historical visual data. The analysis of qualitative data entails the exploration of all the data that is found.

### **Theoretical framework**

The natural landscapes have been shaped from the beginning of human history. Agricultural and religious practices which began thousands of years ago, can be regarded as the first interventions on natural open landscapes. The development of agriculture created early settlements (villages) with kitchen gardens, roads and water storages. The early gardens where vegetables, grains and fruits were cultivated, were the products of the basic human need, which is food. The history of gardens overlaps with the history of agricultural lands (Turner, 2005). Gardens and parks can be regarded as the product of human effort to control, change and imitate earth and nature. They can be regarded as the connection between nature and human beings. The designed green spaces which were not defined as parks and gardens existed since the ancient times in the cities. Gardens have been created in different parts of the world with various styles for thousands of years. West Asia region not only consists of very old cities but also first garden designs with different uses. Mesopotamia civilizations (Sumerians, Akkadians, Assyrians, and Babylonians) were urban and literate from about 3,000 BCE and evidence for their gardens especially temple gardens comes from written texts, pictorial sculptures, and archaeology (Dalley, 1993). Vegetable, herb, fruit and medicinal gardens as well as temple gardens were built by Ancient Egyptians. Their gardens were usually walled and had pools and native plants (Anonymous, 2021a).

Like the Egyptians, upper-class Assyrians enjoyed gardens and they created large hunting parks but they also made pleasure gardens irrigated by water canals (Lambert, 2021). The earliest Chinese gardens (1600-1046 BC) were created as large enclosed parks where the kings and nobles hunted game, or where fruit and vegetables were grown (Yuhao, 2022). The Greeks developed public gardens, as meeting and market places protected within city walls (Anonymous, 2021b). Egyptian, Persian, and Greek gardens became a part of Roman horticulture, producing villa and palatial pleasure gardens usually in courtyards for relaxation and rejuvenation along with public parks and gardens meant for enjoyment or for exercising in (Anonymous, 2018). Roman civilization influenced garden design around Europe. Spain was influenced by the Islamic, Moroccan and Andalusian design and paradise gardens were built. The Ottomans built palaces and religious centers with gardens mostly in Istanbul and Bursa. In short, gardens were private and had symbolic and ritualistic significance.

Garden designs have evolved around the world and their area of coverage increased. The concept of 'park' came to be sometimes used synonymously with words such as garden, square, or similar expressions (ICOMOS, 2017). The first parks can be the property of the royal or wealthy families and were used leisurely for pleasure serving for activities such as horse-riding, celebrations, walking, fishing, and hunting. These parks were enclosed areas secured by a wall or fence. The size and features of the parks were also an indication of the owner's wealth and status. The first known use of the word 'park' is from the late 13<sup>th</sup> century (Merriam-Webster, n.d.). Middle English: from Old French "parc", from medieval Latin

“parricus”, of Germanic origin; related to German “Pferch” ‘pen, fold’, also to paddock and it was originally a legal term designating land held by royal permission for keeping game animals: this was enclosed and therefore distinct from a forest or chase, and (also unlike a forest) had no special laws or officers. In this study, park and garden terms are used interchangeably because both refer to public urban green open spaces (Oxford, n.d.).

There are many definitions of the word park. A park is the green and open space where hard landscape or soft landscape or both designed or planned to serve various functions. Any public or private land set aside and availed for recreational, educational, leisure, cultural, scenic, or aesthetic use, or for preservation of open space with vegetation or such features is called a park (Gardenvisit.com, 2021). A park can either be considered as a necessity or as a luxury. Parks can be categorized as natural, man-made or according to their size. Parks have various types such as national parks (Yellowstone, USA), conservation parks (Birmingham Wildlife Conservation Park, UK) public gardens (Abbotsbury Garden, UK), neighborhood parks, or sports parks (Hamilton) (Turner, 2005).

City roads, junctions, some cemeteries and squares such as Greek Agoras / Roman Forums can be regard as the pioneers of the open and semi-open public spaces. The squares were functioned as formal and informal gathering spaces for various activities such as religious, commercial, political and celebratory events. The 19<sup>th</sup> century Victorian writer, John Ruskin, made the observation, "The measure of any great civilization is its cities; and the measure of a city's greatness is to be found in the quality of its public spaces — its parkland" (Hinds, 1979).

The content and definition of public space has been changing due to globalization. Parks and gardens became public after social revolutions and reforms. The concept ‘public park/garden’ rests on the principle of openness and accessibility for all people to visit and enjoy. The concept is not limited or defined by size. Public parks are typically in public ownership and represent common wealth (Sadeghian & Vardanyan, 2015). The oldest public park of a city or town could be a cemetery without trees. But cemeteries were built spaces and were not active green spaces and where not used for recreational activities. Public parks are very important subject of urban life, landscape architecture and urban design. Johann Peter Willebrand who was a German judge, historian and author, demanded in 1775 that public gardens should be created inside the town or in its immediate vicinity (Sadeghian & Vardanyan, 2015). In France, the public function of parks was pointed out, though without any substantial alterations being proposed as to their arrangement. Thus in 1774 Watelet, in his essay *Essai sur les jardins* (Essay on Gardens), wrote that in large cities the “royal parks” should be regarded as public walking grounds (Andela, 1981).

Many sources claim that the modern public park was first seen in England in the 18<sup>th</sup> century. In 1840, Derby Arboretum and public park was opened in the city of Derby and is often described as England's first public park. The land was a private garden. It was donated by the mayor of Derby and designed by a Scottish botanist and garden designer John Claudius Loudon (Kirby, 2015). The historic green landmark which was an inspiration for New York's Central Park has historic buildings, fountains, statues, ornaments and a collection of trees. The oldest public park in the United States is in Boston Common. It is located in the heart of Boston. Although the footprint of Boston Common has changed only marginally over its history, it has undergone numerous interventions that have transformed it from an open field into a landscaped park (Westerby, 2021). The park which is designated as a national historic landmark, today contains monuments, a statuary, ponds, fountains, spray pools, bandstands, a baseball field and tennis courts. The public park movement was followed by Princes Park in the Liverpool in 1842, Peel Park in the Salford in 1846, and Central Park in the New York City in 1857 (Tan & Jim, 2017).

The concept of opening urban green spaces to the public started in late 19<sup>th</sup> century and spread to the world. Furthermore, as cities expanded and urban population increased, the private gardens and parks opened to the public. They became premium for city centers because of their health, cultural,



economic, social and environmental benefits to community. Public parks improve the quality and enhance the livability of a neighborhood or a city. Public parks have great significance when it comes to protection of health, welfare and the integration of cultural diversity. Moreover, parks serve essential roles for erosion control, water storage, carbon sequestration and reducing habitat fragmentation. Public parks are inevitable components of cities that maintain the well-being of humans. Cities are living laboratories where various studies are conducted. Public parks are the subject of many disciplines.

Fundamental to the identity of historic urban parks is their composition and dependency on such elements as vegetation, architectural elements, water features, paths, or topography. These elements contribute to their character, seasonal interest, shade, and spatial and visual identity (ICOMOS, 2017).

Millet (Nation) Gardens can be regarded as the first public parks in Anatolia. The origin of the "Millet (Nation) Garden" name is unknown, though the name possibly comes from late 19th century Ottoman Government's reform efforts to unite Muslim and non-Muslim population and create only one Ottoman Nation (Sağlık et al., 2021). It is known that the 19th century passed with reforms for the Ottoman Empire due to the westernization movement. Provincial Municipality Law, which was declared in 1877 was a significant reform for establishing the city scale governmental organization, in other words, municipalities. According to this law, municipalities became responsible for landscaping (Coskun et al., 2021). Several parks and gardens of France were opened to the public in late 19th century. This development inspired the Ottoman Government to create public gardens in big cities. Therefore, the first Millet Gardens (Taksim Millet Garden, Uskudar Sarıkaya Millet Garden and Sultan Ahmet Millet Garden) which were located in Istanbul, can be regarded as an effort for transforming society and for the sake of socialization. Following Istanbul, Millet Gardens were built in the big cities of Türkiye (Sağlık et al., 2021). The main focus of the study is Ankara Millet Garden which can be considered as the first urban public green space of Ankara, capital city of Turkish Republic. This research investigates the development, the design evolution, and the significance of the Millet Garden which was laid out and linked to the Parliament Building at the time.

### **Ankara and Millet Garden**

The Republic of Türkiye in Anatolia was established in Ankara after the fall of Ottoman Empire in 1923. At that time, Ankara which was a small historic town with an organic historic urban fabric around the historic castle, had a population of 75000 (Arkun, 2012). Ankara's 2023 population is estimated around 6 million. Ankara has a rich history. It was home to many eastern and western civilizations such as Hittites, Phrygians, Lydians, Persians, Macedonians, Galatians, Romans, Byzantines, Seljuks, and Ottomans. Ankara has an archeological record of more than 4000 years of human use. The historic quarter of the city developed around Hatip River, flat arable land and old castle hill which is considered as the oldest settlement area of city center. The Ankara Castle, which is located on top of a high hill and visible from afar, was the center of the historic settlement and had dominance over the surrounding geography. The historic city core grew organically. Ankara became a walled city after a defensive wall was built in early 1600s and demolished in the late 19th century (Erdoğan et al., 2008). Historic core of the city had several different sized squares and defensive wall gates. Ten city gates were drawn on Von Vincke's 1839 Ankara Map. The Millet Garden's land lot was very close to the demolished west of the defensive wall, Istanbul Gate and it was used as a city cemetery till the beginning of the 20th century (Tunçer, 2019).

Ankara was declared as the capital of Türkiye on 13 October 1923. However, at that time new capital's urban standards were not adequate. The organic urban form of the historic core was extended with a gridiron urban layout and uneven (squatter) settlement during 20th century. The new administration center required to provide public service spaces and commercial functions. Ankara was planned to be a model city for the whole country and as the symbol of the Republic. The main reason was to develop a modernized urban settlement and a new city life for the new Republic. Republican ideals, which aimed at

radical social and cultural change, could not have been successful unless at the same time a conscious spatial change took place (Uludağ et al., 2005).

In 1892, Ankara Train Station was opened and İstasyon (Station) Avenue was built to connect the city center to the train station. Originally a narrower thoroughfare, İstasyon (Station) Avenue was widened, both sides were planted with trees and used during the 20<sup>th</sup> century. In this context, a new square which is called Ulus (Nation) was constructed at the east end of İstasyon Avenue where three other avenues from other directions meet. Ulus Square can be considered as the west end of the historic core. Ulus Square became very popular and symbolic after the first Turkish Grand National Assembly (parliament) building was opened in 1920. Designed in late Ottoman style, the construction of the building as of The Committee of Union and Progress Headquarter was started in 1915. The one story building which serves as Independence War Museum, has a rectangular ground plan, built in andesite stone and houses Grand Assembly Hall, Assembly President's Room, Chambers of The Ruling Council, Committee Room, Legislative Committee Room, Administration Room, lobby and a prayer room (Anonymous, 2015).

After the republic was officially proclaimed on October 29, 1923 the Ulus Square were Millet Garden was located became the national symbol and gained significance.

## **FINDINGS**

Millet Garden was evaluated according to the below components of historic urban landscape.

1. History of the Site, 2. Topography, 3. Land Use, 4. Vegetation, 5. Design and Spatial Organization of the Park, 6. Circulation, 7. Small Scale Features and Structures of the Park

### **1. History of the Site**

Ankara has been settled since 1600 BC, Hittite Empire. Some of the Millet Garden's land could be originally settled during Roman Galatia period. Roman Galatia was established by the first Emperor of the Roman Empire, Augustus in 25 BC. Before the city cemetery, the defensive city wall which was built in 3<sup>th</sup> Century, was passing through the park site. There could be some structures from Roman period because there was a Palatium (palace) or Public Bath and Cardo Maximus (the main north-south road) on east and Nymphaeum (ancient Roman sanctuary consecrated to water nymphs) on north of Millet Garden. Palatium and Nymphaeum ruins were documented by Turkish Archaeologist Mahmut Akok in 1954 (Görkay & Kadioğlu, 2007).

Millet Garden was opened in the beginning of 1900s when Ankara Governor Resit Bey decided to establish an open and attractive green space (Arkun, 2012). The green space land which belonged to Kizilbey Foundation, was a city cemetery for a long time. Governor Resit Bey turned the cemetery into a park which would be accessible to the public. Millet Garden was also known as Belediye (Municipality) Garden or Concert Garden (Arkun, 2012). It was to be the first public park in Ankara, probably the frequently used park of the new capital in Ulus Historic Center. According to Memluk (2009) the park was designed by Agriculturalist Muhittin Bey who was one of the teachers of the Agricultural School.

Princess Kadria Hussein who was one of the last princesses of Hidiv descendance in Egypt, wrote a book about Ankara and Turkish Revolution in 1921. The book was called Lettres D'angora La Sainte (Letters from Angora the Holy) and it was written in French. She stated that 'The Millet Garden which is opposite the Parliament Building has relaxing feature. This is the meeting place for everyone. Because there is a building with a restaurant and a coffee house in the middle of this triangle shaped site and the site was decorated with flowers. In summer and winter there is no other drink other than cold drinks and tea' (Hussein, 1921).

Grace Ellison, who was British journalist, wrote a book called An Englishwoman in Angora in 1923. In her book she stated the following: "When I arrived in Millet Garden one afternoon, the orchestra band

started playing. I think to myself, it was a very strange way of going to the serious duty of parliament. The band kindly asked me to a wish song. I asked for the Turkish music. One of the deputies wrote an opera". (Ellison, 1923). The park was demolished in late 1950s and row shops were built on the north and west of the land. The shops were small and one story. The shops burned in early 1960s and the site was completely cleared to build an office and shopping building complex called 100.Yil Carşısı (100<sup>th</sup> Year Shopping Center). When the renewal plan for Ulus district was brought to the agenda in 2018, demolition of 100<sup>th</sup> Year Shopping Center building complex was planned. However, the demolition was stopped by a court decision. Ankara Metropolitan Municipality opened an architectural competition in May 2022 to renovate the building, claiming that it is a cultural asset and an example of modern architectural heritage. The Ankara Metropolitan Municipality conducted a survey on July 2022 to obtain opinions from the public about whether the 100<sup>th</sup> building complex should be demolished or not (Anonymous, 2022). Therefore, the demolition was decided and completed in mid 2023.

## 2. Topography

Old maps, plans, drawings and photographs were analyzed to understand former landscape. Topography of the park (39°56'31.0"N 32°51'15.9"E) was in the elevation range of 870-875 meters. Elevation was lower than the surrounding landscape. When the park land was used as cemetery, the topography of the park was characterized by rocks. It had rock, rough, undulating terrain and the park was not generally steep and general slope was from east to west. It could appear rather featureless. In the early 1900s, site grading work was carried out, topography was flattened to create the park area (Figure 1). Flat land which was 8000 m<sup>2</sup>, created views towards the parliament building and the west side of the park.



**Figure 1.** Flattened Millet Garden land, its fences and Parliament Building in 1922. Source: Gadmer, 1922.

**Şekil 1.** Bastırılmış Millet Bahçesi arazisi, çitleri ve Meclis Binası, 1922. Kaynak: Gadmer, 1922.

In 1930s, a few narrow terraces were built on east boundary. Topography was completely changed when foundation excavation of 100.Yil Shopping Center was started in 1970s.

## 3. Land Use and Settlement History

Millet Garden was located at Ulus Square and both were interconnected. This important urban node was surrounded by mixed land use. The east, west and south of the park had governmental and administrative uses and north of it had commercial uses. Besides, it was very close to residential district. The main entrance of Millet Garden was from Ulus Square. After the parliament building was opened, Ulus Square became one of Ankara's most vibrant space in the historic center of the city. The square is a crossroad of four important avenues. Ulus Square hosted many official and cultural celebrations, commercial events and demonstration.

Like other squares, Ulus Square and its land use was changed over the years. Some of the historical buildings which were vanished are listed below.

1. City (Kizilbey) cemetery which existed from 19<sup>th</sup> to the 20<sup>th</sup> century
2. Tashan Hotel (Hotel d'Angora) which existed from 1895 to 1935 was situated on the northeast

3. Hariciye Vekaleti (the department of state) Building which existed from 19<sup>th</sup> century to 1935 was situated on the south
4. Kizilbey Mosque and Tomb which existed from 12<sup>th</sup> century to 1925 was situated on the south
5. Mustafa Tevfik Efendi Hani which was inside the park land, existed from 19<sup>th</sup> century to early 1920s
6. Dar'ül-Muallimîn Building (Teacher Education School later Ministry of National Education) which existed from 1895 to 1935 was situated on the east (Figure 2).
7. Two story traditional buildings which existed from 18<sup>th</sup> century to late 1950s, was situated on the east and north
8. City Shopping Center (Şehir Carşısı) which was built on the east edge of the park in 1930s, was narrowed the park land and caused the change of initial park design.



**Figure 2.** Dar'ül-Muallimîn Building (School for Educating Male Teachers) which existed from 1895 to 1935 and two story traditional buildings were situated on the east of site. Ankara Castle on the background, gazebos, boundary wall and fence, deciduous trees, planting beds and rocky part of the site is seen. Source: School for Educating Male Teachers, 1901.

**Şekil 2.** 1895-1935 yılları arasında var olan Dar'ül-Muallimîn Binası (Öğretmen Yetiştirme Mektebi) ve alanının doğusunda iki katlı geleneksel yapılar yer almaktadır. Arka planda Ankara Kalesi, çardaklar, çevre duvarı ve çitler, yaprak döken ağaçlar, dikim tarhları ve alanının kayalık kısmı görülmektedir. Kaynak: Erkek Öğretmenler Yetiştirme Okulu, 1901.

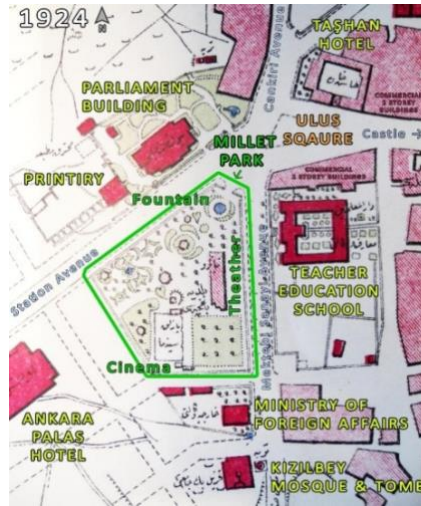
There was a one and a half story timber building inside the parkland. The building was called Mustafa Tevfik Efendi Hani. Mustafa Tevfik Efendi was the governor of Ayas district (Erdoğan et al., 2008). His building which existed from 19<sup>th</sup> century to early 1920s in the Millet Garden land was used as his residence. The west facade of the building had an entrance in the middle of the building and eight arched windows. The focal point was the two winged arched main door. Building had a basement which was probably made of local stone and used as cellar and supporting foundation. There was a porch above this basement. The porch extended across the all sides, had wooden columns, posts and railings and function as a transition space between indoor and outdoor. The porch was not a common architectural element in historic quarter of Ankara. The roof had gable on all sides. The size, style and detailing of the porch and roof define the building's historic character. After Mustafa Tevfik Efendi left the residence, building was used as an entertainment venue such as music hall, coffee shop or restaurant (Arkun, 2012). This change increased the popularity of the space (Figure 3). The building was demolished in early 1920s to build the Millet Garden. The gate of the park was directly opposite of Parliament Building's gate (Figure 4).

The east and north border of the park was demolished in late 1930s to make room for the one story commercial building which was called City Shopping Center (Şehir Carşısı). Park area was narrowed, some trees were cut down and fountain. The building, which was designed by Austrian architect Robert Oerley, had L-shaped floor plan and contained restaurant, patisserie, book stores, retail shops (Erdoğan et al., 2008). This commercial building was demolished in late 1960s. Millet Garden site's boundaries for a long time (nearly from 1930 to 1955) were Parliament Building, Ulus (Nation) Square, Zafer (Victory)

Monument, Sumerbank Building and Çankırı Avenue on the north, İstasyon Avenue and Ankara Palace Hotel) on the west, Mekteb-i Sanayi (later Atatürk) Avenue and Dar'ül-Muallimîn Building (Teacher Education School) on the east and Inebolu Street and Central Bank Building on the south (Acar, 2013).

In 1953, an architectural competition was launched to design a shopping and office building complex on the north of the park. Ulus Office and Shopping Complex was opened in early 1960s (Acar, 2013). The complex has five-story shopping block and a fifteen-story. It is not an appropriate structure within the historic city center. The crossroad was changed and Zafer (Victory) Monument was moved in front of the open space of Ulus Office and Shopping Complex. In the years that followed, the Ulus Square and its vicinity became the center of Ankara and intensively used. The park was demolished in late 1950s one story row shops was built on north and east of the land and in late 1960s. 100.Yil Carşısı (100<sup>th</sup> Year Shopping Center) construction was started in 1967 and completed in early 1980s (Acar, 2013). It has shopping center block (80 stores and 5 storey) and 10-storey office building.

As a result, Millet Garden, cultural landscape component was lost. It can be inferred that surrounding buildings were historic landmarks and had significant role for the whole country.



**Figure 3.** İstanbul Military's Department of Mapping prepared the 1/4000 scale map of Ankara, in 1924. This map shows the Millet Garden in detail and surrounding spaces. Source: Ankara Settlement Map, 1924.

**Şekil 3.** İstanbul Askeriyesi Harita Dairesi Başkanlığı 1924 yılında 1/4000 ölçekli Ankara haritasını hazırlamıştır. Bu haritada Millet Bahçesi ve çevresi ayrıntılı olarak gösterilmektedir. Kaynak: Ankara Yerleşim Haritası, 1924.



**Figure 4.** Millet Garden and its vicinity's urban fabric, land use in late 1930s. Source: Cangır, 2007.

**Şekil 4.** Millet Bahçesi ve çevresinin kentsel dokusu, 1930'ların sonlarında arazi kullanımını. Kaynak: Cangır, 2007.



#### 4. Vegetation

The climate of the area is cold, usually snowy in winters and hot and dry in summers. Temperature varies more from summer to winter. The park land was rocky and specific information on the vegetation of the site before the park construction is very limited. Old photographs provide an insight into composition of species in the park. One may suppose that the vegetation was not varied and was predominantly grasses and grass-like low plants.

The planting design of the park did not offer a variety of plants. The plant palette was limited. It could be understood from the old photographs (1920s-1950s) that deciduous trees and shrubs were used (Figures 4 & 5). The use of deciduous plants could be considered as climate-wise soft landscaping. Because the winters are usually harsh, sun is needed and tree canopies provided shade during hot summers. Separate lawn areas were created probably distributed (Figure 5). All plants could have been native. Trees were planted in lines next to or within the edge of walkways and north and east boundary to emphasize the rhythm of movement through the landscape. The main trees could have been Black Locust (*Robinia pseudoacacia*), White Poplar (*Populus alba*), Common Ash (*Fraxinus excelsior*). Shrubs were closely planted to form hedges. Their species were not determined. These hedges were mainly used as physical barriers and space defining element (Figure 3). Vertical planes of the park formed by these dense tree planting. The findings of this study claim that conifer species were not used in the park. The tree plantation and landform significantly affected of the microclimate of the park. The 1924 Ankara Map shows the position and the components of the park in detail. Star, crescent, oval and ellipse shape planting beds and trees were mapped (Figure 3). These planting beds were character-defining elements of the park and probably lawn was planted. The bordering avenues were planted with deciduous trees in rows. Several trees and shrubs were removed from the east and south border of the park in early 1940s due to shopping center construction. However, dense deciduous tree canopies are seen in 1940s photographs (Figure 5). The trees provided shade and create a microclimate effect in hot dry summer. The vegetation had played a significant role in the definition of spaces throughout the park. Unfortunately, all planting was removed in late 1960s. It could be concluded that the vegetation created an 'urban oasis' that functions as a passive space to relax and active space for cultural events and collectively give a landscape character.

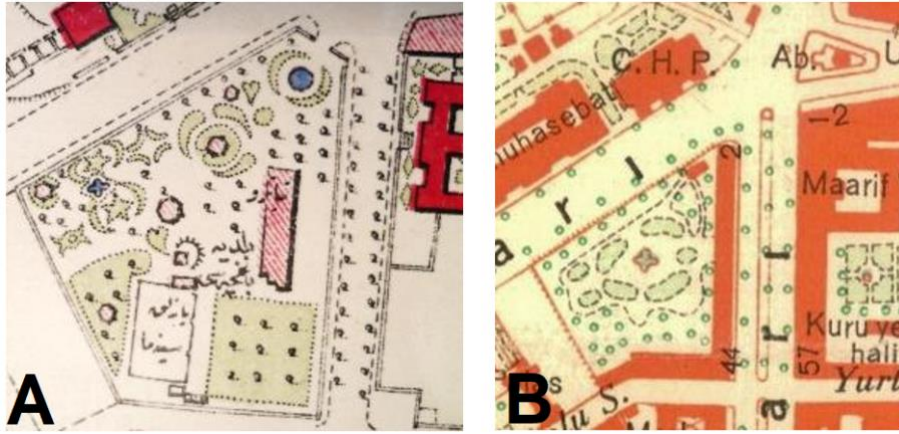


**Figure 5.** Deciduous trees, shrubs and lawn were seen in early 1930s. Source: Cangır, 2007.

**Şekil 5.** 1930'ların başında yaprak döken ağaçlar, çalılar ve çim görülmektedir. Kaynak: Cangır, 2007.

#### 5. Design and Spatial Organization of the Park

The 1924 and 1944 Ankara Maps and old photographs are useful sources to interpret the general layout and design approach of the park (Figure 6). The initial park design was changed throughout history. The plot had five sides and was approximately 7800 m<sup>2</sup> and narrowed in late 1930s.



**Figure 6.** Millet Garden landscape design and details in 1924 Settlement Map (A.) and 1944 Ankara Map (B.) Source of A: Ankara Settlement Map, 1924. Source of B: Ankara Settlement Map, 1944.

**Şekil 6.** 1924 Yerleşim Haritası (A.) ve 1944 Ankara Haritası (B.) Millet Bahçesi peyzaj tasarımı ve detayları. Şekil A. Kaynak: Ankara Settlement Map, 1924. Şekil B. Kaynak: Ankara Settlement Map, 1944.

The first design of the park included both formal and naturalistic, informal shapes. According to 1924 Ankara map, formal shapes were three rectangles and served as a one story theater building, outdoor cinema area and tree planted resting area and informal shapes were star, crescent, oval and ellipse shaped planting beds or grassed area (Figure 6 A.). They could be considered as interesting ground forms. A circle fountain was designed on the entrance. The fountain and parterres laid out along the axis of the main entrance. Besides, on the 1924 Ankara map five octagonal shaped structures were seen. They were wooden gazebos in various sizes. Gazebos were freestanding, open on all sides, ornamental features and a shade place to rest. The park site was divided into spaces for theater building, open air cinema area, resting areas and two decorative circular fountains. The theater building and open air cinema area was placed parallel to east border. These cultural activity spaces increased popularity and usage of the park. The main entrance was on the corner of Ulus Square where İstasyon (Train Station) Avenue and Bankalar (Atatürk) Avenue meet (Figure 6 B.). The main entrance location was perfect because it directly connects the park with the square and parliament building. The two guardhouses were placed on both sides of the entrance and they create a welcoming arrangement. The main entrance location and design were changed through the years. After the Ulus City Shopping Center was built in late 1930s, the main entrance was in the middle of the City Shopping Center. In 1940s another entrance with a few steps was opened on north wall. This entrance was across the Parliament Building and a small, one story building was built next to it. The park had stone boundary wall with wooden railings which were not very high. It deterred access to park while allowed light and visibility. On the north of park wall was also used as a protection against accidental falls to İstasyon Avenue.

The design of the park was changed, after the City Shopping Center was built in late 1930s (Figure 5). The second design did not rely on symmetry. The curved lines and naturalistic shapes were used and more relaxed feel and softening effect on surrounding buildings were achieved. The new design approach created irregularity and softness within the space. This was associated more with nature, tree planting and asymmetrical balance. Theater and cinema spaces were removed. The decorative circle fountain was moved to center of the park to create a gathering and resting space. Benches were placed around the fountain and this space became the focal point. The visual interest was heavily weighted towards the spreading tree planting. Hermann Jansen who prepared the Ankara Master Plan in early 1930s, protected the function of the site as an open and green space. In his plan Konser Bahçesi which means "Concert Garden" was written. Occasional concerts were performed in the park. In conclusion, the geometry of the design where organic forms and meandering lines were used, was romantic in character. The park had

various character defining features and sub-spaces. The informal design style determined the main form and functionality of the park. This style values nature and visually appealing and natural-looking. This informal asymmetrical balance provided order and unity. A hierarchy of spaces was created ranging in size from intimate small-silent spaces where one can rest or read a book to larger open areas for gatherings and events. The only public green space showed its splendor and innovation with its design. On this basis, it may be inferred that a new landscape fashion was established for new republic. Not only was the standard of design high, but the social organization (with theater, cinema concerts and other events) was also up to high standard for a new capital.

## 6. Circulation

The circulation was one of the defining features of historic landscape. Footpaths reflected the pattern of movement. Since the early twentieth century, especially after Ankara train station and then the Turkish Grand National Assembly (parliament) building were opened the pedestrian and vehicular traffic were increased in Ulus Square. The front of the entrance was used as a public transportation hub in early 1930s and the neighborhood of the park was rapidly built up with government and banks buildings. Therefore, Millet Garden became a very popular spot. According to the first design of the park, circulation network had five major features main entrance, fountain, gazebos, theater and outdoor cinema. The park design was reshaped following the opening of Şehir Shopping Center in 1930s. The landscape was developed as a series of curves; most of the curvilinear planting beds were removed. This change affected the circulation. Changes to circulation included the change of main entrance and the addition of entrance. The gate of the park was on the corner of Ulus Square where İstasyon (Train Station) Avenue and Bankalar (Atatürk) Avenue meet (Figure 2, 5). The gate location was perfect because it directly connects the park with the Ulus Square and parliament building. The circulation paths were almost in same level and they were local soil. The original gate was demolished because of the Ulus City Shopping Center construction on east boundary. The new gate was opened in the middle of Şehir Shopping Center. In late 1930s, a new entrance was opened on the north boundary by demolishing the part of boundary wall. This entrance had a door, steps and probably used by parliament members As a result, both designs were laid out with a network of curving and winding walks that constitute systems of movement which made visitors' experiences as comfortable and enjoyable as possible.

## 7. Small Scale Features and Structures of the Park

The historic character of the park was its physical appearance as it has evolved over time. The first design (from early 1920s to mid 1930s) of the park had unique structures: gate, theater building, gazebos, guard houses, fountains, retaining walls, fences, gate, benches and light posts (Figures 2, 3).

- **Gates and fences:** Pedestrians accessed the park only by using the Ulus Square gate. The design and location of the gate had changed over time. The perimeter fence was built on the boundary wall and attached to gate (Figures 2, 3, 5). The timber cross buck fence with evenly spaced stone posts enclosed the park. The fence was waist-high vertical and brought homey feeling to historic landscape. The fences were removed in mid 1930s and never built again. The gate was changed in mid 1920s and two stone posts with cross buck wooden door was built. Millet Garden's Cinema banner was hanged between two stone posts. In early 1930s, two guard houses were symmetrically placed on both sides of the gate.

- **Wall:** The park had boundary wall with one gate. The design of the park was changed over time. The first low wall which surrounds the park site was built from stone and had high wooden fences. (Figure 5). The boundary fence was nearly 370 meters. The south, west and east walls were served as retaining walls to stabilize ground elevation to gate. The foundation wall might have been built from the demolished buildings stones. In late 1930s, the north wall and fences was demolished to build shopping center. The unique gate was demolished to build the Şehir Shopping Center. A new gate which had arched glass porch,



- **Guard House:** Two guard house was placed on both sides of the gate. They were made from stone, had arched windows and dome like roofs. Their addition created a monumental entrance and welcoming arrangement. They were probably used to sell event tickets and as a control point.

- **Theater Building:** It was one story traditional wood-frame construction (Figure 3) near the east border. It was demolished in early 1930s.

- **Fountains:** The 1924 and 1944 Ankara maps and also old photographs show that there were two fountains in the Millet Garden. The first was one was circle shaped, was near the main entrance and demolished in early 1930s. The second was a pool surround fountain. It had quatrefoil shape. It was drawn in the west of the park in 1924 map. It was drawn in the middle of the park in the 1944 map. It was also seen in 1950s photographs. The circular basin surrounded the fountain. Classic wide benches were placed all around the fountain. The use water in the park had two main functions: aesthetic and cooling off on hot summer days. Therefore, the neoclassic style fountain with one tier in the middle became the main focal point of the park. The fountains had decorative dramatic effect. Both fountains were probably produced in natural stone. The large fountain was conveying a sense of centrality.

- **Lights:** There were a few lights illuminating the walkway in late 1930s. The lights were probably black painted cast-iron with two frosted globes.

- **Gazebos:** On the old map of Ankara from 1924 hexagon shaped five gazebos were drawn (Figure 2). They were made of wood, freestanding, semi open roofed and probably open on all sides (Figure 3). They were ornamental features in historic landscape, and provided shade. All gazebos were removed in late 1930s.

- **Seating:** Millet Garden had flexible seating areas. French Style benches were freestanding and placed in various locations (Figure 3). There were benches around the fountain which was an important gathering space. All benches were constructed of metal foot and wooden seats and backs. Flexible arrangements of folding chairs with low folding tables were also used in 1930s. The folding chairs might have been used at outdoor cinema. These benches might have been the first outdoor furniture of Ankara. Gazebos were also used as seating places until mid 1930s.

- **Pathways:** The pathway was the original and main element of the park design because it played a prominent role in shaping the park. Circular pathways were used. Surface material was porous and durable, probably gravel and sand mixture was used because of local availability (Figures 3, 5, 6).

## DISCUSSION and CONCLUSION

Public parks are very important components of urban life and land use. They are designed to provide aesthetic spaces for relaxing, resting, entertainment, sports and leisure activities and have many benefits. Most of the Parliament Buildings around the world have public gardens or parks for providing a better setting. Public Parks of government buildings play an important role in forming the visual imagery. The way public parks are designed and managed influences the magnitude of their direct and indirect impact on society. The research provides an evaluation of the historic significance and integrity of Millet Garden. Main soft and hard landscape components and features (history of the site, topography, land use, vegetation, design and spatial organization of the park, circulation, small scale features and structures of the park) that contribute to the significance, integrity and historic character were analyzed. The research documented the changing appearance of a historic public landscape over time.

The methodology of the research was structured around the consideration of significance. The significance for evaluation is associated with unique components, historic style of design, method of construction and historic events. All landscape features contributed to the historic character of the Millet Garden and Ulus Square and the alterations to the appearance of the landscape over time were analyzed.

According to Australia Victoria State's Department of Planning and Community Development landscape significance is the designation of a particular landscape as special or important arising from its cultural landscape values, including aesthetic values (both visual and non-visual) historic, environmental, scientific, and social or other values. Landscapes are significant to different people for different reasons. Levels of significance are attributed to each landscape component, and an overall significance level in relation to values is determined. The significance levels could be moderate = local significance, high = regional significance and exceptional = state significance or higher. Understanding the significance of a historic designed landscape is necessary to preserve, restore, renewal and reconstruction. This qualitative research tries to put forth why Millet Garden is significant. A landscape must be significant to be considered to be historical. The identity and character-defining features and components and of the park which contribute to significance of landscape is given below:

- With the proclamation of the Turkish Republic and the opening of the Parliament Building in Ankara, closed and open spaces were needed for public services. The Millet Garden, which was built in an area of significant historic and symbolic value in early 1920s, is considered as an open and green space of the Parliament Building. It could also have been described as a pleasure garden until mid 1930s because of its theater and cinema venues. It was an important part of urban identity and played an important role in Ankara's heritage.

- Millet Garden could be considered as the first public park of Republican period of Türkiye. It was a designed landscape at Ulus Square which increased the quality of life. Ulus square has been used as a public parade ground since 1920s. As a landscape strongly associated with the Parliament Building and nearly the same age as the Turkish Republic itself. Therefore, as the public park of the Ankara, it retains integrity of location, design, setting, materials, workmanship, feeling and association.

- There was a Palatium (Roman Palace) on the north edge of the park site. It has archaeological value as well as historical features. Therefore, it has its own distinctive history. Archaeological remains can be uncovered and made visible if Ulus Square will be redesigned.

- Millet Garden offered a picturesque counterpoint to the surrounding buildings formal architecture.

- The hard and soft landscape features found throughout the green space are representations of the evolving values of design, history, culture and society. Its intrinsic beauty contributed to urban cultural identity and sense of place.

- Millet Garden was a historic designed urban landscape because it was designed by gardener in a naturalistic design style and had unique features and components. A distinctive sense of place was created because circular geometry rather than straight lines was used.

- Small scale features of the park provided diversity. It was both a symbolic and a functional site. The primary purpose was to provide green space for recreational activities. Millet Garden offered a quiet retreat from city life, right next to the parliament building.

- The findings confirm that Millet Garden was easily accessible and enjoyable. Statesmen, parliament visitors, employees, guests and citizens used the park extensively. Numerous music and theater performances have been staged in the park during 1920s to 1930s. Therefore, the park coalesced with the community over many years.

- Millet Garden was directly associated with social and cultural events. Because it was located at Ulus Square which hosted lots of different events and activities such as official celebrations, cultural events, rallies and demonstrations. It has significance in social history.

This research shows that even though Millet Garden changed over time it was a major cultural and physical asset for historic center of Ankara. It provided opportunities for recreation, education and

enjoyment. Therefore, Millet Garden is unique, with its own identity and its own distinctive character. The findings confirm that Millet Garden possesses the quality of significance and integrity in the history of Ankara, and landscape architecture of Türkiye. Moreover, Millet Garden possesses sufficient physical integrity to convey its historic significance. As a result, it has spirit of the place.

The main limitation of this research is the lack of detailed site plans, sections, elevations and drawings. There was no prior historic landscape approach on Millet Garden. It became the subject of systematic research for the first time. This research may contribute to further research on designed historic and cultural landscapes of Türkiye. This research has moved the body of scientific knowledge on historic urban landscape of Türkiye forward. This research can contribute to similar studies that aim to identify and describe the essential and distinguishing features and qualities of the historic landscape. Future studies could investigate the association between parks and social events. This research draws attention to the significance of the first public park of Ankara. If historic urban landscape was preserved, Ankara Historic City Center could be inscribed on the UNESCO World Heritage List.

The park had to be administratively designated a conservation area in 1950s. This case study of Millet Garden has demonstrated that as an heritage, historic designed landscapes, old public parks in Türkiye must be preserved or reconstructed in accordance with The Athens Charter for the Restoration of Historic Monuments 1931, The Venice Charter 1964, UNESCO World Heritage Centre 1972, The Florence Charter (Historic Gardens) 1981, The Washington Charter 1987, The European Landscape Convention 2000, ICOMOS-IFLA Document On Historic Urban Public Parks 2017 and national law on cultural properties and heritage. The reconstructed park will not only provide new recreational opportunities, but also more importantly, provide social, health, environmental and economic benefits. The findings of this study indicate that the Millet Garden had local, high and regional level significance. The cultural resources management plan and urban design of the historic city core must also be prepared for the preservation of the historic urban landscape of Ankara. Various actors of the city can think and make decisions together to sustain the urban historic landscape of Ankara.

#### **Data Availability**

Data will be made available upon reasonable request.

#### **Author Contributions\***

Conception and design of the study: AKA; sample collection: AKA; analysis and interpretation of data: AKA; statistical analysis: AKA; visualization: AKA; writing manuscript: AKA.

#### **Conflict of Interest**

The authors have no conflicts of interest to declare.

#### **Ethical Statement**

I declare that there is no need for an ethics committee for this research.

#### **Financial Support**

This study was not financially supported.

#### **Article Description**

This article was edited by Section Editor Assoc. Prof. İpek ALTUĞ TURAN.

## REFERENCES

- Acar, D., 2013. Ankara City Guide. Ankara: Regional Directorate of Culture and Tourism. Ankara Photograph, Postcard and Engraving Ankara Photograph, Postcard and Engraving Collection, 57 pp.
- Andela, G., 1981. *The public park in The Netherlands*. The Journal of Garden History, 1 (4): 367-392. <https://doi.org/10.1080/01445170.1981.10412385>
- Ankara Aerial Photography, 1942. Aerial Photography Archive. General Command of Mapping, Ankara.
- Ankara Settlement Map, 1924. Ankara Photograph, Postcard and Engraving Collection (H004). Koç University Vehbi Koç Ankara Studies Research Center (VEKAM), Ankara.
- Ankara Settlement Map, 1944. Photograph, Postcard and Engraving Collection (H006). Koç University Vehbi Koç Ankara Studies Research Center (VEKAM), Ankara.
- Anonymous, 1901. School for Educating Male Teachers Photograph. Ankara Photograph, Postcard and Engraving Collection (ACF0037). Koç University Vehbi Koç Ankara Studies Research Center (VEKAM), Ankara.
- Anonymous, 1901. Ulus Square and its vicinity Photograph. Ankara Photograph, Postcard and Engraving Collection (0113). Koç University. Vehbi Koç Ankara Studies Research Center (VEKAM), Ankara.
- Anonymous, 1913. Duyun-u Umumiye Photograph. Ankara Photograph, Postcard and Engraving Collection (2439). Koç University Vehbi Koç Ankara Studies Research Center (VEKAM), Ankara.
- Anonymous, 1920. Opening ceremony of the First National Assembly Photograph. Büyük Millet Meclisinin Açılışı ve Çalışmaları. (Web page: <https://www.fikir.gen.tr/buyuk-millet-meclisinin-acilisi-ve-calismalari-23-nisan-1920>) (Date accessed: June 2022)
- Anonymous, 1935. İstasyon Street Photograp. Ankara Photograph, Postcard and Engraving Collection (2533). Koç University Vehbi Koç Ankara Studies Research Center (VEKAM), Ankara.
- Anonymous, 2015. TBMM Binaları. Basın ve Halkla İlişkiler Daire Başkanlığı. Ankara: TBMM Basimevi, 35 pp.
- Anonymous, 2018. Elements of a roman-style pleasure garden. Life in Italy. (Web page: <https://lifeinitaly.com/roman-garden>) (Date accessed: April 2022)
- Anonymous, 2022. Vatandaş 'Meydan Olsun' Dedi: Ulus Meydanı Ve 100. Yıl Çarşısı Anketi Sonuçlandı. Ankara Metropolitan Municipality News. (Web page: <https://www.ankara.bel.tr/haberler/vatandas-meydan-olsun-dedi-ulus-meydani-ve-100-yil-carsisi-anketi-sonuclandi-15805>) (Date accessed: November 2023)
- Arkun, A. K., 2012. Ulus Historic City Center Cultural Landscape Components Change and Transformation. Dissertation, Ankara University Graduate School of Applied Sciences, Ankara, 458 pp.
- Cangır, A., 2007. Cumhuriyetin Başkenti. Ankara: Ankara Üniversitesi Kültür ve Sanat Yayınları, 1428 pp.
- Christensen, A., 2005. Park. Dictionary of Landscape Architecture and Construction. US: McGraw-Hill Professional, 479 pp.
- Coşkun, B., Ç. Yıldırım & E. Şen, 2021. Osmanlı Belediyeciliğinin Dönüm Noktası: 1877 Tarihli Vilâyet Belediye Kanunu. Çağdaş Yerel Yönetimler, 30 (2): 1-20.
- Dalley, S., 1993. Ancient Mesopotamian Gardens and the Identification of the Hanging Gardens of Babylon Resolved. Garden History, 21 (1): 1-13. <https://doi.org/10.2307/1587050>
- Ellison, G., 1923. An Englishwoman in Angora. In Open WorldCat. Cambridge University Press. (Web page: <https://www.worldcat.org/title/englishwoman-in-angora/oclc/967360252>) (Date accessed: April 2022)
- Erdoğan, A., G. Günel & A. Kılıcı, 2007. Tarih İçinde Ankara. Ankara Tarihi ve Kültürü Dizisi, 1. Ankara: Ankara Büyükşehir Belediyesi, 335 pp.
- Gadmer, F., 1922. Turquie, Angora, Palais de la Grande Assemblée [photograph]. Archives de la Planète Le département des Hauts-de-Seine, Paris.
- Gardensit.com Garden Guide, 2021. Public park history. (Web page: [https://www.gardensit.com/history\\_theory/library\\_online\\_ebooks/architecture\\_city\\_as\\_landscape/history\\_public\\_park](https://www.gardensit.com/history_theory/library_online_ebooks/architecture_city_as_landscape/history_public_park)) (Date accessed: May 2022).
- Gardensit.com Garden Guide, 2022. Where was the world's first garden made?. (Web page: <https://www.gardensit.com/blog/where-was-the-worlds-first-garden-made>) (Date accessed: May 2022).
- Görkay, K. & M. Kadioğlu, 2007. Yeni Arkeolojik Araştırmalar Işığında ΜΗΤΡΟΠΟΛΙΣ ΤΗΣ ΓΑΛΑΤΙΑΣ: Ankyra, Anadolu/Anatolia. 32: 21-148.

- Hinds, D. B., 1979. The Evolution of Urban Public Park Design in Europe and America: Vancouver Adaption to 1913. University of British Columbia, PhD Thesis, Vancouver, Canada, 198 pp.
- Hussein, K., 1921. Lettres d'angora la sainte: avril-juin 1921. (Web page: [http://books.google.com.tr/books/about/Lettres\\_d\\_Angora\\_la\\_sainte.html?id=71VFAAAAYAAJ&redir\\_esc=y](http://books.google.com.tr/books/about/Lettres_d_Angora_la_sainte.html?id=71VFAAAAYAAJ&redir_esc=y)) (Date accessed: April, 2022).
- ICOMOS., 2017. Document on Historic Urban Public Parks. Final draft for distribution to the ICOMOS membership in view of submission to the 19th ICOMOS General Assembly. International Council on Monuments and Sites.
- Jansen, H., 1928. Gesamtbebauungsplan Ankara. Technische Universität Berlin, Germany. (Web page: <https://architekturmuseum.ub.tu-berlin.de/index.php?p=79&POS=7>) (Date accessed: April 2022).
- Kirby, D., 2015. Derby Arboretum: How Britain's first public park inspired open spaces around the world. The Independent. (Web page: <https://www.independent.co.uk/climate-change/news/derby-arboretum-how-britain-s-first-public-park-inspired-open-spaces-around-the-world-10478207.html>) (Date accessed: May 2022).
- Lambert, T., 2021. A history of gardening. Local Histories. (Web page: <https://localhistories.org/a-history-of-gardening>) (Date accessed: October 2022).
- Memlük, Y., 2009. "Bulvarın Yeşil Parçaları, 73-88". In: Cumhuriyet Devrimi'nin Yolu Atatürk Bulvarı (Ed. H.Ç. Keskinok). Ankara: Koleksiyoncular Derneği.
- Merriam-Webster. (n.d.). Park. In Merriam-Webster.com dictionary. Retrieved November 5, 2023, from <https://www.merriam-webster.com/dictionary/park>
- Oxford, A., L., D. (n.d.). Park. Oxford Advanced Learner's Dictionary. Retrieved January 4, 2020, from [https://www.oxfordlearnersdictionaries.com/definition/english/park\\_2](https://www.oxfordlearnersdictionaries.com/definition/english/park_2)
- Sadeghian, M. M. & Z. Vardanyan, 2015. A brief review on urban park history, classification and function. International Journal of Scientific & Technology Research, 4 (11): 120-124.
- Saglik, A., A. Kelkit, M. Temiz, M. E. Saglik, & M. Bayrak, 2019. Millet Bahçesi Kavramı: Kahramanmaraş İli Örneği. Yüzüncü Yıl Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 12 (1): 11-30.
- Tan, P. Y. & C. Y. Jim, 2017. Greening Cities. Springer Singapore, 356 pp.
- The Department of Planning and Community Development, 2013. South West Victoria Landscape Assessment Study Regional Overview Report. Australia State Government of Victoria. (Web page: [www.planning.vic.gov.au/policy-and-strategy/south-west-landscape-assessment-study#documents](http://www.planning.vic.gov.au/policy-and-strategy/south-west-landscape-assessment-study#documents)) (Date accessed: May 2022)
- Tunçer, M., 2019. Ankara'nın Kaybolan Doğal ve Kültürel Değerleri. Peyzaj Araştırmaları Dergisi, 2 (2): 108-138.
- Turner, T., 2005. Garden History: Philosophy and Design 2000 BC-2000 AD. Routledge, New York, 304 pp.
- Uludağ, Z., N. Çağlar & Z. Tuna Ultav, 2005. Conservation: re-building an urban consciousness. Studies in the History of Gardens & Designed Landscapes, 25 (1): 23-39. <https://doi.org/10.1080/14601176.2005.10435332>
- Van Erp-Houtepen, A., 1986. The Etymological Origin of the Garden. Journal of Garden History, 8 (3): 227-231. <https://doi.org/10.1080/01445170.1986.10405170>
- Westerby, M., 2021. History of Early American Landscape Design. Washington National Gallery of Art. (Web page: <https://heald.nga.gov/mediawiki/index.php?title=>) (Date accessed: July 2022).
- Yuhao, Y., 2022. The beauty of chinese gardens. (Web page: <https://www.tas.org.sg/feature-walking-into-the-forbidden-city-4>) (Date accessed: June 2022).



## Research Article (Araştırma Makalesi)

Ege Üniv. Ziraat Fak. Derg., 2024, 61 (1):19-29

<https://doi.org/10.20289/zfdergi.1360212>

Canan YILDIZ KUTLAR<sup>1</sup>

Fatih ŞEN<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Ege University, 35100 İzmir, Türkiye

\* Corresponding author (Sorumlu yazar):

[fatih.sen@ege.edu.tr](mailto:fatih.sen@ege.edu.tr)

# The effect of pre-harvest salicylic acid and gibberellic acid applications on-tree storability in 'Satsuma' mandarins (*Citrus unshiu* Marc.)

Satsuma mandarininde (*Citrus unshiu* Marc.) hasat öncesi salisilik asit ve giberellik asit uygulamalarının ağaçta depolamaya etkilerinin belirlenmesi

Received (Alınış): 14.09.2023

Accepted (Kabul Tarihi): 27.02.2024

## ABSTRACT

**Objective:** Satsuma mandarin (*Citrus unshiu* Marc.), an important export product for Türkiye, is kept on the tree until the beginning of January. This study aimed to determine the effects of single and co-application of salicylic acid (SA) and gibberellic acid (GA<sub>3</sub>) on the storability of Satsuma mandarin on trees.

**Material and Methods:** For this purpose, 20 ppm GA<sub>3</sub> two weeks before the color break period, 2 mM SA, and 1.5 ml/L Rezist at the color break period were applied alone and together to Satsuma mandarin fruit. Those without treatment were accepted controls. Various measurements and analyses were made in the samples taken at monthly intervals during storage on the tree.

**Results:** It was harvested in three periods at approximately one-month intervals from the beginning of November. The applications of SA or GA<sub>3</sub> alone or together limited the fruit drop rate during on-tree storage, the increase in the shell thickness, and the decrease in the specific gravity. Applications involving GA<sub>3</sub> delayed the coloration of fruits. The maturity index of the fruits treated with Rezist and GA<sub>3</sub> in the first harvest was lower.

**Conclusion:** The results showed that the pre-harvest applications of Satsuma mandarin would have positive contributions to the storage of fruits on the tree until the beginning of January by preventing fruit drop, and delaying the peel and fruit aging.

## ÖZ

**Amaç:** Türkiye için önemli bir ihracat ürünü olan Satsuma mandarini ağaç üzerinde Ocak ayının başına kadar depolanmaktadır. Bu çalışmada, salisilik asit (SA) ve giberellik asitin (GA<sub>3</sub>) tekel ve birlikte uygulanmasının Satsuma mandarinin ağaç üzerinde depolanabilirliğine etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

**Materyal ve Yöntem:** Bu amaçla Satsuma mandarin meyvesine renk dönümünden iki hafta önce 20 ppm GA<sub>3</sub>, renk dönümünde 2 mM SA ve 1.5 ml/L Rezist tekel ve birlikte uygulanmıştır. Uygulama yapılmayanlar kontrol olarak kabul edilmiştir. Kasım ayının başından itibaren aylık aralıklarla üç dönemde hasat edilmiştir.

**Araştırma Bulguları:** SA ve GA<sub>3</sub> uygulamalarının tekel ve birlikte yapılması ağaçta depolama süresince dökülen meyve oranını, kabuk kalınlığının artışı ve özgül ağırlığının azalışını sınırlandırmıştır. GA<sub>3</sub>'ün yer aldığı uygulamalar meyvelerin renklenmesini geciktirmiştir. İlk hasatta Rezist ve GA<sub>3</sub> uygulanan meyvelerin olgunluk indisi daha düşük olmuştur.

**Sonuç:** Sonuçlar, Satsuma mandarin meyvelerine hasat öncesi yapılan uygulamaların meyve dökümünü engelleyerek, meyve ve kabuk yaşlanmasını geciktirerek ürünün ocak ayının başına kadar ağaç üstünde başarılı bir şekilde depolanabileceğini göstermiştir.

**Keywords:** Citrus fruits, fruit drop, fruit quality, on-tree storage, plant growth regulators

**Anahtar sözcükler:** Turunçgiller, meyve dökümü, meyve kalitesi, ağaçta depolama, büyüme düzenleyici maddeler

## INTRODUCTION

Satsuma mandarin (*Citrus unshiu* Marc.) is a citrus fruit that is demanded and loved in the domestic and international markets. Mandarin has an important place in Türkiye's citrus production with 1.585.629 tons/year. Satsuma mandarin is an important foreign trade product for the Turkish economy, and its production is 767.482 tons/year (TÜİK, 2020).

In order to ensure the Satsuma mandarin to be introduced into the market for a longer time, it must be harvested late by being kept on the tree or stored in cold weather conditions. Although the harvest time of Satsuma mandarin in the Aegean Region varies more or less by year, it starts at the beginning of October. The harvest lasts until mid-January due to such reasons as the limited capacity of the factories processing and storing this product, the inability to have enough workers at the harvest, non-suitable climatic conditions for harvesting, and high price desire of producers. As the harvest continues, ripening continues in the fruits left on the tree, peel resistance disappears after a certain period, puffiness occurs, fruit drops increase, quality decreases due to aging, fruits become susceptible to diseases, and ultimately crop losses increase (Şen et al., 2013). In Satsuma mandarin, fruit drop is increasing due to various factors such as extended on-tree ripening time, inappropriate climatic conditions (precipitation, hoarfrost, wind, etc.), disease development, and insect damage. In some years, this drop rate can reach to 15-20% at the beginning of January (Şen et al., 2009). The fact that the fruits remaining on the tree undergo a rapid aging process also leads to a shortening of the period of taking Satsuma mandarins into cold storage. Because the losses increase with the lengthening of the storage period of the harvested fruits in cold storage at the next maturation stage (Mendilcioğlu, 1991).

In order to successfully store Satsuma mandarin stored on the tree, some plant growth regulators applied during the pre-harvest period ensure that ripening is delayed, product endurance is increased, and disease losses are reduced, which has a positive effect on prolonging the on-tree storage period (Ferguson et al., 1982; Davis, 1986). One of these plant growth regulators, salicylic acid (SA), affects a wide range of metabolic and physiological events, affecting the growth and development of plants. SA treatment has many effects such as decreased ethylene production, induction of disease resistance, prevention of oxidative stresses, induction of tolerance to cold damage, decrease in respiratory rate, decrease in ripening and aging speed, prevention of enzymes disrupting the cell wall and preservation of product hardness (Ding and Wang, 2003). Although the main role of SA is on biotic stresses, many studies show that SA also has important roles against several abiotic stresses such as cold stress, and heat shock (Ding et al., 2001; Ding and Wang, 2003). In recent years, it has been reported that commercial preparations containing Fe, Mn, and Zn together with salicylic acid stimulate the production of natural defense molecules against biotic stress by supporting and improving the natural defense system of the plant (Anonymous, 2020).

Gibberellic acid is another growth regulator substance in citrus fruits that is effective in the resistance of fruits during on-tree storage. It has been observed that the treatment of GA<sub>3</sub> before harvesting in many citrus species delays the aging, softening, deterioration, and coloration of the peel during the harvest period and reduces the loss of disease (El-Otmani & Coggins, 1991; Ismail & Wilhite, 1992; El-Otmani et al., 2000; Pozo et al., 2000; Tumminelli et al., 2005; Şen et al., 2009, 2013; Sezer et al., 2020). This, in turn, allows citrus fruits to be stored on the tree and prolongs the harvest period. For this purpose, it is recommended to apply GA<sub>3</sub>, especially in orange (Tumminelli et al., 2005), lemon (El-Zeftawi, 1980), grapefruit (Ferguson et al., 1984), and mandarin (El-Otmani et al., 1990; Taminaga et al., 1998; Şen et al., 2009, 2013) varieties to be harvested in the late season.

Although there are studies on storing Satsuma mandarin on the tree using GA<sub>3</sub> treatment before harvesting, no previous study was found in which SA was applied together with GA<sub>3</sub> or alone. This study aims to determine the effects of single and co-administration of salicylic acid and gibberellic acid treatments on the on-tree storage of Satsuma mandarin.

## MATERIALS and METHODS

### Plant Material

The study was conducted on 'Owari Satsuma' mandarin trees grafted onto trifoliolate orange rootstock at commercial orchard located in Seferihisar, İzmir, western Türkiye (32°12'28.90"N, 26°49'09.29"E). The experimental orchard was established in 2006 with a planting distance of 4.5 m x 4.5 m, and irrigated via drip irrigation.

Salicylic acid has a purity of 99% (Merck, KGaA, China). Rezist™ is a commercial compound containing 1.75% Cu, 1.75% Mn, and 1.75% Zn (Stoller, USA). Gibberellic acid contains 1 g of the active substance in each tablet (Berelex, Hektaş, Türkiye).

20 ppm GA<sub>3</sub> was applied to Satsuma mandarin trees 2 weeks before the color break of the fruits, and SA 2 mM and Rezist 1.5 ml/L were applied on leaves at the color break period. GA<sub>3</sub> was also applied by combining SA (GA<sub>3</sub>+SA) and Rezist (GA<sub>3</sub> + Rezist). During the first treatment period, only the trees where water was applied on leaves were accepted as the control. A pneumatic back sprayer was used to spray the foliage all over the tree (~ 5 L). Only water was sprayed on the control trees in the first treatment through a spreader-sticker (SPRAY-AIDE®, Miller Chemicals & Fertilizer, USA). Nitric acid was added to reduce the pH of the water used in the treatments to pH 6-7.

### Harvest and Sampling

In the study related to the on-tree storage of Satsuma mandarin, the optimum harvest time was determined according to the maturation index (TSS/TA content) (Karaçalı, 2016). The first harvest was done when the WSDM/TA ratio was between 6.5-7, and since then, 3 more harvests were made at monthly intervals. The first harvest was done on October 17, 2019, at the optimum (normal) harvest time, while the other harvests were made on 12 November 2019 (1<sup>st</sup> Harvest), 9 December 2019 (2<sup>nd</sup> Harvest), and 4 January 2020 (3<sup>rd</sup> Harvest) respectively. During each harvest period, 30 samples of fruits (10 fruits from each tree) were taken from around the tree crown and from a height of 1.5 - 2 m from the ground. The study was planned as a Randomized Complete Block Design with 3 replications, and every 3 trees were accepted as a replication.

### Fruit Drop and Quality Attribute

The weights of the fruits that dropped from the tree were determined during each harvest period, and the ratio (%) of the fruit drop was calculated by comparing this value to the total fruit weight of the tree. In addition, by examining the fruit drop, the rates of fruit drop due to ripening or decaying were also determined.

Twenty fruits selected to represent each replication were weighed with precision scales, and the average fruit weights, diameter, and length of these fruits were determined by a digital caliper, and peel thickness was determined by a micrometer.

The peel color was measured in CIE L\*, a\*, b\* with a colorimeter (CR-400, Minolta Co., Tokyo, Japan) from both sides of the equatorial region of the fruits (McGuire, 1992). The specific gravity of the fruits was determined according to Karaçalı et al. (2001) in g/cm<sup>3</sup>. The juice yield was calculated by weighing the weight of the juice squeezed from the mandarins whose weights were determined (Şen, 2004).

After filtering the mandarin juice from the filter paper, the total soluble solids (TSS) content was determined by a refractometer (ATC-1, ATAGO, Italy), and the results were given as a percentage (%). The titratable acid (TA) content was detected with 5 ml of the sample taken from the juice, 0.1 N NaOH was dripped until the pH reached 8.1, which was measured with the help of a pH meter, thus the TA content was calculated in citric acid g/100 ml.



L-ascorbic acid (Vitamin C) content of the fruit juice was measured in the filtrate by using 2,6-dichloroindophenol according to the titrimetric method (AOAC, 1995). Absorbance at 518 nm was measured by spectrophotometer (Carry 100 Bio; Varian, Mulgrave, Australia). Total phenolic content was determined by the Folin-Ciocalteu method (Zheng & Wang, 2001). The absorbance was measured at 725 nm using a spectrophotometer and the results were expressed as mg gallic acid equivalent (GAE)/100 ml. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) assay was performed as previously described by Benzie and Strain (1996), where reductants ("antioxidants") in the sample reduce Fe (III)/tripirydyltriazine complex to a blue ferrous form, with an increase in the absorbance at 593 nm. The final results are expressed in  $\mu\text{mol}$  trolox equivalents (TE)/ml, with reference to a trolox (25-500  $\mu\text{mol/l}$ ) standard curve.

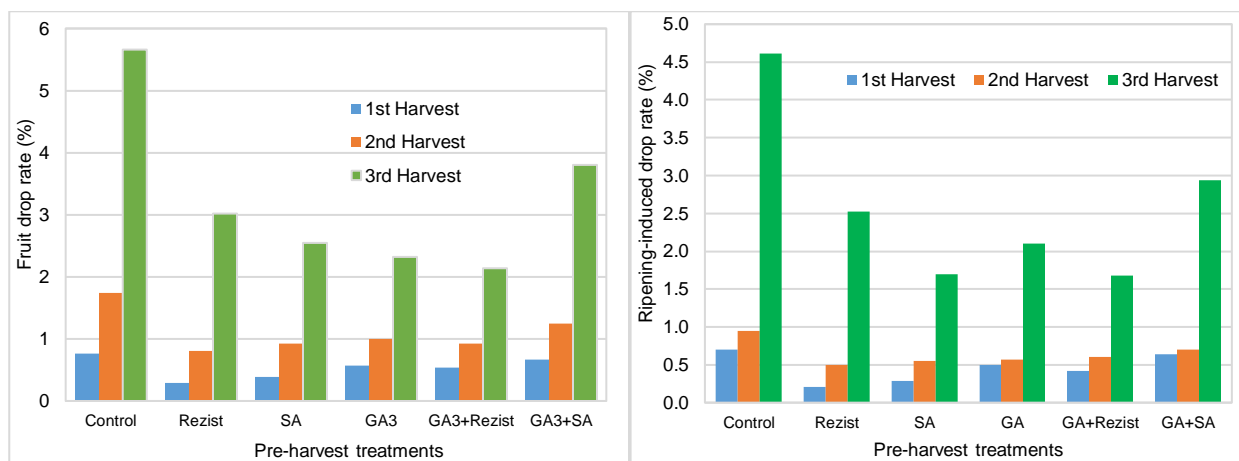
### Statistical Analyses

The data obtained from the experiment was subjected to analysis of variance using the statistical package program IBM® SPSS® Statistics 19 (IBM SPSS v19, NY, USA). For each on-tree storage, significant differences between the means for each year were determined by Duncan's multiple range tests at  $p \leq 0.05$ .

## RESULTS

The effect of pre-harvest treatments on the proportion of fruits dropped during on-tree storage was statistically significant ( $p \leq 0.05$ ) in the 3<sup>rd</sup> harvest, while it was insignificant in the 1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup> harvests. During the 3<sup>rd</sup> harvest period, the fruit drop rate was found to be lowest (2.14%) in the trees treated with GA<sub>3</sub>+Rezist and the highest (5.66%) in the control trees. In Rezist, SA, and GA<sub>3</sub> treatments, the rate of fruit drop was similar to each other. The rate of fruit drop in all treatments during the on-tree storage was found to be lower than the control. The effect of the treatments on fruit drop in the 1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup> harvests was similar, ranging from 0.29% to 0.76% and 0.81% to 1.74%, respectively. With the increase in storage time on the tree, an increase in the rate of fruit drop was observed especially in the 3<sup>rd</sup> harvest period (Figure 1).

During the on-tree storage period, the effects of the treatments on ripening-induced fruit drops were significant only in the 3<sup>rd</sup> harvest ( $p \leq 0.05$ ) (1.68-2.94%), and ripening-induced drops were lower in all treatments than the control (4.61%). The effect of the treatments on the fruit drop due to decaying was similar to each other, ranging from 0.43% to 1.04% (Figure 1).



**Figure 1.** Effects of different pre-harvest treatments on the rate of fruit drop during on-tree storage and ripening-induced drop

**Şekil 1.** Hasat öncesi farklı uygulamaların ağaçta depolama süresince dökülen ve yaşlanma kaynaklı dökülen meyve oranına etkileri

The fruit weight and specific weight of Satsuma mandarin fruits during the on-tree storage period are given in Table 1 based on pre-harvest treatments. The effect of different pre-harvest treatments on fruit weight during on-tree storage was similar to each other, with fruit weights ranging between 99.64 g - 111.92 g, 100.78 g - 115.55 g, and 110.09 g - 120.05 g in the 1<sup>st</sup>, 2<sup>nd</sup>, and 3<sup>rd</sup> harvest, respectively.

The effect of the treatments on the specific weight of mandarin fruit during the on-tree storage period differed significantly, and the specific weights of the fruits in the treatments with GA<sub>3</sub> were found to be 7.7%, 12.3%, and 16.2% higher in the 1<sup>st</sup>, 2<sup>nd</sup> and 3<sup>rd</sup> harvests, respectively, compared to the control. At the end of the 3-month on-tree storage period, the specific weight of the fruits was between 0.88-89 g/cm<sup>3</sup> in the treatments with GA<sub>3</sub> and 0.76 g/cm<sup>3</sup> in the control.

**Table 1.** Effects of different pre-harvest treatments on the fruit weight and specific weight of Satsuma mandarin

**Çizelge 1.** Hasat öncesi farklı uygulamaların ağaçta depolama süresince Satsuma mandarinin meyve ağırlığı ve özgül ağırlığına etkileri

Treatments	Fruit weight (g)			Specific weight (g/cm <sup>3</sup> )		
	1 <sup>st</sup> Harvest	2 <sup>nd</sup> Harvest	3 <sup>rd</sup> Harvest	1 <sup>st</sup> Harvest	2 <sup>nd</sup> Harvest	3 <sup>rd</sup> Harvest
Control	108.28±7.58 <sup>NS</sup>	116.08±6.34 <sup>NS</sup>	118.69±4.74 <sup>NS</sup>	0.87±0.02 <sup>b z*</sup>	0.81±0.03 <sup>b**</sup>	0.76±0.07 <sup>b*</sup>
Rezist	103.25±9.96	103.49±4.20	115.09±9.65	0.90±0.02 <sup>ab</sup>	0.88±0.05 <sup>a</sup>	0.86±0.02 <sup>ab</sup>
SA	99.64±4.90	100.78±6.27	110.09±4.58	0.91±0.04 <sup>ab</sup>	0.89±0.03 <sup>a</sup>	0.80±0.10 <sup>ab</sup>
GA <sub>3</sub>	111.92±8.78	115.55±6.07	120.05±8.71	0.93±0.03 <sup>a</sup>	0.91±0.01 <sup>a</sup>	0.88±0.02 <sup>a</sup>
GA <sub>3</sub> +Rezist	101.96±9.81	104.72±7.80	112.38±9.58	0.95±0.01 <sup>a</sup>	0.92±0.02 <sup>a</sup>	0.89±0.02 <sup>a</sup>
GA <sub>3</sub> +SA	102.00±9.02	108.73±3.68	114.36±4.56	0.93±0.03 <sup>a</sup>	0.90±0.02 <sup>a</sup>	0.88±0.01 <sup>a</sup>

<sup>z</sup> Mean separation within columns by Duncan's multiple range test,  $p \leq 0.05$ .

<sup>NS</sup>, \*, \*\*, Non-significant or significant at  $p \leq 0.05$ , or 0.01, respectively

Changes in the diameter, and length of Satsuma mandarin during on-tree storage according to the treatments are presented in Table 2. The effect of treatments on fruit diameter was significant in the 3<sup>rd</sup> harvest ( $p \leq 0.05$ ) and the diameter of control fruits was higher than those treated with GA<sub>3</sub> + Resist and GA<sub>3</sub> + SA. The effect of different pre-harvest treatments on fruit length differed significantly in the 3<sup>rd</sup> harvest ( $p \leq 0.05$ ), while fruit length was the highest with 52.26 mm in GA<sub>3</sub> and lowest with 47.35 mm in GA<sub>3</sub> + Resist treatment.

**Table 2.** Effects of different pre-harvest treatments on the diameter, and length of Satsuma mandarin

**Çizelge 2.** Hasat öncesi farklı uygulamaların ağaçta depolama süresince Satsuma mandarinin eni ve boyuna etkileri

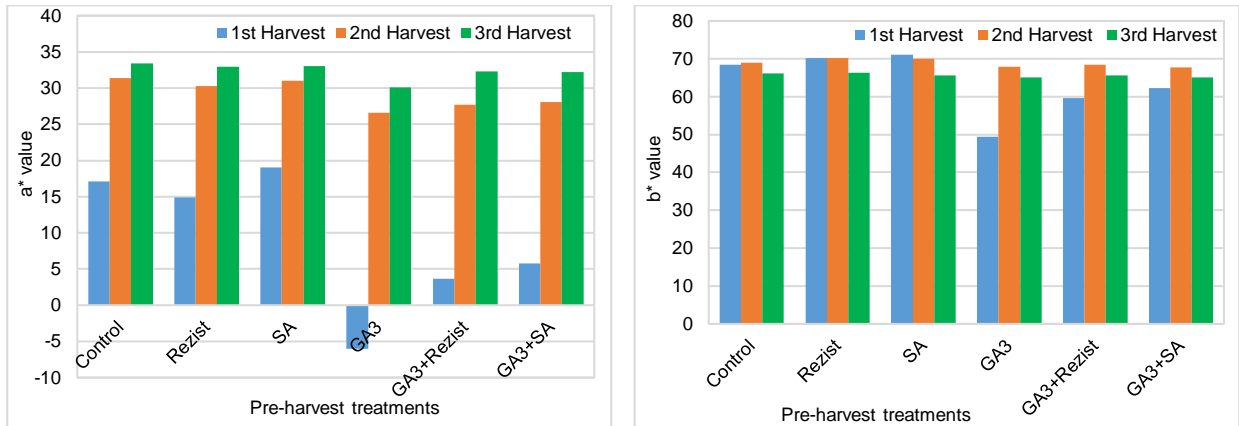
Treatments	Fruit diameter (mm)			Fruit length (mm)		
	1 <sup>st</sup> Harvest	2 <sup>nd</sup> Harvest	3 <sup>rd</sup> Harvest	1 <sup>st</sup> Harvest	2 <sup>nd</sup> Harvest	3 <sup>rd</sup> Harvest
Control	64.40±1.98 <sup>NS</sup>	65.20±1.01 <sup>NS</sup>	69.70±0.77 <sup>a z*</sup>	47.80±2.06 <sup>NS</sup>	49.90±0.78 <sup>NS</sup>	50.96±1.54 <sup>ab*</sup>
Rezist	63.80±2.40	63.17±0.87	67.77±2.65 <sup>ab</sup>	50.10±2.76	48.32±1.85	51.03±1.20 <sup>ab</sup>
SA	62.00±1.15	63.03±1.51	66.55±1.85 <sup>ab</sup>	49.80±0.78	46.71±1.53	48.82±0.68 <sup>bc</sup>
GA <sub>3</sub>	64.20±3.43	65.10±1.85	67.63±2.36 <sup>ab</sup>	51.50±2.23	47.62±1.44	52.26±2.83 <sup>a</sup>
GA <sub>3</sub> +Rezist	63.40±3.00	64.21±2.67	65.03±2.19 <sup>b</sup>	50.10±1.77	47.55±1.54	47.35±0.92 <sup>c</sup>
GA <sub>3</sub> +SA	62.50±2.41	64.83±1.80	65.44±0.81 <sup>b</sup>	48.90±2.04	47.62±1.25	48.00±1.24 <sup>bc</sup>

<sup>z</sup> Mean separation within columns by Duncan's multiple range test,  $p \leq 0.05$ .

<sup>NS</sup>, \*, Non-significant or significant at  $p \leq 0.05$ , respectively.

The peel a\* and b\* values of mandarin fruits formed by different pre-harvest treatments during on-tree storage are given in Figure 2. The effect of treatments to the value a\* (+ represents red, - represents green on the horizontal axis) of Mandarin peels differed significantly during all harvest periods. The a\*

values of mandarin peels in the groups with GA<sub>3</sub> during on-tree storage were found to be lower than those of control, SA, and Rezist treatments. While this difference was very pronounced in the first harvest, it decreased in the later harvest periods. The a\* value of the fruit peels was found to be 135%, 15%, and 10% lower in the 1<sup>st</sup>, 2<sup>nd</sup>, and 3<sup>rd</sup> harvests, respectively, compared to GA<sub>3</sub> treatments. The effect of different treatments on the b\* value of mandarin peel was found to be significant in the 1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup> harvests during on-tree storage, and in general, the peel b\* value (+ represents yellow and - represents blue on the vertical axis) was found to be lower in the treatments with GA<sub>3</sub> compared to the others.



**Figure 2.** Effects of different pre-harvest treatments on the peel a\* and b\* values during on-tree storage

**Şekil 2.** Hasat öncesi farklı uygulamaların ağaçta depolama süresince Satsuma mandarinin kabuk a\* ve b\* değerine etkileri

The peel thickness, and fruit juice ratio of Satsuma mandarin fruits during the on-tree storage period are given in Table 3 based on pre-harvest treatments. The effect of treatments on the peel thickness of Mandarin fruit differed significantly during the on-tree storage period ( $p \leq 0.05$ ), while the peel thickness of the control fruits was found to be the highest, SA treatment was the lowest in the 1<sup>st</sup> harvest, and among the lowest treatments in the 2<sup>nd</sup> and 3<sup>rd</sup> harvests.

The effect of treatments on the juice ratio was significant in the 1<sup>st</sup> and 3<sup>rd</sup> harvest ( $p \leq 0.01$ ), the juice ratio of the GA<sub>3</sub> group in the 1<sup>st</sup> harvest and all treatment groups in the 3<sup>rd</sup> harvest were found to be higher than the control. At the end of the on-tree storage period, the juice ratio of the treated mandarins was 24% higher on average than the control.

**Table 3.** Effects of different pre-harvest treatments on the peel thickness, and fruit juice ratio of Satsuma mandarin fruits during on-tree storage

**Çizelge 3.** Hasat öncesi farklı uygulamaların ağaçta depolama süresince Satsuma mandarinin kabuk kalınlığı ve meyve suyu oranına etkileri

Tretments	Peel thickness (mm)			Fruit juice ratio (%)		
	1 <sup>st</sup> Harvest	2 <sup>nd</sup> Harvest	3 <sup>rd</sup> Harvest	1 <sup>st</sup> Harvest	2 <sup>nd</sup> Harvest	3 <sup>rd</sup> Harvest
Control	2.28±0.49 <sup>a z</sup>	2.66±0.13 <sup>a*</sup>	3.19±0.17 <sup>a*</sup>	47.17±3.58 <sup>b**</sup>	48.56±4.87 <sup>NS</sup>	39.77±1.47 <sup>d**</sup>
Rezist	1.99±0.13 <sup>ab</sup>	2.35±0.13 <sup>ab</sup>	2.71±0.39 <sup>b</sup>	47.69±1.80 <sup>b</sup>	45.82±2.36	46.37±3.08 <sup>c</sup>
SA	1.73±0.14 <sup>b</sup>	2.24±0.17 <sup>b</sup>	2.58±0.24 <sup>b</sup>	47.90±2.16 <sup>ab</sup>	46.43±1.17	50.11±2.99 <sup>abc</sup>
GA <sub>3</sub>	2.17±0.11 <sup>a</sup>	2.34±0.20 <sup>ab</sup>	2.66±0.25 <sup>b</sup>	52.79±1.88 <sup>a</sup>	50.77±1.48	50.97±2.17 <sup>ab</sup>
GA <sub>3</sub> +Rezist	2.06±0.26 <sup>ab</sup>	2.11±0.08 <sup>b</sup>	2.64±0.22 <sup>b</sup>	51.49±4.54 <sup>ab</sup>	47.41±4.05	47.20±4.37 <sup>bc</sup>
GA <sub>3</sub> +SA	2.13±0.10 <sup>ab</sup>	2.33±0.35 <sup>ab</sup>	2.75±0.11 <sup>ab</sup>	50.54±3.69 <sup>ab</sup>	49.37±2.76	51.88±1.25 <sup>a</sup>

<sup>z</sup> Mean separation within columns by Duncan's multiple range test,  $p \leq 0.05$ .

<sup>NS</sup>, \*, \*\*, Non-significant or significant at  $p \leq 0.05$ , or 0.01, respectively

The TSS, and TA content of mandarin fruits during the on-tree storage period is presented in Table 4. The effect of treatments on the TSS content during the on-tree storage period was significant in harvest 3 ( $p \leq 0.05$ ) and the TSS content was found to be higher in GA<sub>3</sub> + SA treatments than in control and Rezist treatments.

The effect of different pre-harvest treatments on the TA content of fruits differed significantly during the on-tree storage period ( $p \leq 0.05$ ). Although the effect of the treatments on the TA content did not change decisively, the TA content of mandarins treated with GA<sub>3</sub>+SA and Rezist was generally higher than in SA and control groups.

**Table 4.** Effects of different pre-harvest treatments on the TSS, and TA content of Satsuma mandarin fruits during on-tree storage

**Çizelge 4.** Hasat öncesi farklı uygulamaların ağaçta depolama süresince Satsuma mandarinin SÇKM ve TA miktarına etkileri

Tretments	TSS content (%)			TA content (g/100 ml)		
	1 <sup>st</sup> Harvest	2 <sup>nd</sup> Harvest	3 <sup>rd</sup> Harvest	1 <sup>st</sup> Harvest	2 <sup>nd</sup> Harvest	3 <sup>rd</sup> Harvest
Control	11.83±0.40 <sup>NS</sup>	12.83±0.83 <sup>NS</sup>	11.70±0.30 <sup>b z'</sup>	1.03±0.07 <sup>bc'</sup>	0.83±0.05 <sup>b'</sup>	0.81±0.05 <sup>b'</sup>
Rezist	11.13±0.57	12.30±0.98	11.97±0.21 <sup>b</sup>	1.17±0.09 <sup>a</sup>	0.92±0.10 <sup>a</sup>	0.84±0.02 <sup>ab</sup>
SA	12.03±0.99	12.87±0.93	12.53±0.58 <sup>ab</sup>	0.97±0.07 <sup>c</sup>	0.82±0.09 <sup>b</sup>	0.81±0.03 <sup>b</sup>
GA <sub>3</sub>	11.10±0.25	11.97±1.22	12.47±0.84 <sup>ab</sup>	1.13±1.13 <sup>ab</sup>	0.84±0.04 <sup>ab</sup>	0.81±0.02 <sup>b</sup>
GA <sub>3</sub> +Rezist	11.57±0.70	12.27±0.25	12.23±0.61 <sup>ab</sup>	1.12±1.14 <sup>ab</sup>	0.91±0.03 <sup>ab</sup>	0.88±0.04 <sup>ab</sup>

<sup>z</sup> Mean separation within columns by Duncan's multiple range test,  $p \leq 0.05$ .

<sup>NS</sup>, <sup>\*</sup>, Non-significant or significant at  $p \leq 0.05$ , respectively.

The effects of different pre-harvest treatments on the maturation index, and vitamin C of Satsuma mandarin during on-tree storage are given in Table 5. The effect of pre-harvesting treatments on the maturation index of mandarin fruit was significant in the 1<sup>st</sup> harvest ( $p \leq 0.05$ ), and the maturation index of mandarins treated with Rezist and GA<sub>3</sub> was lower than the control and other treatments.

The effects of different pre-harvest treatments on vitamin C, total phenol content, and antioxidant activity of Satsuma mandarin during on-tree storage are given in Table 4. The effect of the treatments on the vitamin C content in satsuma mandarin during on-tree storage was similar, ranging from 21.45 mg/100 ml to 27.48 mg/100 ml.

**Table 5.** Effects of different pre-harvest treatments on the maturation index, and vitamin C of Satsuma mandarin fruits during on-tree storage

**Çizelge 5.** Hasat öncesi farklı uygulamaların ağaçta depolama süresince Satsuma mandarinin olgunluk indisi ve C vitamini miktarına etkileri

Tretments	Maturation index			Vitamin C (mg/100 ml)		
	1 <sup>st</sup> Harvest	2 <sup>nd</sup> Harvest	3 <sup>rd</sup> Harvest	1 <sup>st</sup> Harvest	2 <sup>nd</sup> Harvest	3 <sup>rd</sup> Harvest
Control	11.54±1.11 <sup>ab z'</sup>	15.50±0.72 <sup>NS</sup>	14.51±0.60 <sup>NS</sup>	22.47±2.71 <sup>NS</sup>	25.76±2.02 <sup>NS</sup>	21.45±2.06 <sup>NS</sup>
Rezist	9.56±1.07 <sup>c</sup>	13.43±0.78	14.32±0.50	26.48±1.95	27.48±1.96	22.61±1.92
SA	12.43±0.74 <sup>a</sup>	15.74±1.32	15.44±0.94	24.11±2.22	25.66±2.42	22.13±2.59
GA <sub>3</sub>	9.81±0.49 <sup>c</sup>	14.30±1.08	15.60±1.05	23.68±2.01	25.89±1.70	24.11±2.58
GA <sub>3</sub> +Rezist	10.31±1.70 <sup>bc</sup>	13.49±0.35	13.87±0.74	25.18±1.74	25.93±1.81	25.62±2.73
GA <sub>3</sub> +SA	10.60±0.28 <sup>bc</sup>	13.56±0.89	14.64±1.35	24.22±2.90	26.06±0.92	23.34±1.61

<sup>z</sup> Mean separation within columns by Duncan's multiple range test,  $p \leq 0.05$ .

<sup>NS</sup>, <sup>\*</sup>, Non-significant or significant at  $p \leq 0.05$ , respectively.

The effect of the treatments on the total phenol content of satsuma mandarin was insignificant, the total phenol content ranging between 44.45-51.54 mg GAE/100 ml in the 1<sup>st</sup> harvest ranged from 40.45 to 47.33 mg GAE/100 ml in 3<sup>rd</sup> harvest. The antioxidant activity of the treatments during on-tree storage was similar, ranging from 4.17 to 5.91 µmol TE/ml (Table 6).

**Table 6.** Effects of different pre-harvest treatments on the total phenol content, and antioxidant activity of Satsuma mandarin fruits during on-tree storage

**Çizelge 6.** Hasat öncesi farklı uygulamaların ağaçta depolama süresince Satsuma mandarinin toplam fenol miktarı ve antioksidan aktivitesine etkileri

Treatments	Total phenol content (mg GAE/100 ml)			Antioxidant activity (µmol TE/ml)		
	1 <sup>st</sup> Harvest	2 <sup>nd</sup> Harvest	3 <sup>rd</sup> Harvest	1 <sup>st</sup> Harvest	2 <sup>nd</sup> Harvest	3 <sup>rd</sup> Harvest
Control	45.32±4.43 <sup>NS</sup>	43.80±5.85 <sup>NS</sup>	40.81±1.39 <sup>NS</sup>	5.78±0.60 <sup>NS</sup>	4.88±0.44 <sup>NS</sup>	4.39±0.12 <sup>NS</sup>
Rezist	49.97±1.58	42.76±2.65	40.45±3.26	5.54±0.21	5.13±0.54	4.17±0.42
SA	51.54±1.70	42.69±4.95	42.91±1.25	5.91±0.65	4.74±0.33	4.29±0.28
GA <sub>3</sub>	48.80±4.98	46.14±1.85	42.38±4.20	5.67±0.28	4.79±0.22	4.51±0.30
GA <sub>3</sub> +Rezist	50.06±4.44	47.33±4.78	42.61±3.69	5.85±0.14	5.19±0.32	4.52±0.51
GA <sub>3</sub> +SA	44.45±1.95	40.81±2.42	43.76±2.27	5.46±0.23	4.59±0.26	4.36±0.17

<sup>NS</sup>, Non-significant.

## DISCUSSION and CONCLUSION

In order to introduce Satsuma mandarins to the market for a longer period of time, the on-tree storage, as well as storage in cold weather conditions, must be fulfilled successfully. Delaying the ripening and aging of fruits on the tree will contribute to the success of on-tree storage. The treatments limit the rate of fruit drop during on-tree storage compared to the control, which is because salicylic acid and gibberellic acid inhibit ethylene biosynthesis in fruits, delaying aging. These treatments limit the effect of ethylene, slowing aging, maintaining peel resistance, and delaying the fruit to break from the stem. Therefore, it is thought that SA and GA<sub>3</sub> are effective in slowing down fruit aging and maintaining peel resistance, and reducing fruit drops. SA and GA<sub>3</sub> delayed aging by inhibiting ethylene synthesis, this result is compatible with previous studies in mandarin (Ritenour et al., 2005), banana (Srivastava and Dwivedi, 2000), apple, and pear (Romani et al., 1989; Babalar et al., 2007) fruits.

The treatments did not affect fruit weight, diameter, and length or showed instability. This is because the treatments were made during and after the optimum harvest period, during which the development was largely completed (Şen et al., 2013).

The delaying effect of the treatments with GA<sub>3</sub> on the coloring of fruits depends on the fact that it slows down the degradation of chlorophyll in fruits treated with GA<sub>3</sub>. This effect of GA<sub>3</sub> decreased with the progression of on-tree storage duration. One of the most obvious changes that occur during the ripening of mandarin fruit is the degradation of chlorophyll, which gives the peel a green color, and this is replaced by yellow-red carotenoids, and coloration occurs (Senthilkumar & Vijayakumar, 2014). The effect of GA<sub>3</sub> treatment on delaying coloration by slowing down the loss of chlorophyll in citrus fruits has been revealed in many studies (Şen et al., 2013; Rokaya et al., 2016; Sezer et al., 2020).

A more significant decrease in the value of the specific gravity of control fruits with the progression of the on-tree storage period indicates that the peel resistance of fruits decreases, the albedo texture of fruits deteriorates, and the tendency to puffiness increases. Puffiness is the separation of the softened peel from the fruit flesh, which is observed with the progression of the ripening of mandarin fruits (Karaçalı, 2016). The specific gravity of the treated fruits is higher than the specific gravity of the control

fruits, which can be explained by the delaying effect of the treatments on the ripening of the fruits. This delays the formation of puffiness, which is an aging disorder, when on the tree.

The low peel thickness of the treated mandarin fruits can be explained by the fact that SA, GA<sub>3</sub>, and Rezist treatments limit the increase in peel thickness and slow down the deterioration of the peel during the on-tree storage of fruits. The thin peel of Satsuma mandarin fruits is an indicator of their quality and strength in storage, while the thickening of the peel is an indicator of the increase in the fruit's sensitivity to puffiness and a decrease in quality. Indeed, the effect of treatments limiting the increase in peel thickness is compatible with the fact that the specific gravity values of the treated fruits are higher than the control. The treatment of GA<sub>3</sub> reduced the peel thickness in the mandarin (Garcia-Luis et al., 1992; Pozo et al., 2000) and Valencia Navel orange (Sezer et al., 2020) varieties.

The higher juice yield in the treated mandarins than in the control and the thickening of the peel at the last harvest may be associated with increased puffiness. As the tendency to puffiness increases, the juice ratio decreases (Karaçalı, 2016).

The effect of pre-harvest treatments was limited and/or unstable on the TSS and TA content of the Satsuma mandarin during on-tree storage, indicating that there was no significant effect. It is believed that the differences are caused not by treatment, but by sampling. Also, it was observed that GA<sub>3</sub> treatment did not have a significant effect on the TSS content in orange, mandarin, and grapefruit stored on the tree (Ben-İsmail et al., 1995; Ritenour et al., 2005; Balkıç et al., 2019). The low maturation index of mandarin fruits treated with Rezist and GA<sub>3</sub> in the 1<sup>st</sup> harvest can be explained by the aging-delaying effect of the treatments. Because the low TSS content and the high TA content in these treatments are compatible with slow aging.

The effect of the treatments on vitamin C, total phenol content, and antioxidant activity during on-tree storage was limited, and we thought that this depended on the fact that the treatments were made during the optimum harvest and post-harvest periods. It is reported that the treatment of GA<sub>3</sub> during these periods specified before harvesting has no or very little effect on the biochemical properties of many citrus fruits (Coggins, 1982; Pozo et al., 2000). Studies are showing that salicylic acid treatments increase the total amount of phenol and antioxidant activity in fruits and vegetables (Huang et al., 2008; Tareen et al., 2012; Aghdam et al., 2016; Haider et al., 2021), but the time of treatment in these studies varies. Therefore, it is thought that the time of treatment is effective in limiting the effect of treatments on the biochemical properties of the fruit.

The pre-harvest treatments limited the rate of fruit drop during on-tree storage, the increase in peel thickness, and the decrease in specific gravity compared to the control. Treatments with GA<sub>3</sub> delayed the coloring of fruits. In general, the juice yield was found to be higher in the treated mandarins than in the control. The maturation index of fruits treated with Rezist and GA<sub>3</sub> at the first harvest was lower. The effects of the treatments on TSS, TA, total phenol content, vitamin C, antioxidant activity, fruit weight, diameter, and length of fruits during on-tree storage were limited and/or showed instability.

Considering all the data, the treatment of GA<sub>3</sub> two weeks before the color break and the treatments of SA and Rezist at the color break prevented fruit drop and delayed the peel and fruit aging, and contributed positively to the on-tree storage of the Satsuma mandarins until the beginning of January.

#### **Data Availability**

Data will be made available upon reasonable request.

#### **Author Contributions\***

Conception and design of the study: CYK, FŞ; sample collection: CYK; analysis and interpretation of data: CYK; statistical analysis: FŞ; visualization: FŞ; writing manuscript: CYK, FŞ.

### **Conflict of Interest**

There is no conflict of interest between the authors in this study.

### **Ethical Statement**

We declare that there is no need for an ethics committee for this research.

### **Financial Support**

This study was partially funded by the Stoller Türkiye Organik Tarım San. Tic. A.Ş., İzmir, Türkiye. The authors thank for financial support.

### **Article Description**

This article was edited by Section Editor Dr. Emrah ZEYBEKOĞLU.

## **REFERENCES**

- Aghdam, M.S., M. Asghari, M. Babalar & M.A.A. Sarcheshmeh, 2016. "Impact of Salicylic Acid on Postharvest Physiology of Fruits and Vegetables, 243-268". In: Eco-Friendly Technology for Postharvest Produce Quality (Eds. M. W. Siddiqui), Academic Press, 304 pp.
- Anonymous, 2020. Stoller, "Rezist Ürün Bilgisi". (Web page: <http://stollereurope.com/en/productos/rezist/>) (Date accessed: 25.01.2021).
- AOAC, 1995. Official Methods of Analysis (16th ed.). AOAC, Arlington, Virginia.
- Babalar, M., M. Asghari, A. Talaei & A. Khosroshahi, 2007. Effect of pre- and postharvest salicylic acid treatment on ethylene production, fungal decay and overall quality of Selva strawberry fruit. *Food Chemistry*, 105 (2): 449-453.
- Balkıç, R., H. Gübbük & L. Altınkaya, 2019. Gibberellik asit (GA<sub>3</sub>) uygulamasının 'Washington Navel' portakalında derim öncesi meyve dökümü ve meyve kalitesi üzerine etkileri. *Bahçe*, 48 (2): 73-78.
- Ben-Ismael, M.C., E. Fedouli, M. El-Otmani & A. Ait Oubahou, 1995. "Fruit quality improvement in clementines (*Citrus reticulata* Blanco) by preharvest application of gibberellic acid, 120-120". *Postharvest Physiology, Pathology and Technologies for Horticultural, Commodities: Recent Advances, Proceedings of an International Symposium, Agadir, Morocco, 16-21 January 1995*, 515 pp.
- Benzie, I.F.F. & J.J. Strain, 1996. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of 'Antioxidant Power': The FRAP Assay. *Analytical Biochemistry*, 239 (1): 70-76.
- Coggins Jr., C.W., 1982. "The influence of exogenous growth regulators on rind quality and internal quality of citrus fruits, Proceedings-International Society of Citriculture, (1): 214-216". *International Citrus Congress (November 9-12, 1982, Tokyo, Japan)*.
- Davies, F.S., 1986. "Growth regulator improvement of postharvest quality, 79-101". In: *Fresh Citrus Fruits*. (Eds. W.F. Wardowski, S. Nagi & W. Grierson), Avi Publishing Company, Inc., Westport, Connecticut, USA, 571 pp.
- Ding, C.K. & C.Y. Wang, 2003, The dual effects of methyl salicylate on ripening and expression of ethylene biosynthetic genes in tomato fruit. *Plant Science*, 164: 589-596.
- Ding, C.K., C.Y. Wang, K.C. Gross & D.L. Smith, 2001. Reduction of chilling injury and transcript accumulation of heat shock proteins in tomato fruit by methyl jasmonate and methyl salicylate. *Plant Science*, 161: 1153-1159.
- El-Otmani, M. & C.W. Coggins Jr., 1991. Growth regulator effects on retention of quality of stored citrus fruit. *Scientia Horticulturae*, 45: 261-272.
- El-Otmani, M., A. Ait-M'Barek & C.W. Coggins Jr., 1990. GA<sub>3</sub> and 2,4-D prolong on-tree storage of citrus in Morocco. *Scientia Horticulturae*, 44: 241-249.
- El-Otmani, M., C.W. Coggins Jr., M. Agustí & C.J. Lovatt, 2000. Plant growth regulators in citriculture: World current uses. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 19 (5): 395-447.
- El-Zeftawi, B.M., 1980. Effects of gibberellic acid and cycle on coloring and sizing of lemon. *Scientia Horticulturae*, 12: 177-181.
- Ferguson, L., M.A. Ismail, F.S. Davies & T.A. Wheaton, 1982. Pre and postharvest gibberellic acid and 2,4-dichlorophenoxyacetic acid applications for increasing storage life grapefruit. *Proceedings of the Florida State Horticultural Society*, 95: 242-245.

- Ferguson, L., M.A. Ismail, F.S. Davies & T.A. Wheaton, 1984. Growth regulator and low volume irrigation effects on grapefruit quality and fruit drop. *Scientia Horticulturae*, 23: 35-40.
- Garcia-Luis, A., A. Herrero-Villén & J.L. Guardiola, 1992. Effects of applications of gibberellic acid on late growth, maturation and pigmentation of the Clementine mandarin. *Scientia Horticulturae*, 49: 71-82.
- Haider, S.T.A., S. Ahmad, M.A. Anjum, S. Naz, M. Liaquat & B. Saddiq, 2021. Effects of different postharvest techniques on quality management and shelf life of 'Kinnow' mandarin fruit. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 15 (3): 1-13.
- Huang, R., R. Xia, Y. Lu, L. Hu & Y. Xu, 2008. Effect of pre-harvest salicylic acid spray treatment on post-harvest antioxidant in the pulp and peel of 'Cara cara' navel orange (*Citrus sinensis* L. Osbeck). *Journal Of the Science of Food and Agriculture*, 88: 229-236.
- Ismail, M.A. & D.L. Wilhite, 1992. Effect of gibberellic acid and postharvest storage on the quality of Florida navel oranges. *Proceedings of the Florida State Horticultural Society*, 105:168-173.
- Karaçalı, İ., 2016. Bahçe Ürünlerinin Muhafazası ve Pazarlanması. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No: 494, Bornova, İzmir.
- Karaçalı, İ., M. Yıldız, F. Yıldız, E. Özeker, P. Kınay & F. Şen, 2001. Mandarinlerde derim öncesi bazı uygulamaların yara onarımı, yeşil küf çürüklüğü ve depolamaya etkileri. TÜBİTAK TARP 2112 Nolu Proje Sonuç Raporu.
- McGuire, R. G., 1992. Reporting of objective color measurements. *HortScience*, 27 (12): 1254-1255.
- Mendilcioğlu, K., 1991. Turunçgiller. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Ofset Basımevi, Bornova, İzmir.
- Pozo, L., J.K. Kender, U. Hartmond & A. Grant, 2000. Effects of gibberellic acid on ripening and rind puffing in 'Sunburst' mandarin. *Proceedings of the Florida State Horticultural Society*, 113: 102-105.
- Ritenour, M., M.S. Burton & T. Mccollum, 2005. Effect of pre- or postharvest gibberellic acid application on storage quality of florida 'Fallglo' tangerines and 'Ruby' red grapefruit. *Proceedings of the Florida State Horticultural Society*, 118: 385-388.
- Rokaya, P.R., D.R. Baral, D.M. Gautam, A.K. Shrestha & P. Paudyal, K2016. Effect of pre-harvest application of gibberellic acid on fruit quality and shelf life on mandarin (*Citrus reticulata* Blanco). *American Journal of Plant Sciences*, 7: 1033-1039.
- Romani, R.J., B.M. Hess & C.A. Leslie, 1989. Salicylic acid inhibition of ethylene production by apple discs and other plant tissues. *Journal of Plant Growth Regulation*, 8 (1): 63-69.
- Şen, F., 2004. Hasat sonrası sıcak su ve diğer bazı koruyucu uygulamaların Satsuma Mandarinin kalite ve dayanma gücüne etkileri. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü (Unpublished) PhD Thesis, Bornova-İzmir, 307 s.
- Şen, F., P. Kınay, İ. Karaçalı & M. Yıldız, 2009. Bazı büyüme düzenleyicilerin "satsuma" mandarininin ağaçta depolanma sürecinde meyve dökümü ve kalitesine etkileri. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi* 46 (2): 93-100.
- Şen, F., P.K. Teksür, K.B. Meyvacı & H.Z. Can 2013. Effect of pre-harvest gibberellic acid and calcium applications on on-tree Storage of 'Satsuma' Mandarins. *Acta Horticulturae*, 1012: 233-239.
- Senthilkumar, S. & R.M. Vijayakumar, 2014. Biochemical, Physiological and Horticultural Perspectives of Fruit Colour Pigmentation: A Review. *Research and Reviews: Journal of Agriculture and Allied Sciences*, 3 (1): 9-16.
- Sezer, G., A. Mısırlı, A. Şen & N. Bilgin, 2020. 'Valencia Late' portakalının meyve kalitesi ve ağaçta depolanabilirliği üzerine hasat öncesi gibberellik asit uygulamalarının etkisi. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 8 (11): 2361-2367.
- Srivastava, M.K. & U. Dwivedi, 2000. Delayed ripening of banana fruit by salicylic acid. *Plant Science*, 158 (1): 87-96.
- Taminaga, S., J.L. Guardiola, J.L. Garcia-Martinez & J.D. Quinlan, 1998. GA sprays delay and reduce physiological fruit drop in Ponkan Mandarin (*Citrus reticulata* Blanco). *Acta Horticulturae*, 463: 301-605.
- Tareen, M.J., N.A. Abbasi & I.A. Hafız, 2012. Effect of salicylic acid treatments on storage life of peach fruits cv. 'Flordaking'. *Pakistan Journal of Botany*, 44 (1): 119-124.
- TÜİK, 2020. Türkiye İstatistik Kurumu, Bitkisel Üretim İstatistikleri. (Web page: www.tuik.gov.tr). (Date accessed: 22.02.2020)
- Tumminelli, R., F. Conti, U. Maltese, C. Pedrotti & E. Bordonaro, 2005. Effects of 2,4-D, tricloripir and GA<sub>3</sub> on pre-harvest fruit drop and senescence of 'Tarocco Comune' blood oranges in Sicilian orchards. *Acta Horticulturae*, 682: 801-806.
- Zheng, W. & S.Y. Wang, 2001. Antioxidant Activity and Phenolic Compounds in Selected Herbs., *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, (49): 5165-5170.



## Research Article (Araştırma Makalesi)

Ege Üniv. Ziraat Fak. Derg., 2024, 61 (1):31-45  
<https://doi.org/10.20289/zfdergi.342347>

İrem TÜFEKÇİOĞLU<sup>1</sup> 

Muhammed Hakan ÇAKMAK<sup>2\*</sup> 

Çiğdem COŞKUN HEPCAN<sup>3</sup> 

<sup>1</sup> Division of Ecology, Department of Biology, Hacettepe University, Beytepe 06800, Ankara, Türkiye

<sup>2</sup> Republic of Türkiye Ministry of Agriculture and Forestry, General Directorate of Nature Conservation and National Parks, 06560, Ankara, Türkiye

<sup>3</sup> Department of Landscape Architecture, Faculty of Agriculture, Ege University, Bornova 35100, İzmir, Türkiye

\* Corresponding author (Sorumlu yazar):  
[muhammedhakan.cakmak@gmail.com](mailto:muhammedhakan.cakmak@gmail.com)

**Keywords:** Biodiversity, ecosystem service mapping, GIS, habitat data

**Anahtar sözcükler:** Biyoçeşitlilik, ekosistem hizmetleri haritalaması, CBS, habitat verileri

# The use of EUNIS habitat classification to assess ecosystem services capacity: the case of Mamak district (Ankara, Türkiye)

## Ekosistem hizmetleri kapasitesini değerlendirmede EUNIS habitat sınıflandırmasının kullanımı: Mamak ilçesi örneği (Ankara, Türkiye)

Received (Alınış): 17.08.2023

Accepted (Kabul Tarihi): 27.02.2024

### ABSTRACT

**Objective:** The ecosystem services (ES) term is defined as all of the products, services, and benefits provided by ecosystems on earth to human beings and other living entities. In order to determine the ES capacity and integrating such data into management plans is a key element for nature conservation and sustainable land-use planning. Hence, a study was conducted, and the objective of this study was to determine the ES capacity of Mamak district (Ankara, Turkey) with an evaluation approach based on expert opinions using EUNIS habitat data.

**Material and Methods:** Besides raw scores obtained from experts with the evaluation approach based on expert opinions, the areal ES capacity (AESC) indices for each EUNIS habitat type were calculated, and maps were developed accordingly.

**Results:** The results obtained from this study showed that; (1) with raw scores, ES capacities of habitat types are very diverse for each ES type, (2) with AESC indices, almost all ES capacity class are same for each habitat type.

**Conclusion:** As a conclusion, it can be stated that the use of EUNIS habitat maps is applicable to assess ES capacities in such studies if and when the presence of such habitat data.

### ÖZ

**Amaç:** Ekosistem hizmetleri (EH) terimi, yeryüzündeki ekosistemlerin insan ve diğer canlılara sağladığı ürün, hizmet ve faydaların tümü olarak tanımlanmaktadır. EH kapasitesinin belirlenmesi ve bu tür verilerin yönetim planlarına entegre edilmesi, doğanın korunması ve sürdürülebilir arazi kullanım planlaması için kilit bir unsurdur. Bu çalışmada, EUNIS habitat verileri kullanılarak uzman görüşlerine dayalı değerlendirme yaklaşımı ile Mamak ilçesinin (Ankara, Türkiye) EH kapasitesinin belirlenmesi amaçlanmaktadır.

**Materyal ve Yöntem:** Uzman görüşlerine dayalı değerlendirme yaklaşımı ile uzmanlardan alınan ham puanların yanı sıra her bir EUNIS habitat tipi için alansal EH kapasite (AESC) indeksleri hesaplanmış ve buna göre haritalar geliştirilmiştir.

**Araştırma Bulguları:** Sonuçlar göstermiştir ki; (1) ham puanlarla, habitat tiplerinin EH kapasiteleri her EH tipi için çok farklı iken, (2) AESC indeksleriyle, hemen hemen tüm EH kapasite sınıfları her habitat tipi için aynıdır.

**Sonuç:** Sonuç olarak bu çalışma, EUNIS habitat haritalarının kullanımının, EUNIS habitat verilerinin mevcut olması durumunda ve bu tip çalışmalarda EH kapasitelerini değerlendirmek için uygulanabilir olduğunu göstermektedir.

## INTRODUCTION

The concept of ecosystem services (ES) is defined as all of the products, services and benefits provided by ecosystems on earth to humans and other living entities (Costanza et al., 1997; Daily, 1997; MEA, 2005). The term was suggested mainly by naturalists in the late 1970s and early 1980s to point out how biodiversity loss directly impacts ecosystem functions based on services critical to human health and thereby trigger action on nature conservation (Anonymous, 2016). “Millennium Ecosystem Assessment” (MA) classifies ES under four main groups; supporting ES, regulating ES, provisioning ES and cultural ES. Supporting services are ecological functions such as biodiversity, habitats for animal and plant species, and genetic diversity; regulating services are goods from ecosystems such as purification of air and water, climate regulation, and control of pests and diseases, whereas provisioning services are what humans can obtain from the ecosystems such as food (animal and plant products), non-wood products, and medicine materials; and finally, cultural services are non-material benefits such as ecotourism, recreation, and religious value (MEA, 2005). Following that, “The Economics of Ecosystems and Biodiversity” (TEEB) labelled supporting services as “habitat or supporting services” and finally “The Common International Classification of Ecosystem Services” (CICES) organized sections hierarchically, however didn't include supporting services (Kasparainkis et al., 2018).

Although the mapping of ES is one vital concept that is required to improve the recognition, integration and implementation of ES into various institutions and decision-making mechanisms, the quantification and mapping of ES have been put forward as one of the major challenges for the implementation of ES in decision-making mechanisms (Daily & Matson, 2008). Several new ES mapping approaches have recently been developed in a variety of research (Troy & Wilson, 2006; Turner et al., 2007; Egoh et al., 2008; Nelson et al., 2009; Tallis & Polasky, 2009; Vihervaara et al., 2010; Vihervaara et al., 2012; Hepcan & Coskun Hepcan, 2021). Most recent mapping strategies have relied heavily on biological data (for example, plant functional traits, ecosystem structure, and habitat data) (Vihervaara et al., 2012).

It is a fact that humanity is subjected to biodiversity and ecosystem functions, and ES are a tool to exhibit human impacts on ecosystems and biotopes such as land use (MEA, 2005; Swetnam et al., 2011; Vihervaara et al., 2012). ES in urban areas have gained significant attention due to the rapid urban development lately (Zinia & McShane, 2021). Although urban systems are perceived as separate from natural ecosystems (Costanza et al., 1997; McIntyre et al., 2000; de Groot et al., 2002; Grimm & Redman, 2004; Niemelä et al., 2010; Li et al., 2017), every detailed study on urban ecosystems is quite significant for people living in cities (Ahern et al., 2014). According to Gutman (2007) and Sandhu & Wratten (2013), urban ecosystems and ecosystems out of the cities both provide ES for people living in cities.

EUNIS habitat classifications offer precise biodiversity data, making their usage plausible in mapping links between biodiversity and ES (Maes et al., 2016). Although these two are interrelated, there is still need for clarification on that (Haines-Young & Potschin, 2012; Vihervaara et al., 2012). Approaches such as deriving information on ES directly from land cover/habitat maps may be appropriate at national or larger scales, for areas where the dominant ecosystem service is directly related to land use, or where data availability or expertise is limited, and where the main focus is on the assumed presence of ES rather than quantification of the supply (Brander et al., 2012; Burkhard et al., 2012). However, studies on ES assessment through EUNIS habitat classification are still insufficient and new studies should be developed and supported.

Mamak is one of the utterly active districts of Ankara (Türkiye) with the wide range of different land use and habitat types within the context of constantly growing trend of urbanization and emerging slum areas (Çakmak & Aytaç, 2020). Therefore, Mamak is chosen in order to examine its wide range of different land use forms and habitat types. The main objectives of this study were;

- a) to determine the ES capacity and map of the district by using EUNIS habitat data.
- b) to provide a policy related data and a viewpoint to decision-makers in order to integrate ecological information (biological data and ES) into management plans.
- c) to analyse the effect of different habitat types on the provision of ES in the study area.
- d) to reveal a method for evaluation approach based on expert opinion and point out essential ES to be studied in detail for further studies.

## MATERIALS and METHODS

### Study area

The Mamak district is located in the eastern section of Ankara, Türkiye's capital city (32°55'23" E and 39°56'31" N). It covers an area of 34200 ha. Altındağ (in the north-northwest), Elmadağ (in the east) and Çankaya (in the south-southwest) are neighboring districts (Figure 1) (Çakmak & Aytaç, 2018). The district has a total population of 682420 people. Total amount of open green spaces in Mamak district is 1697.63 ha (T.C. Mamak Belediyesi, 2023). The study area is under the influence of the Mediterranean Region's continental climate. In terms of the Mediterranean bioclimatic divisions, the area is close to the slightly humid zone with semi-arid cold winter (Çakmak & Aytaç, 2018). Triassic aged Elmadağ, Emir, Keçikaya, Ortaköy formations and Late Pliocene aged Gölbaşı formations are dominant in the study area (Çelik et al., 2007).

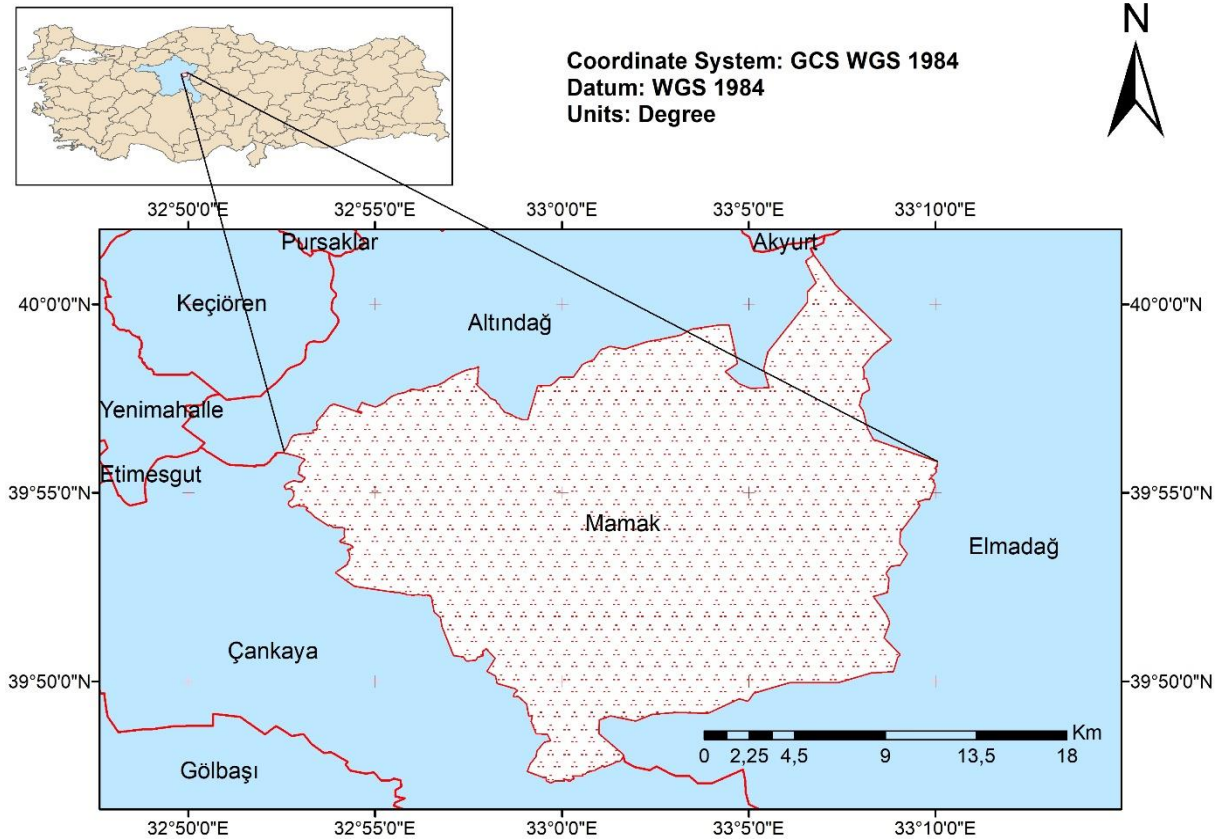


Figure 1. Location of the study area.

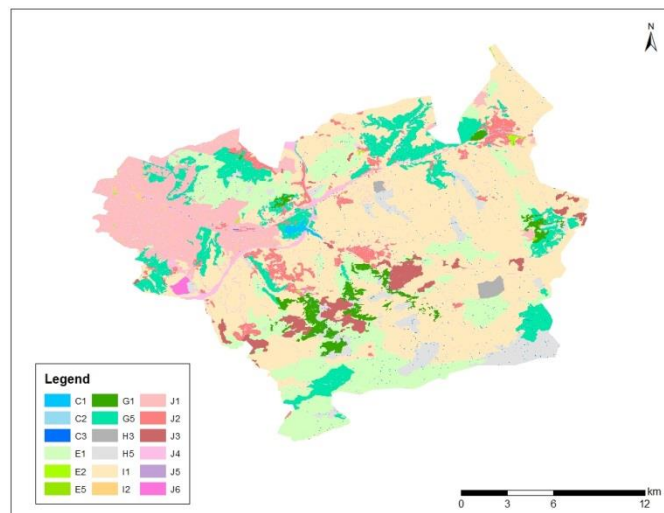
Şekil 1. Çalışma alanının lokasyonu.

Despite the district's rapid development and continuing urbanization, it nevertheless retains a diverse floristic (233 plant taxa) and habitat (29 types at level 3 and 14 types at level 4, totally 43 EUNIS habitat types) diversity (Çakmak & Aytaç, 2018, 2020). 18 habitat types at level 2 were derived from the study of Çakmak & Aytaç (2020) (Table 1, Figure 2).

**Table 1.** Level 2 EUNIS habitat types of Mamak district (Çakmak & Aytaç, 2020)

**Çizelge 1.** Mamak ilçesinin 2. seviye EUNIS habitat tipleri (Çakmak & Aytaç, 2020)

EUNIS Habitat Codes (Level 2)	EUNIS Habitat Names	Area (ha)	Area (%)
C1	Surface standing waters	80.77	0.24
C2	Surface running waters	165.57	0.48
C3	Littoral zone of inland surface waterbodies	109.82	0.32
E1	Dry grasslands	5468.67	15.97
E2	Mesic grasslands	52.79	0.15
E5	Woodland fringes and clearings and tall forb stands	5.17	0.02
G1	Broadleaved deciduous woodland	828.58	2.42
G5	Lines of trees, small anthropogenic woodlands, recently felled woodland, early-stage woodland and coppice	3184.81	9.30
H3	Inland cliffs, rock pavements and outcrops	172.75	0.50
H5	Miscellaneous inland habitats with very sparse or no vegetation	1717.71	5.02
I1	Arable land and market gardens	15531.50	45.35
I2	Cultivated areas of gardens and parks	81.18	0.24
J1	Buildings of cities, towns and villages	3355.90	9.80
J2	Low density buildings	1169.78	3.42
J3	Extractive industrial sites	890.85	2.60
J4	Transport networks and other constructed hard-surfaced areas	1351.73	3.95
J5	Highly artificial man-made waters and associated structures	6.55	0.02
J6	Waste deposits	71.62	0.21
TOTAL		34245.75	100



**Figure 2.** EUNIS habitat types (level 2) of the study area (Çakmak & Aytaç, 2020).

**Şekil 2.** Çalışma alanının EUNIS habitat tipleri (2. seviye) (Çakmak & Aytaç, 2020).

## Methods

The main approach in this study was to evaluate the EUNIS habitat types for Mamak in terms of ES by using an evaluation approach based expert opinion, first step was to prepare a matrix table as a survey where experts have to grade ES capacities by considering EUNIS habitat types (Table 2). On the behalf of ES classes, four main groups (provisioning, regulating, cultural and supporting ES) according to MEA (2005) and “ES bundles” as the bundles of all four types were included. Besides that, EUNIS habitat types of the study area was obtained from a study conducted by Çakmak & Aytaç (2020) where habitat types ranked up to EUNIS level 2 (Table 1, Figure 2). In accordance with the EUNIS habitat classification system, level 1 delineates primary ecosystem types, level 2 broadly encompasses habitats similar to a land cover system, and at level 3, notably, phytosociological units such as alliances and associations play a pivotal role in habitat identification (Davies et al., 2004; Arslan & Arslantürk, 2009; Çakmak & Aytaç, 2021). In the aforementioned study, the abundance of habitat types (43 habitats) below level 2 rendered them impractical for ES assessment due to the need for more intricate knowledge and analyses. Consequently, as the utilization of habitat types below level 2 for ES assessment was considered to be unfeasible, level 2 was used in the study.

As the second step, thirty experts from different backgrounds such as water management, non-wood production, animal and plant products, green spaces in cities, micro climate conditions in cities, carbon sequestration, bio-assessment in accordance with the topics that form the basis of 4 different ES (provisioning, regulating, cultural and supporting) were determined and matrix table were shared with these experts as the survey where they can grade. The assessment grades ranged from 1 to 5 as the Likert scale, where 1 grade presented “no relevant capacity to provide a certain ES”, and 5 grade presented a “very high relevant capacity to provide a certain ES” (Vihervaara et al., 2012). Thus, experts scored the relationship of each ES with each EUNIS habitat types. Although most experts were familiar with the environmental, social and economic conditions of the study area, some documents such as maps and reports about the district were also provided them. Twenty-seven experts filled up the survey matrix table. After gathering survey results, the standard deviation was calculated by taking sum of scores into consideration, and two extreme lowest values were removed. Therefore, analyses were focused on other 25 surveys.

In this study, mainly two methods were employed: using (1) sum of scores of experts, (2) AESC (Areal ES Capacity) indices. The results of both methods were mapped for four main ES (provisioning, regulating, cultural and supporting) and ES Bundles. EUNIS habitat types obtained from Çakmak & Aytaç (2020) were used as the base in the maps by using ArcGIS 10.8. In addition, the most prioritized EUNIS habitat types for conservation (C1, E1, G1, H3, I1 and J1) according to the study of Çakmak & Aytaç (2020) were also evaluated.

For the areal ES capacity (AESC) indices for each EUNIS habitat type were calculated by using the following equation (Vihervaara et al., 2010), and 4 main ES and ES bundles maps were prepared:

$$I_{AESC} = \sum \frac{X_{HABITAT} A_{HABITAT}}{A_{TOTAL}} \quad (1)$$

where  $X_{HABITAT}$  is the habitat value (average of ES production capacity per habitat),  $A_{HABITAT}$  is the area of the EUNIS habitat type in the study area, and  $A_{TOTAL}$  is the area of the study area.

**Table 2.** A sample scoring matrix table (survey) for the interview with experts**Çizelge 2.** Uzman görüşmelerinde kullanılan matris (araştırma) tablosu örneği

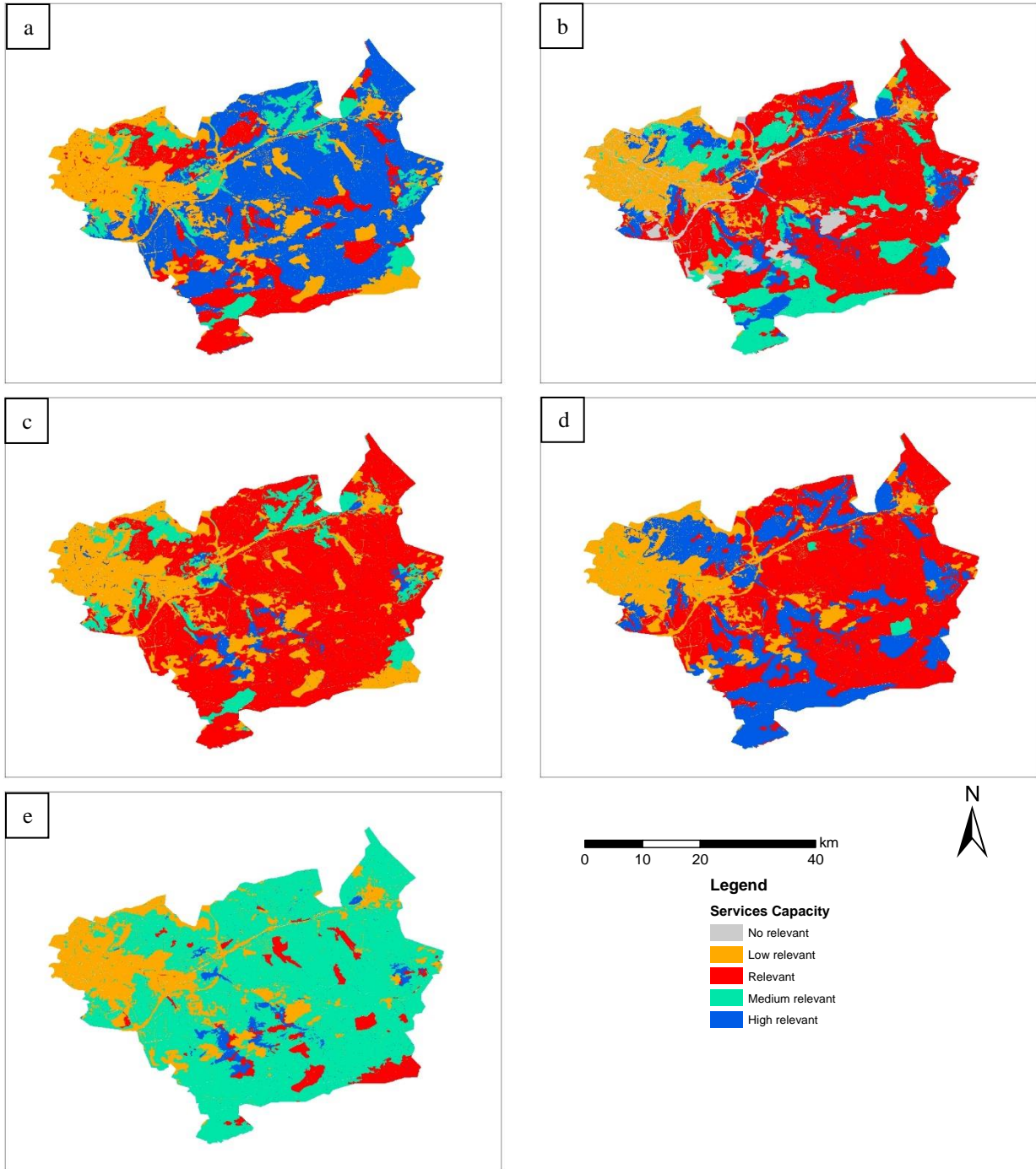
<b>EUNIS Habitat Types / Ecosystem Services</b>		Provisioning ES are defined as products obtained from ecosystems; examples of services such as the provision of food (plant and animal products), access to clean water resources, obtaining wood products (firewood and round timber), contribution to the seed bank, natural medicine making can be given. In this context, please evaluate this service type and score between 1-5 for each EUNIS habitat type given in the columns.	Regulating ES are defined as benefits derived from ecosystem processes; examples of services such as climate regulation (carbon storage), purification of air and water, contribute to pollination (seed transport), erosion control, reducing noise pollution, control of pests and diseases can be given. In this context, please evaluate this service type and score between 1-5 for each EUNIS habitat type given in the columns.	Cultural ES are defined as intangible benefits derived from ecosystems; examples of services such as ecotourism, recreation, hunting, aesthetic benefits of urban green areas, inspiring values, moral and spiritual values can be given. In this context, please evaluate this service type and score between 1-5 for each EUNIS habitat type given in the columns.	Supporting ES are defined as the ecological functions underlying the production of ecosystem services; examples of services such as biodiversity, providing a habitat for plant and animal species, ensuring genetic diversity can be given. In this context, please evaluate this service type and score between 1-5 for each EUNIS habitat type given in the columns.
C1	Surface standing waters	5	5	4	5
C2	Surface running waters	5	5	3	5
C3	Littoral zone of inland surface waterbodies	4	5	4	5
E1	Dry grasslands	5	5	3	5
E2	Mesic grasslands	2	3	4	2
E5	Woodland fringes and clearings and tall forb stands	3	3	2	3
G1	Broadleaved deciduous woodland	5	5	4	5
G5	Lines of trees, small anthropogenic woodlands, recently felled woodland, early-stage woodland and coppice	3	3	3	3
H3	Inland cliffs, rock pavements and outcrops	3	3	2	4
H5	Miscellaneous inland habitats with very sparse or no vegetation	3	3	2	4
I1	Arable land and market gardens	3	2	1	2
I2	Cultivated areas of gardens and parks	3	3	4	3
J1	Buildings of cities, towns and villages	1	1	1	1
J2	Low density buildings	1	1	1	1
J3	Extractive industrial sites	1	1	1	1
J4	Transport networks and other constructed hard-surfaced areas	1	1	1	1
J5	Highly artificial man-made waters and associated structures	3	2	2	2
J6	Waste deposits	1	1	1	1
<b>Sum of scores</b>		<b>52</b>	<b>52</b>	<b>43</b>	<b>53</b>



## RESULTS and DISCUSSION

### Based on the expert evaluations

Based on the expert evaluations, four main ES and ES bundles were mapped and depicted in Figure 3.



**Figure 3.** ES mapping based on the mean scores (3a: Provisioning, 3b: Regulating, 3c: Cultural, 3d: Supporting, 3e: Bundles).

**Şekil 3.** Ortalama puanlara dayalı EH haritalaması (3a: Tedarik, 3b: Düzenleyici, 3c: Kültürel, 3d: Destekleyici, 3e:Tüm).

As I1 habitat covers about %45 of the study area and is “high relevant” in terms of provisioning ES, checking over Figure 3a may cause a misunderstanding of results, since except G1 habitat (also high relevant), the half of the other habitats have low relevance to provisioning services. The same trend was valid for other ES maps: the results for the other 3 ES types (regulating, cultural and supporting) are mostly “relevant”, therefore these maps are seen as most of the EUNIS types are also “relevant”. However, habitats such as C1, C2 and G1 are high relevant for them. Regulating ES reached the result of no relevant for J3, J4 and J6 habitat types.

As mentioned as the most prioritized EUNIS habitat types for conservation; C1, E1, G1, H3, I1 and J1 are also examined in detail. The scores of G1 and J1 habitats are self-balanced. While G1 is high relevant to all ES types while J1 is low relevant. On the other hand, H3 habitat ranges from low relevant to medium relevant. High relevant habitat types for provisioning ES are G1 and I1, for regulating and cultural ES are C1 and G1, for supporting are C1, E1 and G1. According to which ES capacity class each EUNIS habitat is in, the calculated areal percentages in percent (%) that these capacity classes cover in the whole study area were determined. The ES capacity of the study area is shown in Figure 3 and Table 3. The provisioning services capacity of the study area has high relevant capacity with %48 percentage. These figures show that almost half of the area of the district has high production capacity. For regulating ES; nearly half of the area of district has relevant capacity (%51), while %7 of the study area has no relevant capacity. This shows that regulating ES do not have much big impact for the study area. According to relevant capacity (%62), cultural ES do not have a huge impact in the study area, just like regulating ES. The supporting services capacity is similar to the situation of the regulating and the cultural services capacities, whereas the supporting services capacity do not have a very large impact for the district. Finally, when all ES capacity of the study area is evaluated, it can be seen that medium relevant capacity has the highest percentage (%71).

**Table 3.** The areal distribution percentages of ES capacities for each ES types

**Çizelge 3.** Her bir EH tipi için EH kapasitelerinin alansal dağılım yüzdeleri

ES Capacities	Provisioning ES (%)	Regulating ES (%)	Cultural ES (%)	Supporting ES (%)	ES Bundles (%)
No relevant	0	6.76	0	0	0
Low relevant	25.49	13.23	24.99	19.97	19.97
Relevant	16.39	50.87	61.86	50.39	5.55
Medium relevant	10.34	16.38	9.77	0.91	71.33
High relevant	47.77	12.76	3.38	28.73	3.14

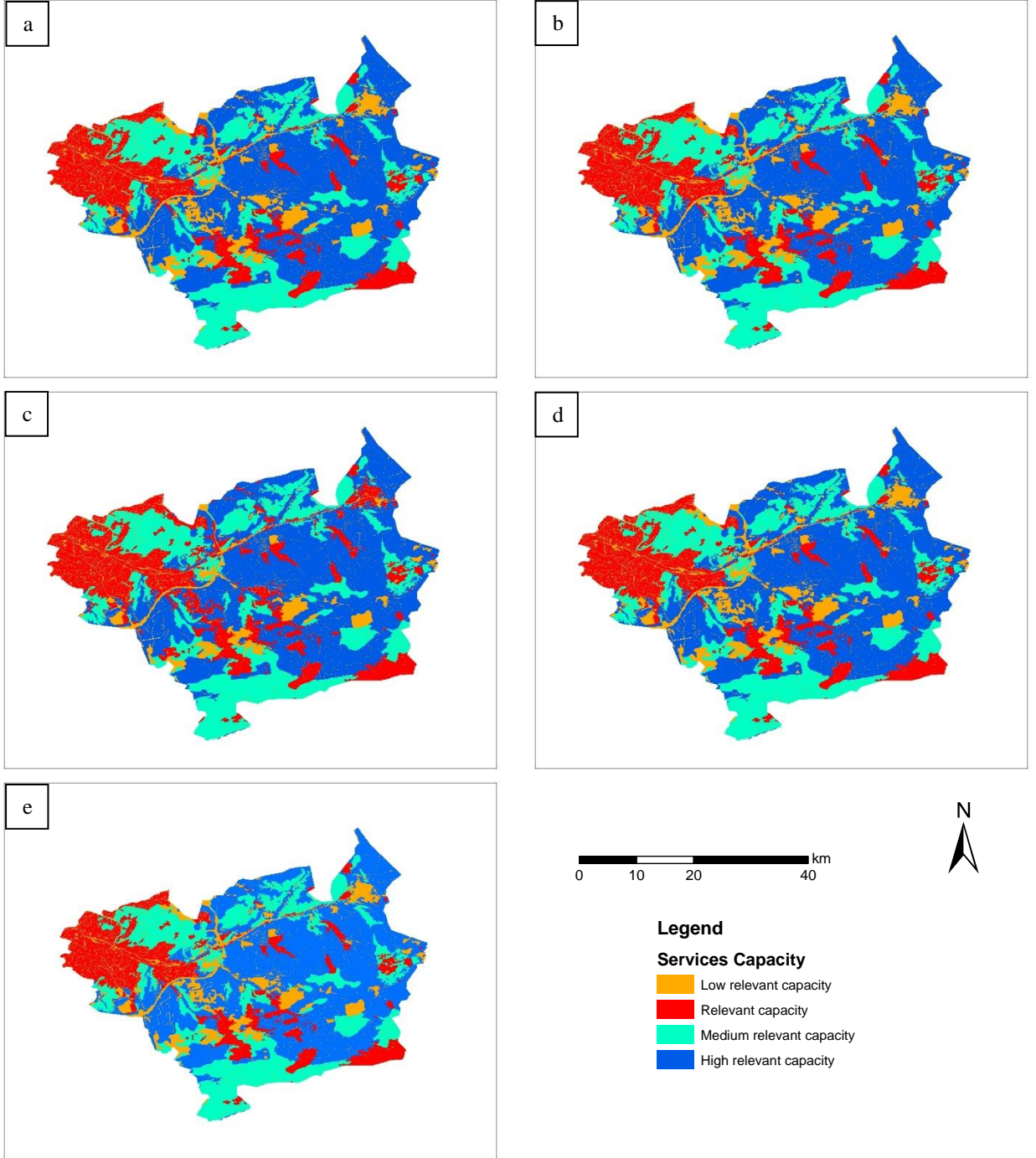
### Based on the AESC indices

The results of the AESC indices are given as maps in Figure 4. For all ES types, as I1 habitat covers nearly half of the district, the study area mostly has the capacity class “high relevant”.

By examining the AESC indices scores for each EUNIS habitat type, the ES type with the highest value (most dominant) for that habitat type was determined. Then, by using the coverage percentages of these EUNIS habitat types, the coverage percentages of the most dominant ES types were calculated and mapped (Figure 5 and Table 4). The areal distribution percentages of dominant ES types respectively are as follows; provisioning ES (48%), supporting ES (25%), cultural ES (14%), regulating ES (9%), and finally, in 4% of the district, supporting and cultural ES are dominant together (Table 3 and Figure 5). ES types that are dominant for C2, C3, E1, E2, H3, H5, I1, I2 and J2 habitats are dominant with high differences from other ES types score-wise when each habitat is evaluated within itself. On the other hand, for J1, J3, J4, J5, J6 habitats, the difference in score between the other 3 ES types and the



dominant ES type is low. Besides for C1 habitat, regulating and cultural ES are close to supporting ES score-wise, while for E5, G1 and G5 habitats' regulating and supporting ES are close to each other.

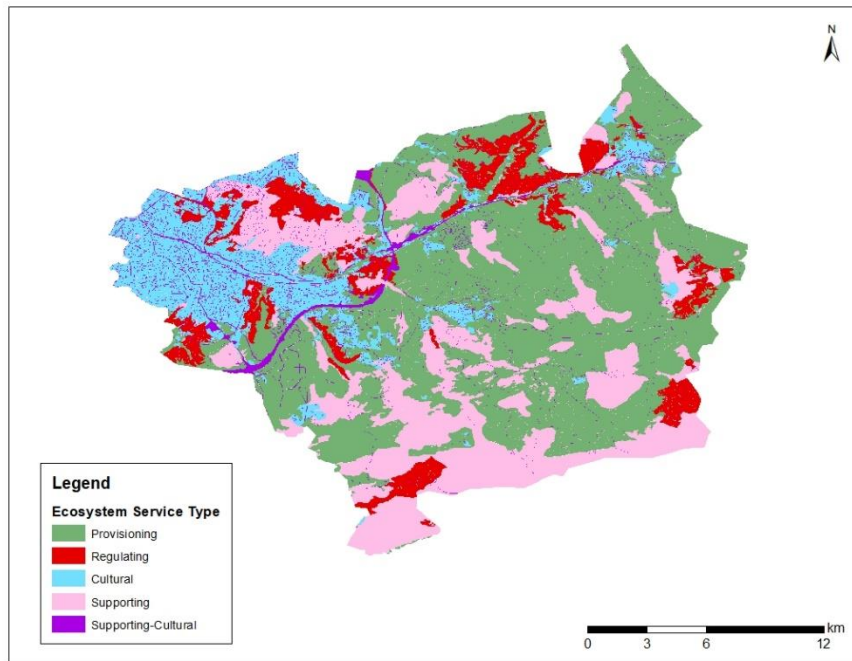


**Figure 4.** ES mapping based on the AESC indices scores (6a: Provisioning ES, 6b: Regulating ES, 6c: Cultural ES, 6d: Supporting ES, 6e: ES Bundles).

**Şekil 4.** AEHK indis puanlarına dayalı EH haritalaması (4a: Tedarik EH, 4b: Düzenleyici EH, 4c: Kültürel EH, 4d: Destekleyici EH, 4e:Tüm EH)

**Table 4.** The areal distribution percentages of dominant ES types**Çizelge 4.** Baskın EH tiplerinin alansal dağılım yüzdeleri

ES Types	Percentage (%)
Provisioning ES	47.95
Supporting ES	25.35
Cultural ES	13.45
Regulating ES	9.30
Supporting - Cultural ES	3.95

**Figure 5.** Dominant ES mosaic map.**Şekil 5.** Baskın EH mozaik haritası.

This study was conducted with an objective to determine the ES capacity of the study area with evaluation approach based on expert opinion by using EUNIS habitat data to provide a viewpoint to decision-makers to integrate ecological information (biological data and ES) into management plans. As EUNIS habitat classification is more detailed, comprehensive and updated system compared to other habitat classification/land cover systems in Europe (e.g, CORINE Land Cover, EU Habitats Directive, Palaeartic Habitat Classification, Nordic Habitat Classification), it provides a significantly accurate basis for the ES assessment than the others (Evans, 2012; Çakmak & Aytaç, 2020). However, as mentioned in the “Methods” section, in this study EUNIS habitats were used in level 2, since the ES assessment of habitat types below level 2 requires more complex and specific analyses and there are too many habitat types (43 habitats) Çakmak & Aytaç (2020). Hence, it is not feasible to analyze each single habitat for the ES assessment.

According to the evaluation of expert scores, the capacities of ES were quite different from each other except for the J habitat type (constructed, industrial and other artificial habitats). J1 and J2 have the same ES capacity class for all ES types, both separately and together. On the other hand, J3, J4, J5 and J6 have the same ES capacity class for all ES types but regulating services. Experts stated that J3, J4, and J6 habitats have nothing to do with regulating services. However, in accordance with the AESC

indices; all the ES capacities are relevant for J1 and low relevant for J3, J4, J5, and J6. Finally, J2 habitat type is low relevant to ES capacities except cultural ES. That means, there are differences between J habitat type according to two different methods.

The habitat destruction constitutes a significant threat to biodiversity and of course ES (Tilman et al., 1994). Habitat conservation is one of the most efficient and rational ways to prevent and/or slow biodiversity loss and provide continuity of ES (Lin et al., 2017; Çakmak & Aytaç, 2021). When compared the AESC indices and the expert mean scores for C1, E1, G1, H3, I1, and J1 habitats, which were stated as significant in terms of conservation by Çakmak & Aytaç (2020), only H3 and I1 habitats in provisioning ES, E1 habitat in regulating and ES bundles were found to have the same ES capacity class. Apart from this, no other capacity classes were found to be the same. This indicated that these two methods reveal quite different results from each other. The areal size of the habitats is thought to be the main reason for this because the non-constant variable in the AESC indices formula is the areal size. In addition to that, interestingly, the variability of the areal size of the habitats and the variability of the scores of the habitats are quite positively correlated with each other.

The following are the highlights of interpreting the distribution maps of the main ES types: the highest cultural ES values were observed in natural terrestrial and aquatic habitats (C1 and G1). In this case, they are water bodies and deciduous forest. It shows that experts believed that natural habitats have high cultural and recreational value than managed habitats. This result is consistent with the findings by Vihervaara et al. (2010). On the other hand, regulating ES were high in both natural and managed habitats. In this case G1 had the highest value, followed by G5, C1 and C2. This is related to disaster risk reduction functions of ecosystems (EEA, 2015; Cohen-Shacham et al., 2016). The level of provisioning ES was high in arable lands (I1) and low in urban habitats (J1-J2).

The Convention on Biological Diversity prioritizes the value of urban biodiversity and its contribution to ES (CBD, 2016). This study showed that the dominant ES of Mamak is provisioning (almost %50), that means, experts believe that access to plant and animal products, clean water, wood products etc. are still possible in urban ecosystems. On the other hand, supporting ES, which represents biodiversity and forming a suitable habitat for plant and animal species, have only %25 areal distribution percentage. Results also indicated that urban areas have the negative impacts on the supply of all ES. However, the interactions between urbanization and ES were consistent with previous studies (Tratalos et al., 2007; Vihervaara et al., 2010; Wang et al., 2020).

As conclusion, quantifying and mapping ES has become a rapidly expanding research field and several approaches have been used so far (Bolliger and Kienast, 2010; Vihervaara et al., 2012; Maes et al., 2016). ES assessments considering habitat types have become an important issue for ecological studies in Türkiye, as well as all over the world and several approaches have been used so far (Bolliger and Kienast, 2010; Vihervaara et al., 2012; Maes et al., 2016). Like for many other countries, the lack of urban biodiversity data (Kremen & Ostfeld, 2005) and more important a national assessment of ES is also the main challenge (Başak et al. 2022) for Türkiye. Therefore, EUNIS habitat classification data could be used for rapid ES assessment in urban areas. The results of assessments depend on methodology and quality data were used. The use of the ES concept has shown considerable promise in terms of presenting and developing new tools for researchers, stakeholders, and decision-makers. The outputs of ES assessment of urban habitats of Mamak district provides valuable quantitative ecological data for urban development and management plans. High-quality living environment is positively related to ES provided by urban nature (MEA, 2005; Tzoulas et al., 2007). It can be concluded that approach to ES assessments for EUNIS habitats can contribute to urban plans as expert-based decision-making and guide to development process.

In this paper, EUNIS habitat classification was used for evaluation approach based on expert opinion using EUNIS habitat data. Although a similar approach was tested in some EU countries

(Tuominen et al., 2001; Vihervaara et al., 2010), it was tested in Türkiye for the first time. While different classifications are used in these studies such as CORINE, EUNIS habitat classification are used in this study. The results obtained showed that this approach is applicable in all areas of Türkiye if and when the presence of EUNIS habitat maps. This article presented the necessity and importance of having such studies should become widespread across the country. Although different methods are used, there are ecosystem services studies conducted in Türkiye; e.g: assessing regulating ecosystem services for improving the air quality by using tree canopy (Coşkun Hepcan & Hepcan, 2017; Çakmak & Can, 2020), determining the effects of land cover changes on forest carbon storage through remote sensing (Karahalil et al, 2018), determining the importance of the historical values examining by the framework of some parameters (Tırnakçı, 2021a; 2021b, 2022), biological valuation (Bilgin & Doğan, 2012), making temporal and spatial analysis of ES potential by using social media photos (Örücü & Arslan, 2021), etc. Scientific studies on ES in Türkiye are mostly related to land use/land cover, but are not directly related to habitat classes. There are no studies on ES and habitat classification, but rather studies on ecosystems. This study was approached from such a different perspective and was conducted to fill this gap.

## **ACKNOWLEDGEMENTS**

The authors thank to Ms. Duygu Dönertaş for checking the language of the document.

### **Data Availability**

Data will be made available upon reasonable request.

### **Author Contributions**

Conception and design of the study: İT, MHÇ; sample collection: İT, MHÇ, ÇCH; analysis and interpretation of data: İT, MHÇ, ÇCH; statistical analysis: İT, MHÇ; visualization: İT, MHÇ; writing manuscript: İT, MHÇ, ÇCH.

### **Conflict of Interest**

There is no conflict of interest between the authors in this study.

### **Ethical Statement**

We declare that there is no need for an ethics committee for this research.

### **Financial Support**

This study was not financially supported.

### **Article Description**

This article was edited by Section Editor Assoc. Prof. Dr. İpek ALTUĞ TURAN.

## **REFERENCES**

- Ahern, J., S. Cilliers & J. Niemelä, 2014. The concept of ecosystem services in adaptive urban planning and design: a framework for supporting innovation. *Landscape and Urban Planning*, 125: 254-259. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.01.020>
- Anonymous, 2016. 100 Maddede Sürdürülebilirlik Rehberi. SKD Türkiye, İstanbul, 112 s.
- Arslan, M. & N. Arslantürk, 2009. Avrupa Doğa Bilgi Sistemi (EUNIS) Habitat Sınıflandırması. *Orman Mühendisliği*, 46 (1-2-3): 48-51.
- Başak, E., N.I. Çetin, C. Vatandaşlar, P.P. Albers, A.A. Karabulut, A.A. Çağlayan & G. Atkin, 2022. Ecosystem services studies in Turkey: A national-scale review. *Science of the Total Environment*, 844: 157068.

- Bilgin, A. & M. Doğan, 2012. Doğa Korumanın Ekonomik Sisteme Entegrasyonu Taslak Kılavuzu 2 Biyokıymetlendirme Teknik Uygulayıcıları: Sultan Sazlığı Milli Parkı Pilot Uygulaması. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Ankara, 192 s.
- Bolliger, J. & F. Kienast, 2010. Landscape functions in a changing environment. *Landscape Online*, 21: 1-5. <https://doi.org/10.3097/LO.201021>.
- Brander, L. M., A. J. Wagtendonk, S.S. Hussain, A. McVittie, P.H. Verburg, R.S. de Groot & S. van der Ploeg, 2012. Ecosystem service values for mangroves in Southeast Asia: a meta-analysis and value transfer application. *Ecosystem Services*, 1 (1): 62-69. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2012.06.003>.
- Burkhard, B., F. Kroll, S. Nedkov & F. Müller, 2012. Mapping ecosystem service supply, demand and budgets. *Ecological Indicators*, 21: 17-29. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.06.019>.
- Çakmak, M.H. & M. Can, 2020. Mamak İlçesinin (Ankara) hava kalitesinin iyileştirilmesine yönelik düzenleyici ekosistem hizmetlerinin hesaplanması. *Bilge International Journal of Science and Technology Research*, 4 (2): 141-149.
- Çakmak, M.H. & Z. Aytaç, 2018. Urban vascular flora and ecological characteristics of Mamak District (Ankara/Turkey). *Biological Diversity and Conservation*, 11 (2): 123-131.
- Çakmak, M.H. & Z. Aytaç, 2020. Determination and mapping of EUNIS habitat types of Mamak District (Ankara), Turkey. *Acta Biologica Turcica*, 33 (4): 227-236.
- Çakmak, M.H. & Z. Aytaç, 2021. EUNIS Habitat Sınıflandırmasının Türkiye durum değerlendirmesi. *Bilge International Journal of Science and Technology Research*, 5 (2): 157-163. <https://doi.org/10.30516/bilgesci.888297>.
- Celik, M., M. Tastekin & K. Kayabali, 2007. An investigation of the surface and groundwater leachate from an old waste disposal site at Mamak, Ankara, Turkey. *International Journal of Environment and Pollution*, 30 (3-4): 548-560. <https://doi.org/10.1504/IJEP.2007.014828>.
- Cohen-Shacham, E., G. Walters, C. Janzen & S. Maginnis, 2016. *Nature-Based Solutions to Address Global Societal Challenges*. Gland, Switzerland: IUCN, 97pp. ISBN: 978-2-8317-1812-5.
- Convention on Biological Diversity (CBD), 2016. COP Decision XIII/5. *Ecosystem Restoration: Short-Term Action Plan*. CBD Secretariat, Mexico, 10 pp.
- Coşkun Hepcan, Ç. & Ş. Hepcan, 2017. Ege Üniversitesi Lojmanlar Yerleşkesinin hava kalitesinin iyileştirilmesine yönelik düzenleyici ekosistem servislerinin hesaplanması. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 54 (1): 113-120.
- Costanza, R., R. D'Arge, R.S. de Groot, S. Farber, M. Grasso, B. Hannon, K. Limburg, S. Naeem, R.V. O'Neill, J. Paruelo, R.G. Raskin, P. Sutton & M. van den Belt, 1997. The value of world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387: 253-260. doi:10.1038/387253a0.
- Daily, G.C. & P.A. Matson, 2008. Ecosystem services: from theory to implementation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 105 (28): 9455-9456. <https://doi.org/10.1073/pnas.0804960105>.
- Daily, G.C., 1997. *Nature's Services*. Island Press, Washington DC, 412 pp.
- Davies, C.E., D. Moss & M.O. Hill, 2004. EUNIS Habitat Classification Revised 2004. European Environment Agency, European Topic Centre on Nature Protection and Biodiversity, 1-307.
- de Groot, R., M.A. Wilson & R.M.J. Boumans, 2002. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics*, 41 (3): 393-408, [https://doi.org/10.1016/s0921-8009\(02\)00089-7](https://doi.org/10.1016/s0921-8009(02)00089-7).
- Egoh, B., B. Reyers, M. Rouget, D.M. Richardson, D.C. Le Maitre & A.S. van Jaarsveld, 2008. Mapping ecosystem services for planning and management. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 127: 135-140. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2008.03.013>.
- European Environmental Agency (EEA), 2015. *Exploring Nature-Based Solutions the Role of Green Infrastructure in Mitigating the Impacts of Weather- and Climate Change-Related Natural Hazards*. EEA Technical report No 12/2015. ISBN 978-92-9213-693-2. doi:10.2800/946387, 66 pp.
- Evans, D., 2012. The EUNIS habitats classification - past, present & future. *Revista de Investigación Marina*, 19 (2): 28-29.
- Fisher, B., R.K. Turner & P. Morling, 2009. Defining and classifying ecosystem services for decision making. *Ecological Economics*, 68 (3): 643-653.
- Grimm, N.B. & C.L. Redman, 2004. Approaches to the study of urban ecosystems: the case of Central Arizona - Phoenix. *Urban Ecosystem*, 7 (3): 199-213.

- Gutman, P., 2007. Ecosystem services: foundations for a new rural-urban compact. *Ecological Economics*, 62 (3-4): 383-387. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.02.027>.
- Haines-Young, R. & M. Potschin, 2012. "The Links Between Biodiversity, Ecosystem Services and Human Well-Being, 110-139." In: *Ecosystem Ecology: A New Synthesis* (Eds. D.G. Raffaelli & C.L.J. Frid), Cambridge University Press, Cambridge, 174 pp.
- Hepcan, S. & C. Coskun Hepcan, 2021. Assessing ecosystem services of urban green spaces: the case of Eugene Pioneer Cemetery, Eugene, OR (USA). *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 58 (4): 513-522. DOI: 10.20289/zfdergi.900698.
- Karahalil, U., E.Z. Başkent & S. Bulut, 2018. The effects of land cover changes on forest carbon storage in 40 years: a case study in Turkey. *International Journal of Global Warming*, 14: 207-223.
- Kasparainiskis, R., A. Ruskule, I. Vinogradovs & M. Viloslada Pecina, 2018. The Guidebook on "The Introduction to the Ecosystem Service Framework and Its Application in Integrated Planning". Riga: University of Latvia, Faculty of Geography and Earth Sciences, 63 pp.
- Kremen, C. & R.S. Ostfeld, 2005. A call to ecologists: measuring, analyzing, and managing ecosystem services. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 3: 540-548.
- Li, F., X. Liu, X. Zhang, D. Zhao, H. Liu, C. Zhou & R. Wang, 2017. Urban ecological infrastructure: an integrated network for ecosystem services and sustainable urban systems. *Journal of Cleaner Production*, 163: 12-18. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.02.079>.
- Lin, Y.P., W.C. Lin, Y.C. Wang, W.Y. Lien, T. Huang, C.C. Hsu, D.S. Schmeller & N.D. Crossman, 2017. Systematically designating conservation areas for protecting habitat quality and multiple ecosystem services. *Environmental Modelling & Software*, 90: 126-146.
- Maes, J., N. D. Crossman & B. Burkhard, 2016. "Mapping ecosystem services, 188-204". In: *Routledge handbook of ecosystem services*. (Eds. P. Potschin, R. Haines-Young, R. Fish & R.K. Turner), Routledge, London, 630 pp.
- Mcintyre, N.E., K. Knowles-Yáñez & D. Hope, 2000. Urban ecology as an interdisciplinary field: differences in the use of "urban" between the social and natural sciences. *Urban Ecosystems*, 4 (1): 5-24. <https://doi.org/10.1023/A:1009540018553>
- Millennium Ecosystem Assessment (MEA), 2005. *Ecosystems and Human Well-Being: a Framework for Assessment*, MA. (Web page: <http://www.millenniumassessment.org/en/Framework.html>) (Date accessed: 16.08.2023)
- Nelson, E., G. Mendoza, J. Regetz, S. Polasky, H. Tallis, D.R. Cameron, K.M.A. Chan, G.C. Daily, J. Goldstein, P.M. Kareiva, E. Lonsdorf, R. Naidoo, T.H. Ricketts & M.R. Shaw, 2009. Modeling multiple ecosystem services, biodiversity conservation, commodity production, and tradeoffs at landscape scales. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 7 (1): 4-11. <https://doi.org/10.1890/080023>.
- Niemelä, J., S-R. Saarela, T. Söderman, L. Kopperoinen, V. Yli-Pelkonen, S. Väre & D.J. Kotze, 2010. Using the ecosystem services approach for better planning and conservation of urban green spaces: a Finland case study. *Biodiversity and Conservation*, 19 (11): 3225-3243. <https://doi.org/10.1007/s10531-010-9888-8>
- Örücü, Ö.K. & E.S. Arslan, 2021. "Sosyal medya fotoğrafları ile Artvin'in ekosistem hizmet potansiyelinin zamansal ve konumsal analizi, 0". In: *CEDESU2021/ 2<sup>ND</sup> International City and Ecology Congress within the Framework of Sustainable Urban Development*, Online (December 2-3, 2021), 365 pp.
- Sandhu, H. & S. Wratten, 2013. "Ecosystem Services in Farmland and Cities, 3-15". In: *Ecosystem Services in Agricultural and Urban Landscapes*. (Eds. S. Wratten, H. Sandhu, R. Cullen & R. Costanza), Wiley-Blackwell, Oxford, 200 pp.
- Swetnam, T., D.A. Falk, A.E. Hessel & C. Farris, 2011. "Reconstructing Landscape Pattern of Historic Fires and Fire Regimes, 165-192". In: *Landscape Ecology of Fire* (Eds. D. McKenzie, C. Miller & D.A. Falk), Springer, Dordrecht, The Netherlands, 312 pp.
- T.C. Mamak Belediyesi, 2023. 2022 Mamak Belediyesi İdare Faaliyet Raporu. Ankara: T.C. Mamak Belediye Başkanlığı, 470 s.
- Tallis, H. & S. Polasky, 2009. Mapping and valuing ecosystem services as an approach for conservation and natural-resource management. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1162: 265-283. doi:10.1111/j.1749-6632.2009.04152.x
- Tilman, D., R.M. May, C.L. Lehman & M.A. Nowak, 1994. Habitat destruction and the extinction debt. *Nature*, 371: 65-66.



- Tırnakçı, A., 2021a. Sürdürülebilir kentsel açık-yeşil alanlar olarak mezarlıklar ve sunduğu ekosistem hizmetleri: Tarihi Seyyid Burhaneddin Mezarlığı-Kayseri. Bartın Orman Fakültesi Dergisi, 23 (1): 18-35. <https://doi.org/10.24011/barofd.785895>.
- Tırnakçı, A., 2021b. Kentsel kültürel miras alanlarının kültürel ekosistem servisleri bağlamında değerlendirilmesi: Kayseri-Talas Tarihi Kent Dokusu Örneği. Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences, 6 (4): 749-756. <https://doi.org/10.35229/jaes.983932>
- Tırnakçı, A., 2022. Mezarlıkların kentsel bitki çeşitliliği potansiyeli ve sunduğu ekosistem hizmetleri: Kayseri Şehir Mezarlığı. Uluslararası Hakemli Tasarım ve Mimarlık Dergisi, 25: 33-63.
- Tratalos, J., R.A. Fuller, P.H. Warren, R.G. Davies & K.J. Gaston, 2007. Urban form, biodiversity potential and ecosystem services. Landscape and Urban Planning, 83 (4): 308-317. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2007.05.003>.
- Troy, A. & M.A. Wilson, 2006. Mapping ecosystem services: practical challenges and opportunities in linking GIS and value transfer. Ecological Economics, 60: 435-449. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2006.04.007>.
- Tuominen, S., H. Eeronheimo & H. Toivonen, 2001. Yleispiirteinen Biotooppiuokitus. Metsähallituksen luonnonsuojelujulkaisuja, Sarja B No. 57, Finland, Vantaa, 1-60.
- Turner, W.R., T. Brandon, M. Brooks, R. Costanza, G.A.B. da Fonseca & R. Portela, 2007. Global conservation of biodiversity and ecosystem services. BioScience, 57 (10): 868-873. <https://doi.org/10.1641/B571009>.
- Tzoulas, K., K. Korpela, S. Venn, V. Yli-Pelkonen, A. Kaźmierczaka, J. Niemela & P. James, 2007. Promoting ecosystem and human health in urban areas using green infrastructure: a literature review. Landscape and Urban Planning, 81: 167-178. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2007.02.001>.
- Vihervaara, P., T. Kumpula, A. Ruokolainen, A. Tanskanen & B. Burkhard, 2012. The use of detailed biotope data for linking biodiversity with ecosystem services in Finland. International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management, 8 (1-2): 169-185. <https://doi.org/10.1080/21513732.2012.686120>.
- Vihervaara, P., T. Kumpula, A. Tanskanen & B. Burkhard, 2010. Ecosystem services-A tool for sustainable management of human-environment systems, Case study Finnish Forest Lapland. Ecological Complexity, 7: 410-420. <https://doi.org/10.1016/j.ecocom.2009.12.002>.
- Wang, W., T. Wu, Y. Li, S. Xie, B. Han, H. Zheng & Z. Ouyang, 2020. Urbanization impacts on natural habitat and ecosystem services in the Guangdong Hong Kong-Macao "Megacity". Sustainability, 12 (16): 6675. <https://doi.org/10.3390/su12166675>.
- Zinia, N.J. & P. McShane, 2021. Urban ecosystems and ecosystem services in megacity Dhaka: mapping and inventory analysis. Urban Ecosystems, 24: 915-928.





## Research Article (Araştırma Makalesi)

Ogheneakpobor OYIBO<sup>1\*</sup>

Stella O. ODEBODE<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Delta State University, Faculty of Agriculture, Department of Agricultural Extension and Rural Sociology, 330105, Abraka, Delta State, Nigeria

<sup>2</sup>University of Ibadan, Faculty of Agriculture, Department of Extension and Rural Development, 200005, Ibadan, Oyo State, Nigeria

\*Corresponding author (Sorumlu yazar):

[oooyibo3176@stu.ui.edu.ng](mailto:oooyibo3176@stu.ui.edu.ng)

**Keywords:** Constraints to sweet potato production, gender participation, level of participation, root and tuber crops, sweet potato farmers

**Anahtar sözcükler:** Tatlı patates üretimine yönelik kısıtlamalar, cinsiyet katılımı, katılım düzeyi, kök ve yumru bitkileri, tatlı patates çiftçileri

Ege Üniv. Ziraat Fak. Derg., 2024, 61 (1):47-60

<https://doi.org/10.20289/zfdergi.342347>

# Gender analysis of sweet potato production: the case of farmers in Delta State, Nigeria

## Tatlı patates üretiminde cinsiyet analizi: Nijerya'nın Delta Eyaletindeki çiftçilerin durumu

Received (Alınış): 28.10.2023

Accepted (Kabul Tarihi): 07.03.2024

### ABSTRACT

**Objective:** The main objective of this study is to examine the gender participation in sweet potato production (SPP) among farmers in Delta State.

**Material and Methods:** Multi-stage sampling procedure was used to select 131 respondents, comprising 73 male and 58 female sweet potato farmers. The data were obtained between October and December in 2019. Data were collected through interview schedule and analyzed using descriptive statistics, T-test, Pearson Product Moment Correlation and multiple regression.

**Results:** The results indicated that male and female farmers were at an age of 39.5±8.9 years old and 41.9±11.1 years old, respectively. Household sizes for male and female were 9±6 persons and 8±4 persons, respectively. Most male- (95.9%) and female- (81.0%) were formally educated. Men participated more in planting ( $\bar{x}=2.62$ ), while women participated more in marketing ( $\bar{x}=2.91$ ). The level of participation in SPP was high and low among more than half of the male- (56.2%) and female- (55.2%), respectively. Flooding was the highest constraint to SPP faced by male ( $\bar{x}=1.93$ ) and female ( $\bar{x}=1.90$ ). There was no significant difference between male and female level of participation in SPP ( $t=0.92; p>0.05$ ), and constraints to SPP ( $t=0.74; p>0.05$ ). Household size ( $\beta=-0.46$ ); and education, household size and being married ( $r=0.26, 0.26$ , and  $\beta=4.19$ ) significantly influenced male and female participation in SPP, respectively.

**Conclusion:** Household size influenced men participation in SPP while education, household size and marriage enhanced women participation in SPP.

### ÖZ

**Amaç:** Bu çalışmanın temel amacı Delta Eyaletindeki çiftçiler arasında tatlı patates üretimine (TPÜ) cinsiyet katılımını incelemektir.

**Materyal ve Yöntem:** 73'ü erkek ve 58'i kadın tatlı patates çiftçisinden oluşan 131 katılımcıyı seçmek için çok aşamalı örnekleme metodu kullanıldı. Veriler 2019 yılı Ekim-Aralık ayları arasında elde edilmiştir. Veriler anket aracılığıyla toplanmış ve betimsel istatistikler, T-testi, Pearson Momentler Çarpımı Korelasyonu ve çoklu regresyon kullanılarak analiz edilmiştir.

**Araştırma Bulguları:** Sonuçlar, erkek ve kadın çiftçilerin sırasıyla 39, 5±8, 9 ve 41, 9±11, 1 yaşında olduklarını göstermiştir. Hane halkı büyüklüğü erkek ve kadınlarda sırasıyla 9±6 kişi ve 8±4 kişidir. Erkeklerin (%95, 9) ve kadınların (%81, 0) çoğu örgün eğitilidir. Erkekler ekime daha fazla katılırken ( $\bar{x}=2, 62$ ), kadınlar ise pazarlamaya daha fazla katılmıştır ( $\bar{x}=2, 91$ ). TPÜ'ye katılım düzeyi sırasıyla erkeklerin (%56, 2) ve kadınların (%55, 2) yarısından fazlası arasında yüksek ve düşüktür. Su baskını, erkeklerin ( $\bar{x}=1, 93$ ) ve kadınların ( $\bar{x}=1, 90$ ) karşılaştığı TPÜ'ne yönelik en yüksek kısıtlamadır. Erkek ve kadınların TPÜ'ne katılım düzeyleri ( $t=0, 92; p>0, 05$ ) ve GPP'ye yönelik kısıtlamalar ( $t=0, 74; p>0, 05$ ) arasında anlamlı bir fark yoktur. Hane halkı büyüklüğü ( $\beta=-0, 46$ ); ve eğitim, hane halkı büyüklüğü ve evli olmak ( $r=0, 26, 0, 26$  ve  $\beta=4, 19$ ) sırasıyla erkek ve kadınların TPÜ'ne katılımını anlamlı düzeyde etkilemiştir.

**Sonuç:** Hane halkı büyüklüğü erkeklerin TPÜ'ne katılımını etkilerken, eğitim, hane büyüklüğü ve evlilik kadınların TPÜ'ne katılımını artırmıştır.

## INTRODUCTION

Sweet potato (SP) is one of the most significant crops and also one of the staple foods worldwide. It is the world's seventh most important food crop (Odebode et al., 2021) and fifth primary food crop on a fresh-weight basis (with respect to annual production) in developing countries (Oyibo, 2021). Common varieties include white-fleshed, red-fleshed, yellow-fleshed and orange-fleshed or reddish-purple. One percent of the world's agricultural land that is approximately nine million hectares is used to grow SP each year (Oyibo, 2021). It is the only major root and tuber crop whose leaves, shoots and tuberous roots are of tremendous use for both, humans and livestock.

Over the years, SP has become more important in the production of global food crops. According to Mwanja et al. (2017), it is widely grown throughout the tropical, subtropical and temperate regions of the world. In sub-Saharan Africa (SSA), Nigeria, Tanzania, Uganda, Ethiopia, Angola, Madagascar, Rwanda and Mozambique are the leading producers and consumers of SP (FAOSTAT, 2017). The countries accounts for 82.2 percent of the continent's total sweet potato production (SPP). Sweet potato is a staple and/or co-staple food crop throughout the aforementioned countries, especially in Nigeria, Uganda, Ethiopia, Kenya and Angola. According to Olagunju et al. (2013), Nigeria ranks number two in SPP in the world. Also, FAOSTAT (2017) named Nigeria as the top producer of SP in Africa and the only West African country among the top 20 SP-producing nations in the world.

In Nigeria, Delta State inclusive, SPP is a practical economic endeavor for income generation, food security and poverty reduction among rural households. In the country, SP has over several years been one of the major roots and tuber crops grown in Delta State and its production has always involved men and women. However, despite the seemingly bright employment and poverty reduction potentials of SPP in Nigeria and Delta State in particular, the crop, according to Odebode et al. (2021), is still under-explored. Oyibo & Odebode (2023) stated that little progress has been made in increasing the production level of SP in Nigeria, despite the several interventions by the Nigeria government as well as the nation having a wide variety of agro-climatic parameters that favor SPP. Also, despite the involvement of men and women in SPP, low production of SP is still prevalent in Delta State. This is because agricultural research and extension as well as interventions (policies, projects and programs) have not taken into account, the gender needs, differences and constraints.

Sweet potato production is influenced by gender as a result of the roles, responsibilities and constraints of the farmers (both men and women). According to Sangotegbe et al. (2013), gender issues may have a role in the poor rate of agricultural production. According to Olagunju et al. (2013), is because gender roles, relations and inequality affect agricultural production. Hence, for men and women to have a positive effect on their SPP and/or farming enterprise, agricultural research and extension would have to take into account gender roles, potentials and constraints. However, gender analysis of SPP that will give more information on the activity of women and men's potentials and constraints involved in SP farming enterprise as well as highlight the gender inequalities in SPP, has not been sufficiently investigated.

Women in SSA, including Nigeria, are more involved in agricultural activities, as well as provide most labor for a number of agricultural activities. Empirical data covering SSA villages has shown that generally, in farming households, more females and/or women did agricultural work than the male and/or men counterparts (Quisumbing et al., 2014). They are in the front position with respect to food production (Uzokwe et al., 2017), especially arable crops and staple food items. This is true to the extent that, generally speaking, women comprise around 90% of the workers engaged in the direct production of arable crops (Oyibo, 2021), which is difficult to ignore (Sangotegbe et al., 2013). Despite these contributions to food production by women, their interests, needs and priorities are not taken into consideration. They have not been given due recognition in the agricultural sector. This is because their specific activities and/or roles as well as problems encountered are poorly appraised as well as rarely articulated.

According to a study conducted by Sangotegbe et al. (2013), there is little to no scientific documentation on the specific activities and/or roles of female farmers in food production, including SPP. Although, Oyibo (2021) stated that women play a crucial role in the agricultural economies of all continents. However, the precise contribution's nature and magnitude are often challenging to determine and vary greatly between different nations and geographical areas of the world as well as across regions within countries (Sangotegbe et al., 2013). According to Sangotegbe et al. (2013), the specific activities and/or roles in agriculture, SPP inclusive, are not well-documented for women in Nigeria.

Despite the gender roles of farmers in agricultural production (including SPP), there are problems being faced by the farmers. Aboderin (2017) affirmed that despite the fact that women and men have different roles and access to resources, agricultural projects have not taken gender differences into account. Gender inequality remains a major problem that characterized the agriculture sector (Olagunju et al., 2013), SPP inclusive. Gender analysis has established that women have less control over decisions, incomes, choices and productive resources. They do not have equal access and control over resources, especially land and fund, as compared to men (Odebode et al., 2018), reducing their agricultural production. In addition, women/females face inequalities in accessing skill development, training opportunities and education, which impair their agricultural production. The foregoing persistent gender inequalities suggest that the gender dimension is crucial in the agricultural sector, including SPP sector, to prevent undermining a sustainable and inclusive development of the sector. However, gender-disaggregated data and/or scientific information to effectively plan SPP interventions (policies, projects and programs) have not been sufficiently provided. In lieu of the foregoing, the study was conducted with the following specific objectives: to describe the demographic traits of female and male SP producers; to determine the participation level of male and female farmers in SPP; and to identify the different SPP constraints based on gender. In light of the study's specific objectives, the following null forms-stated hypotheses were tested: there is no significant correlation between selected demographic traits and level of participation in SPP by gender; there is no significant correlation between constraints to SPP and level of participation in SPP by gender; participation in SPP by male and female farmers does not differ significantly; there is no significant difference in constraints to SPP between male and female; and selected independent variables do not significantly contribute to participation in SPP by gender.

## **MATERIALS and METHODS**

### **Study area**

The study was conducted in Delta State, which lies between longitudes 5°00' and 6°45' East of the Greenwich Meridian and latitudes 5°00' and 6°30' North of the equator. The State is divided into three agro ecological zones by the Delta State Agricultural Development Programs (DADPs). These are Delta South, Delta Central and Delta North zones.

### **Population and sampling procedure**

All Delta State SP farmers made up the study's population. The respondents for the study were selected using a multi-stage sampling procedure. The first stage involved the purposive sampling of two (2) ADPs zones out of the three (3) in the study area based on predominance of SPP. Thus, Delta-Central and Delta-South were purposively selected. Delta-Central and Delta-South zones have 10 and six blocks respectively. The second stage involved stratification of the blocks in each of the selected zones into SP and non-SP producing blocks. The SP producing blocks were five and four in Delta-Central and Delta-South zones, respectively. The third stage involved random sampling of 40% of the SP producing blocks in the selected zones. The blocks sampled were Ughelli-South and Ughelli-North from Delta-

Central zone; Patani and Bomadi from Delta-South zone. The cells known for SPP in each of the selected block were identified. Altogether, 18 cells were identified in the selected blocks.

The fourth stage involved a random sampling of 25% of the SP producing cells in the selected blocks. These cells were Ewu from Ughelli-South block, Uwheru from Ughelli-North block, Bedeseigha from Patani block and Kpakiamama from Bomadi block. The final stage, 20% of both male and female farmers responsible for SPP in the farming households were randomly selected from each of the selected cell from the list of SP farming households in the selected cells, for analysis, using proportionate sampling technique. The total number of male and female farmers responsible for SPP in the farming households randomly selected was 131. This comprised 73 males and 58 females.

### **Data collection**

The data gathering took place between October and December 2019. Primary data was used for this study. Interview schedule was used to obtain the primary data. The interview schedule captured information on demographic characteristics, SPP's constraints, and extent (frequency) of participation in SPP.

### **Measurement of variables**

Gender related constraints to SPP were measured at interval level. The respondents were presented with a list of 23 possible constraints which inhibit SPP. The severity of the 23 potential SPP constraints was measured. The response was rated on a three-point rating scale with the options "Severe constraint (2), " "Mild constraint (1), " and "Not a constraint (0)". A minimum score of 10 and a maximum score of 25.49 were obtained from the 23 constraint items.

Participation of males and females in SPP was also measured at interval level. A list of sixteen items generated from the literature on all SPP field and postharvest operations was provided. This was rated on a four-point rating scale of always, occasionally, rarely and not at all with scores of 3, 2, 1 and 0 assigned, respectively. The scores were summed for each respondent. The minimum and maximum scores obtained were 0 and 37.00, respectively. The mean ( $21.21 \pm 7.12$ ) was used to categorize respondents into: low participation in SPP, scores between minimum and just below the mean (0.00–21.20), and high participation in SPP, scores between mean and maximum (21.21–37.00).

### **Data analysis**

Data collected were entered into Statistical Package for Social Science (version 20), and analyzed using descriptive statistics (frequency counts, percentages, means and standard deviation) and inferential statistics (Chi-square, Pearson Product Moment Correlation-PPMC, spearman rho, independent samples t-test and multiple linear regression). Multiple linear regression was used to ascertain the significant contributors to participation in SPP field and postharvest operations. The multiple linear model used is expressed as in the following:

$$Y = a + b_1X_1 + \dots + b_nX_n + e \tag{1}$$

Where: Y = Participation in SPP field and postharvest operation scores (dependent variable); a = constant term or intercept;  $b_1, b_2, \dots, b_n$  = regression coefficients;  $X_1, X_2, \dots, X_n$  = regression parameters; and e = Error term

The regression parameters that are included in the model are:  $X_1$  = Age of respondents (actual age in years),  $X_2$  = Marital status (married = 1, Otherwise=0),  $X_3$  = Educational attainment of respondents (formal education=1, Otherwise=0),  $X_4$  = Farming household size (actual number of persons in the household),  $X_5$  = SP output.

## RESULTS and DISCUSSION

### Demographic characteristics of respondents

The results on age distribution of respondents indicate that the mean ages of the male and female farmers were  $40 \pm 9$  years and  $42 \pm 11$  years, respectively (Table 1). It could be deduced that most of the respondents were matured, in their economically active ages and possessing the wherewithal to actively participate in physical activities *vis a vis* SPP. The implication is that SP cultivation in the study area was carried out mostly by the middle-aged farmers who still have the enough potential to meet with the labor demands of SPP. This finding agrees with the findings in a study conducted by Ahmad et al. (2014). They found that farmers who were middle aged and in their active ages were involved in SPP in Kano State. On the other hand, this finding disagrees with finding of Olagunju et al. (2013) that the mean ages of the female and male SP farmers in Osun State were 54 years and 53 years, respectively. The educational attainment shows that 95.9% of male and 81.0% of female respondents had formal education. The study also shows that there were more males (76.4%) than females (47.9%) in the same educational groups with greater educational attainment who had both secondary and university education. This implies that male respondents' literacy level was higher than that of the female respondents. The implication is that male SP producers have a better chance as compared to their female counterparts as regards changes in their knowledge, skills and attitude, as well as enhance/increase utilization/adoption of novel methods, approaches and innovations in SPP *vis a vis* SPP intervention and evaluating information from several sources. This result contradicts Sugri et al. (2017) who found that over half of SP farmers in Northern Ghana had no formal education. The result, however, partly supports the finding of Aboderin (2017) that more male watermelon farmers than female counterparts had higher educational level, including both secondary and tertiary education, in Ibarapa area of Oyo State. In addition, the result is consistent with the findings of Oyibo (2020) that majority of rural farmers had formal education.

As regards the respondents' marital status, the majority of males (84.9%) and females (81.0%) were married whereas 2.7% of men and 19.0% of women had previously been married. This indicates that substantial proportion of the male and female farmers had family they were responsible for. The implication is that male and female farmers cultivating SP in the study area had family responsibilities (economic, resources and social responsibilities) that needed financial commitment. The results also suggest that male and female SP producers have the opportunity to receive assistance from their families (children and spouses) when it comes to performing SP field and postharvest operations. The result supports the finding of Oyibo (2021) that over 79.0% of SP farmers were married. The result is also consistent with Ofuoku & Aganagana (2018) finding that majority (75.0%) of rural farmers were married. The average household sizes of  $9.0 \pm 6.0$  persons and  $8.0 \pm 4.0$  persons were obtained for male and female farmers, respectively. It could be deduced that both male and female SP farmers had large households in the study area. The consequence of the big farming household size is that farmers' household would not struggle to offer a reasonable number of farm workers required for the farmers' SPP operations. This result partly agrees with Olagunju et al. (2013) who found that the average household sizes of female and male SP farmers were 7.0 persons and 7.0 persons, respectively. The results on yearly output of cultivated SP of respondents presented in Table 1 reveal disparity between male and female, SP farmers. While the mean SP output of male respondents in tones per annum was  $83.6 \pm 111.4$ , the mean SP output of female respondents was  $57.2 \pm 43.8$  tones annum<sup>-1</sup>. The SP farmers generally had low output of SP, with lower severity among male farmers than their female counterparts. The implication is that, irrespective of the gender of SP farmers in the research area, the SP farmers were generally small-scale farmers. The result is at variance with Olagunju et al. (2013) who found that the female SP farmers realized better SP output ( $\bar{x}=308.4$  tones) than their male counterparts ( $\bar{x}=208.2$  tones).

**Table 1.** Distribution of demographic characteristics of respondents**Çizelge 1.** Katılımcıların demografik özelliklerinin dağılımı

Variables	Male		Female	
	Frequency	%	Frequency	%
<b>Age (Years)</b>				
≤ 20	0	0.0	0	0.0
21 – 30	11	15.1	14	24.1
31 – 40	35	47.9	15	25.9
41 – 50	18	24.7	17	29.3
51 – 60	8	11.0	9	15.5
> 60	1	1.4	3	5.2
	<b>Mean ± SD = 39.5 ± 8.9</b>		<b>Mean ± SD = 41.9 ± 11.1</b>	
<b>Educational status</b>				
No formal education	3	4.1	11	19.0
Primary education	14	19.2	25	43.1
Secondary education	34	46.6	20	34.5
NCE/OND	13	17.8	2	3.4
TC II	5	6.8	0	0.0
B. Sc./HND	3	4.1	0	0.0
Postgraduate	1	1.4	0	0.0
<b>Marital status</b>				
Single	9	12.3	0	0.0
Married	62	84.9	47	81.0
Divorced	2	2.7	0	0.0
Widowed	0	0.0	11	19.0
<b>Household size (persons)</b>				
1 – 5	26	35.6	21	36.2
6 – 10	31	42.5	28	48.3
>10	16	21.9	9	15.5
	<b>Mean ± SD = 9.0 ± 6.0</b>		<b>Mean ± SD = 8.0 ± 4.0</b>	
<b>SP outputs (tones)</b>				
1 – 10	1	1.4	3	5.2
11 – 20	11	15.1	9	15.5
> 20	61	83.5	46	79.3
	<b>Mean ± SD = 83.6 ± 111.4</b>		<b>Mean± SD = 57.2 ± 43.8</b>	

% = Percentage, SD = Standard deviation

### Extent of participation in SPP

The majority of male farmers, as tabulated in Table 2, agreed that they always participated in more time-and-energy-consuming field and postharvest activities of SPP than the minority of female farmers who responded to similar categories. These operations include sorting [54.8% (male), 48.3% (female)], weeding [41.1% (male), 19.0% (female)], pest and disease control [42.5% (male), 20.7% (female)], storage [49.3% (male), 34.5% (female)], irrigation [43.8% (male), 36.2% (female)], and land clearing [17.8% (male), 5.2% (female)]. The result is in agreement with the findings obtained by Olagunju et al. (2013) and Aboajah et al. (2018) that land clearing and/or land preparation was done mostly by male SP farmers. The findings also agree with Odebode et al. (2018) who found that men performed tedious operations like weeding. However, the results contradict the findings of Olagunju et al. (2013) and Aboajah et al. (2018) that weeding was carried out mostly by female SP farmers. The Table further revealed the field and postharvest operations majority of female always participated in, in contrast to the minority of male farmers who consistently performed the same operations. These field and postharvest operations included marketing [93.1% (female), 37.0% (male)], planting [77.6% (female), 72.6% (male)] and packing/picking of tubers [34.5% (female), 30.1% (male)]. The high participation in marketing activity implies that SPs are disposed by

females. The result supports the finding of Olagunju et al. (2013) that marketing and planting were done mostly by female SP farmers. Aboajah et al. (2018) also found that female SP farmers account for planting operation. However, some of the field and postharvest operations were always participated in by female and male at a close range of proportion. They included harvesting [43.1% (female), 41.1% (male)], packing of cleared vegetation [36.2% (female), 32.8% (male)], and transportation/carriage [17.2% (female), 16.4% (male)]. The result disagrees with the finding of Olagunju et al. (2013) and Aboajah et al. (2018) that harvesting was done mostly by female SP farmers, while land preparation/packing of cleared vegetation was carried out mostly by male SP farmers. This result, however, agrees with the findings of Odebode et al. (2018) that both female and male were involved in harvesting activity.

The difference in the degree of participation of males and females in the various field and postharvest activities in SPP is indicated by the mean distribution. The top five operations performed/participated by men, as shown in Table 2, were planting (2.62), weed control (2.02), harvesting (1.96), sorting (1.90) and irrigation (1.90). The top five activities participated/performed by female farmers were marketing (2.91), planting (2.66), harvesting (1.98), sorting (1.93), and irrigation (1.72). The result disagrees with Aboajah et al. (2018) who reported land preparation and ridging as the top operations involved by male SP farmers. The result, however, agrees with Aboajah et al. (2018) who reported planting and harvesting as the top operations involved by female SP farmers. Additionally, Table 2 shows that there is a higher degree of participation in the tiresome and/or time-consuming field and postharvest activities of land clearing, weed control, pest and disease control, irrigation, and storage with the respective means of 1.16 (male) and 0.75 (female) for land clearing; 2.02 (male) and 1.00 (female) for weed control; 1.84 (male) and 1.03 (female) for pest and disease control; 1.90 (male) and 1.72 (female) for irrigation; and 1.81 (males) and 1.45 (female) for storage.

**Table 2.** Distribution of participation in field and postharvest activities of SPP

**Çizelge 2.** TPÜ'nin tarla ve hasat sonrası faaliyetlerine katılım dağılımı

Operation/Activities	Male					Female				
	A %	O %	R %	N %	Mean	A %	O %	R %	N %	Mean
Land clearing	17.8	26.0	11.0	45.2	1.2	5.2	25.9	10.3	88.6	0.8
Packing of cleared vegetation	32.8	17.8	16.4	32.9	1.5	36.2	19.0	10.3	34.5	1.6
Burning	17.8	0.0	1.4	80.8	0.6	12.1	3.4	1.7	82.8	0.5
Ridge/heap making	1.4	4.1	2.7	91.8	0.2	5.2	1.7	1.7	91.4	0.2
Planting	72.6	19.2	5.5	2.7	2.6	77.6	13.8	5.2	3.4	2.7
Mulching	1.4	5.5	0.0	93.2	0.2	1.7	6.9	0.0	91.4	0.2
Irrigation	43.8	24.7	9.6	21.9	1.9	36.2	25.9	12.1	25.9	1.7
Fertilizer application	4.1	4.1	2.7	89.0	0.2	8.6	5.2	1.7	84.5	0.4
Weed control	41.1	37.0	5.5	16.4	2.0	19.0	17.2	8.6	55.2	1.0
Pest and disease control	42.5	23.3	9.6	24.7	1.8	20.7	15.5	10.3	53.4	1.0
Harvesting	41.1	30.1	12.3	16.4	2.0	43.1	31.0	6.9	19.0	2.0
Packing/Picking of tuber	30.1	21.9	16.4	31.5	1.5	34.5	22.4	12.1	31.0	1.6
Sorting	54.8	8.2	9.6	27.4	1.9	48.3	19.0	10.3	22.4	1.9
Transportation/carriage	16.4	12.3	8.2	63.0	0.8	17.2	6.9	5.2	70.7	0.7
Storage	49.3	9.6	13.7	27.4	1.8	34.5	17.2	6.9	41.4	1.5
Marketing	37.0	16.4	15.1	31.5	1.6	93.1	5.2	1.7	0.0	2.9

A = Always; O = Occasionally; R = Rarely; N = Never, % = Percentage

### Categorization of participation in SPP

Table 3 reveals the results of participation in all the SPP field and postharvest operations by male and female respondents. More than half of the male respondents (53.4%) highly participated in SPP field and postharvest operations. Conversely, 58.6% of the female respondents had low participation in SPP



field and postharvest operations. This implies that there was a higher participation of male farmers in SPP field and postharvest operations than the female farmers, which is suggestive that the male farmers channeled higher energy into their SP farming business than their female counterparts.

**Table 3.** Categorization of respondents' according to participation in field and postharvest activities of SPP

**Çizelge 3.** Katılımcıların TPÜ'ün tarla ve hasat sonrası faaliyetlerine katılımlarına göre sınıflandırılması

Participation	Male		Female	
	Frequency	Percentage	Frequency	Percentage
Low	34	46.6	34	58.6
High	39	53.4	24	41.4

### Constraints to SPP

Table 4 shows the various constraints faced by male and female SP farmers in the study area. The Table reveals that on the overall, most of the male respondents indicated flooding ( $\bar{x}=1.9$ ) as SPP's biggest constraint. This was followed by inadequate capital ( $\bar{x}=1.8$ ), limited knowledge of SP processing ( $\bar{x}=1.8$ ), inadequate credit facilities ( $\bar{x}=1.7$ ), and difficulties associated with transportation in tropical condition ( $\bar{x}=1.6$ ). With respect to the female respondents, it was indicated that flooding ( $\bar{x}=1.9$ ) was the SPP's highest constraint. This was followed by limited knowledge of SP processing ( $\bar{x}=1.9$ ), difficulties associated with transportation in tropical condition ( $\bar{x}=1.9$ ), inadequate capital ( $\bar{x}=1.8$ ), and inadequate credit facilities ( $\bar{x}=1.7$ ).

**Table 4.** Constraints to SPP

**Çizelge 4.** TPÜ'ne yönelik kısıtlamalar

Constraints to SPP	Male				Female			
	SC %	MC %	NC %	Mean	SC %	MC %	NC %	Mean
Poor extension services	69.9	8.2	21.9	1.5	81.0	1.7	17.2	1.6
Few markets for SP	63.0	23.3	13.7	1.5	58.6	27.6	13.8	1.5
Limited knowledge on processing of SP	79.5	17.8	2.7	1.8	86.2	13.8	0.0	1.7
Poor storability of SP	57.5	19.2	23.3	1.3	63.8	13.8	22.4	1.4
Difficulties associated with transportation in tropical condition	76.7	11.0	12.3	1.6	87.9	8.6	3.4	1.9
Scarcity/inadequacy of land for SPP	46.6	21.9	31.5	1.2	43.1	27.6	29.3	1.1
Inadequate capital	83.6	15.1	1.4	1.8	79.3	17.2	3.4	1.8
Inadequate credit facilities	72.6	24.7	2.7	1.7	74.1	20.7	5.2	1.7
Sweet potato pests (field/store)	61.6	35.6	2.7	1.6	56.9	37.9	5.2	1.5
High susceptibility to disease	37.0	41.1	21.9	1.1	39.7	39.7	20.7	1.2
Lack of improved cultivars	46.6	23.3	30.1	1.1	44.8	24.1	31.0	1.1
Low yield of SP	31.5	42.5	26.0	1.1	24.1	43.1	32.8	0.9
Inadequacy/shortage of seedling at planting time	50.7	26.0	23.3	1.3	34.5	37.9	27.6	1.1
Low cash value per unit of weight	64.4	26.0	9.6	1.6	60.3	32.8	6.9	1.5
Sweet potato is being overlooked by consumer	26.0	41.1	32.9	0.9	34.5	24.1	41.4	0.9
Drought	64.4	15.1	20.5	1.4	46.6	36.2	17.2	1.3
Flooding	94.5	4.1	1.4	1.9	91.4	6.9	1.7	1.9
Shortage of herbicide	1.4	0.0	98.6	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0
Lack of tractors	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0
Farmers/Herdsman conflict	64.4	0.0	35.6	1.3	41.4	0.0	58.6	0.8
Inadequacy of laborers	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0
Insufficient fertilizer	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0
Lack of irrigation facilities	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0

SC = Serious Constraint; MC = Mild Constraint; NC = Not a Constraint, % = Percentage

It could be deduced that flooding, inadequate capital, limited knowledge of SP processing, inadequate credit facilities, and difficulties associated with transportation in tropical condition were major challenges to SPP in Delta State. However, unlike the male farmers that indicated that flooding, inadequate capital, limited knowledge of SP processing, inadequate credit facilities, and difficulties associated with transportation in tropical condition were first, second, third, fourth and fifth most severe constraints, the female group posited that flooding, inadequate capital, limited knowledge of SP processing, inadequate credit facilities, and difficulties associated with transportation in tropical condition were first, fourth, second, fifth, and third most severe constraints.

These findings are in line with a similar study by Aboderin (2017) who reported inadequate credit facilities, poor transportation system, and lack of processing technology, as major constraints to male and female farmers carrying out watermelon production. However, lack of credit, poor transportation system, and lack of processing technology were identified as the first, sixth and fifth factors that hindered male farmers watermelon production, while for female farmers, the foregoing factors ranked first, seventh, and fifth. Sangotegbe et al. (2013) reported inadequate funding and bad weather effect as major challenges to rice production among male and female farmers in Obafemi Owode Local Government Area of Ogun State, Nigeria; inadequate funding and bad weather effect ranked first and sixth for male farmers in contrast to second and third for female farmers. Additionally, lack of knowledge on production and processing of SP, inadequate technological skill/know-how on local processing, inadequate access to credit facilities, poor access to credit and inadequate finance were identified by Sugri et al. (2017) as the major challenges to SPP.

#### Relationship between selected demographic characteristics and level of participation in SPP by gender

The results in Table 5 indicate that male respondents household size ( $r = -0.3$ ) was significantly ( $p < 0.05$ ) related to participation in SPP field and postharvest activities, while female respondents' level of education ( $r = 0.3$ ) and household size ( $r = 0.3$ ) were significantly ( $p < 0.05$ ) related to participation in SPP field and postharvest activities. This implies that household size and level of formal education of respondents had significant relationship with participation status in SPP field and postharvest activities.

**Table 5.** Relationship between selected demographic characteristics and level of participation in sweet potato production by gender

**Çizelge 5.** Seçilmiş demografik özellikler ile tatlı patates üretimine katılım düzeyi arasındaki cinsiyete göre ilişki

Variables	Male				Female			
	Df	$\chi^2$	r-value	p-value	Df	$\chi^2$	r-value	p-value
Age	-	-	-0.2	0.06	-	-	0.0	0.92
Education level	-	-	-0.1	0.27	-	-	0.3*	0.05
Marital status	2	0.7	-	0.70	1	1.1	-	0.29
Household size	-	-	-0.3*	0.02	-	-	0.3*	0.05
Output of SP	-	-	-0.1	0.28	-	-	0.0	0.90

df = Degree of Freedom,  $\chi^2$  = Chi-square Coefficient, r = Correlation coefficient, \*Significant at  $p \leq 0.05$ .

The positive correlation between household size of female respondents and participation status in SPP field and postharvest operations implies that female farmers' participation in SPP field and postharvest operations increases as the size of their households' increases. Increased household size implies increase in quantity and/or number of family labor available for use as labor source, thereby increases support from families (husbands and children) as far as carrying out of SP field and postharvest operation is concerned which could translate into female farmers more commitment in SPP and high participation in SPP field and postharvest operations. The positive correlation between level of formal education and participation status in SPP field and postharvest operations implies that formal education of the female respondents influences their participation status in SPP field and postharvest operations.

Hence, high level of education will likely enhance high participation in SPP field and postharvest operations. Formal education attainment enables female respondents to apply their education to critically observe, analyze and take advantage of SP wide range of desirable attributes to make the best out of their less or low access and control over assets (especially land and fund), thereby, resulting in increased participation status in SPP field and postharvest operations.

The negative correlation between male respondent's household size and participation level in SPP field and postharvest operations indicates that the bigger the farming household of male farmers, the less his participation in SPP field and postharvest operations. The bigger the farming household, the more and/or higher the family responsibility placed upon the male farmers as well as number of family members available as farm labor. This can lead to increased economic, resources and social obligations that needs financial commitment as well as increased supports from families (wives and children) as far as carrying out of SP field and postharvest operation is concerned which could translate into male farmers diversification into other activities *vis a vis* livelihood activities and low participation in SPP field and postharvest operations.

#### Relationship between constraints to SPP and level of participation in SPP by gender

Table 6 indicates that no significant ( $p > 0.05$ ) correlation existed between constraints to SPP and participation in SPP field and postharvest operations for the male ( $r = 0.1$ ) and female ( $r = -0.2$ ) farmers. It implies that male and female respondents' constraints to SPP had no significant relationship with their participation status in SPP field and postharvest operations. It could be deduced that the constraints to SPP of the male and female respondents do not necessarily affect and/or determine their participation level in SPP field and postharvest operations. The fact that male and female respondents have high constraints to SPP does not guarantee low participation in SPP field and postharvest operations. Male farmers' participation status in SPP field and postharvest operations is influenced by household size, while female farmers are enhanced by both household size and level of formal education.

**Table 6.** Relationship between constraints to SPP and level of participation in SPP by gender

**Çizelge 6.** Cinsiyete göre TPÜ kısıtlamaları ile tatlı patates üretimine katılım düzeyi arasındaki ilişki

Variable	Male		Female	
	r-value	p-value	r-value	p-value
Constraints to SPP	0.1	0.38	-0.2	0.13

r = Correlation coefficient.

#### Gender difference in level of participation SPP

Table 7 shows no significant ( $p > 0.05$ ) difference in participation in SPP field and postharvest operations of male and female farmers ( $t = 0.9$ ). However, male SP producers ( $21.7 \pm 7.4$ ) had higher participation status in SPP field and postharvest operations than female ( $20.6 \pm 6.8$ ), with a mean difference of 1.2. The no significant difference in participation in SPP field and postharvest operations of male and female farmers implies that participation in SPP field and postharvest operations does not differ between the male and female farmers. The implication is that, notwithstanding a few minor differences between the roles played by male and female SP producers in field and postharvest operations of SPP, on the overall, the role performed by male in SPP does not differ from the role by female. Hence, both females and males are important actors in the production of SP. This finding corroborates Sangotegbe et al. (2013) that the involvement level in Ofada rice production does not differ significantly based on gender. However, this finding is in contradiction with the results obtained by Aboderin (2017). He found that gender differences existed significantly in roles performed in watermelon production.

**Table 7.** Difference between the level of participation of male and female farmers in SPP**Çizelge 7.** Erkek ve kadın çiftçilerin TPÜ'ne katılım düzeyleri arasındaki fark

Variable	No. of case	Mean	SD	Mean difference	t-value	Df	p-value
Male	73	21.7	7.4	1.2	0.9	129	0.35
Female	58	20.6	6.8				

### Gender difference in constraints to SPP

Table 8 reveals no significant difference between constraints to SPP of male ( $25.8 \pm 5.3$ ) and female ( $25.1 \pm 5.4$ ) producers of SP ( $t = 0.7$ ,  $p > 0.05$ ). The null hypothesis is therefore accepted. This implies that male and female farmers face almost the same constraints to SPP. Hence, it could be deduced that the constraints to SPP affect and/or hinder both male and female farmers almost at the same level. The implication is that the constraints encountered by male and female grouping are felt in almost the same way by the respondents in the different categories. An earlier study by Aboderin (2017) found that male and female watermelon farmers had similar constraints in watermelon production.

**Table 8.** Difference in constraints to SPP between male and female farmers**Çizelge 8.** Erkek ve kadın çiftçiler arasındaki TPÜ kısıtlamalarındaki fark

Variable	No. of case	Mean	SD	Mean difference	t-value	Df	p-value
Male	73	25.8	5.3	0.7	0.7	129	0.46
Female	58	25.1	5.4				

### Contribution of selected independent variables to participation in production of SP by gender

Table 9 reveals that, for male and female respondents, the  $R^2$  values were 0.17 and 0.21, respectively. This indicates that the selected independent variables explained for 17.0% and 21.0% of participation status in SPP field and postharvest operations of respondents in the respective gender categories. In male respondents' category, household size ( $\beta = -0.5$ ,  $p < 0.10$ ), while in female respondents, (married) marital status ( $\beta = 4.2$ ,  $p < 0.10$ ) contributed significantly to participation status in SPP field and postharvest operations.

**Table 9.** Regression analysis on contribution of selected independent variables to participation status in SPP by gender**Çizelge 9.** Seçilen bağımsız değişkenlerin tatlı patates üretimine katılım durumuna cinsiyete göre katkısı üzerine regresyon analizi

Variables	Male			Female		
	$\beta$ - value	t- value	p- value	$\beta$ - value	t- value	p- value
Age	-0.0	-0.0	0.98	0.0	0.3	0.79
Marital status (Married)	-2.5	-0.9	0.36	4.2**	1.8	0.09
Educational attainment	1.9	0.4	0.67	3.0	1.2	0.25
Household size	-0.5**	-1.9	0.06	0.4	1.5	0.13
SP output	0.0	0.0	0.97	-0.0	-0.1	0.92
Constraints	0.3	1.5	0.15	-0.2	-0.9	0.39
<b>Summary</b>						
R-value	0.4			0.5		
$R^2$	0.17			0.21		
Adjusted R Square	0.1			0.1		
Standard Error of the estimated	7.2			6.5		

\*\*Significant at  $p \leq 0.10$ .

This implies that household size and marital status were major contributors to respondents' participation status in SPP field and postharvest operations. The household size of male respondents and marital status of female respondents were contributors to participation in SPP. The significant and negative contribution of household size of male respondents implies that increased household size led to low participation in SPP field and postharvest operations. The implication is that with increased household size, male respondents are likely to decrease participation in SPP. The significance of marital status of female respondents implies that it contributed significantly to increasing participation status in SPP field and postharvest operations as being married appeared to have a positive effect on their participation in SPP. Hence, individuals who are married will enhance high participation in SPP.

## **CONCLUSION**

Sweet potato farmers were matured and middle aged with family responsibilities that needed financial commitment. They would not have any trouble finding enough family labor for SPP operations. Although, both male and female farmers are formally educated, male farmers' literacy level was high compared to female respondents. The male and female farmers generally had low output of SP, with lower severity among male farmers.

The most important constraints to SPP as noted by male and female farmers were flooding and inadequate capital; and flooding, and limited knowledge of SP processing, respectively. Planting, weed control, and harvesting were the top three SPP field and postharvest operations participated in by male, while for female marketing, planting and harvesting were the top three operations in which they participated. Male farmers always engaged in tiresome and/or time-consuming field and postharvest activities of SP production such as sorting, weeding, pest and disease control, storage, irrigation, and land clearing while female always participated in less tedious field and postharvest operations such as marketing, planting and packing/picking of tuber.

Finally, the male and female farmers face almost the same constraints to SPP, implying that the constraints encountered by male and female grouping are felt in almost the same way by the respondents in the different categories. Although there were minimal differences between the roles played by men and women SP producers in field and postharvest operations of SPP, on the overall, the participation by male in SPP does not differ from the participation by female. Increased household size influenced male and female farmers' participation in production of SP, while education enhanced female farmers' participation in production of SP. Constraints to SPP of the male and female respondents do not necessarily affect and/or determine their participation level in SPP field and postharvest operations. Household size of male respondents and marital status of female respondents were contributors to participation in SPP, however, increased household size of male respondents led to low participation in SPP field and postharvest operations while being married had a positive effect on female respondents' participation in SPP.

Based on the conclusion, the following recommendations can be implemented:

1. Female should be rigorously targeted during intervention programs especially on capacity building due to their lower level of education. In addition, female farmers should be encouraged to regularly participate in SP farming related training as this would enhance their ability to deal with the dynamic nature of constraints to SPP.

2. The result of this study showed that female farmers who are married and with large household size are mainly high in Delta State of Nigeria, and that increased or large household size and being married enhanced female farmers participation in SPP, it is recommended that intervention programs should embrace and offer sensitization on benefits of large household size and being married to its female beneficiaries during the official span of the program. Married female farmers with large household size should be rigorously targeted during intervention programs for sweet potato farming households.

3. Intervention programs and/or projects should place emphasis on ensuring that SP postharvest handling (storage and processing) knowledge and/or technologies are provided to male and female farmers. Agricultural extension agents should incorporate SP postharvest handling (storage and processing) in extension packages and improve on transmission of SP postharvest handling (storage and processing) information to male and female farmers.

4. Extension agencies (especially the Agricultural Development Programs, and Root and Tuber Expansion Programme) and research institutes (especially the National Root Crops Research Institute) should work and cooperate more closely together in terms of campaign and provision of information on improved SPP with great consideration for gender implication. In addition, research institutes and extension services must concentrate on finding solutions to the problems that both male and female farmers face.

#### **Data Availability**

Data will be made available upon reasonable request.

#### **Author Contributions**

Conception and design of the study: OO, SOO; sample collection: OO; analysis and interpretation of data: OO, SOO; statistical analysis: OO; visualization: OO, SOO; writing manuscript: OO.

#### **Conflict of Interest**

There is no conflict of interest between the authors in this study.

#### **Ethical Statement**

This study was conducted with the approval from the Local Social and Behavioral Science Ethics Committee of the Department of Agricultural Extension and Rural Development, University of Ibadan, Nigeria on the 24/04/2019 (number: AERD/04-2019/0012).

#### **Financial Support**

This study did not receive funding from any organisation.

#### **Article Description**

This article was edited by Section Editor Dr. H. Ece SALALI.

## **REFERENCES**

- Aboderin, O. S., 2017. Gender Assessment of Watermelon Production among Farmers in Ibarapa Area of Oyo State. Faculty of Agriculture, the University of Ibadan, (Unpublished) M.Sc. Dissertation, Ibadan, Nigeria, 80 pp.
- Ahmed, I. M., S. A. Makama, V. R. Kiresur & B. S. Amina, 2014. Efficiency of sweet potato farmers in Nigeria: potentials for food security and poverty alleviation. *IOSR Journal of Agriculture and Veterinary Science (IOSR-JAVS)*, 7 (1): 1-6.
- FAOSTAT, 2017. Food and agriculture organization of the United Nations statistical databases. (Web page: <http://www.faostat.org/en/#data/QC>) (Date accessed: February 2018).
- Mwanja, Y. P., E. E. Goler & F. M. Gugu, 2017. Assessment of root and vine yields of sweet potato (*Ipomoea batatas* [L.] Lam) landraces as influence by plant population density in Jos-Plateau, Nigeria. *International Journal of Agricultural Research*, 12 (2): 88-92.
- Odebode, S. O., O. Oyibo & C. O. Nwanebo, 2021. Determinants of sweet potato production level among farming households in Imo State, Nigeria. *International Journal of Agriculture & Rural Development*, 24 (1): 5559-5568.
- Odebode, S. O., O. S. Aboderin & O. O. Aboderin, 2018. Gender assessment of watermelon production among farmers in Ibarapa Area of Oyo State. *International Journal of Gender and Women's Studies*, 6 (1): 100-110.

- Ofuoku, A. U. & D. O. Aganagana, 2018. Effect of rural-urban migration on arable crops production in Delta North agricultural zone, Delta State, Nigeria. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 55 (2): 229-236.
- Olagunju. S. O., S. B. Fakayode, R. O. Babatunde & F. Ogunwole-Olapade, 2013. Gender analysis of sweet potato production in Osun state, Nigeria. *Asian Journal of Agricultural Extension, Economic and Sociology*, 2 (1): 1-13.
- Oyibo, O. & S. O. Odebode, 2023. Correlates and determinants of involvement in sweet potato production among farming households in Niger-Delta Area of Nigeria. *Yuzuncu Yil University Journal of Agricultural Science*, 33 (3): 377-389. <https://doi.org/10.29133/yyutbd.1139973>
- Oyibo, O., 2020. Cassava farmers' attitude towards participation in root and tuber expansion programme in Delta State, Nigeria. *Yuzuncu Yil University Journal of Agricultural Science*, 30 (3): 462-474.
- Oyibo, O., 2021. Effects of Sweet potato Production on Empowerment of Farming Households in Niger-Delta Area of Nigeria. Faculty of Agriculture, the University of Ibadan (Unpublished) PhD Thesis, Ibadan, Nigeria, 308 pp.
- Quisumbing, A. R., R. Meinzen-Dick, T. L. Raney, A. Croppenstedt, J. A. Behrman & A. Peterman, 2014. "Closing the Knowledge Gap on Gender in Agriculture, 3-27". In: *Gender in Agriculture*. Springer, (Eds. A. R. Quisumbing, R. Meinzen-Dick, T. L. Raney, A. Croppenstedt, J. A. Behrman & A. Peterman). Springer, Dordrecht, The Netherlands, 444 pp. [https://doi.org/10.1007/978-94-017-8616-4\\_1](https://doi.org/10.1007/978-94-017-8616-4_1).
- Sangotegbe, N. S., T. S. Taofeeq & J. O. Oluwasusi, 2013. Gender analysis of rice production in Obafemi Owode Local Government Area of Ogun State, Nigeria. *Nigerian Journal of Rural Sociology*, 14 (1): 32-40.
- Sugri, I., B. K. Maalekuu, E. Gaveh & F. Kusi, 2017. Sweet potato value chain analysis reveals opportunities for increased income and food security in Northern Ghana. *Advances in Agriculture*, 1 (1): 1-14.
- Uzokwe, U. N., A. U. Ofuoku & O. D. Dafe, 2017. Male and female participation in selected agricultural development programmes in Edo State. *Journal of Agricultural Extension*, 21 (1): 15-26.



## Research Article (Araştırma Makalesi)

Ege Üniv. Ziraat Fak. Derg., 2024, 61 (1): 61-72  
<https://doi.org/10.20289/zfdergi.1441420>

Murat BOYACI<sup>1</sup> 

Özlem YILDIZ<sup>1</sup> 

<sup>1</sup> Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Ekonomisi Bölümü, 35100 Bornova, İzmir, Türkiye.

\* Sorumlu yazar (Corresponding author):  
[ozlem.yildiz@ege.edu.tr](mailto:ozlem.yildiz@ege.edu.tr)

# The public extension in the last quarter century in Manisa Province in Türkiye\*

## Son çeyrek yüzyılda Türkiye'nin Manisa İlinde kamu yayımı

\* The study was prepared by using the data of three scientific projects, which were supported by TUBITAK (Project No: 104O130 and 122O208) and Ege University Scientific Research Projects Coordination (Project No: 96-ZRF-041).

Received (Alınış): 23.02.2023

Accepted (Kabul Tarihi): 21.03.2024

### ABSTRACT

**Objective:** The objective of this study was to reveal some extension indicators in the province, to contribute to the extension memory of the country, and to develop advice for the extension system by examining the change in the last quarter century.

**Material and Methods:** The main material of the study consisted of the data from 229 extensionists working in Manisa Provincial Directorate of Agriculture and Forestry and some district directorates. Logistic regression analysis was used to determine factors affecting occupational satisfaction of extensionists.

**Results:** The number of young, female and university educated extensionists has increased. While the time devoted to extension has decreased, the bureaucratic workload has increased. The number of farmers served by an extensionist increased by 43% during the covered period. Extensionists who spend a lot of time on farmer training were found to become satisfied with their work.

**Conclusion:** The employment policy should be planned in such a way that one extensionist serves 200 farmers. Extension activities should be carried out with project logic by defining criteria such as time, region, targets, budget, opportunities, collaborations, and result indicators.

### ÖZ

**Amaç:** Çalışma, son çeyrek yüzyıldaki değişimi inceleyerek ildeki bazı yayım göstergelerini ortaya koymayı, ülkenin yayım hafızasına katkıda bulunmayı ve yayım sistemine yönelik öneriler geliştirmeyi amaçlamıştır.

**Materyal ve Yöntem:** Çalışmanın ana materyalini Manisa İl Tarım ve Orman Müdürlüğü ile bazı ilçe müdürlüklerinde görev yapan 229 yayımcıdan elde edilen veriler oluşturmaktadır. Yayımcıların mesleki memnuniyetlerini etkileyen faktörlerin belirlenmesinde lojistik regresyon analizi kullanılmıştır.

**Araştırma Bulguları:** Manisa'da genç, kadın ve üniversite mezunu yayımcıların sayısı artmıştır. Yayımaya ayrılan süre azalırken, bürokratik iş yükü artmıştır. Kapsanan dönemde, bir yayımcının hizmet verdiği çiftçi sayısı %43 artmıştır. Çiftçi eğitimine daha fazla zaman harcayan yayımcılar işlerinden daha memnunnlardır.

**Sonuç:** İstihdam politikası, bir yayımcı 200 çiftçiye hizmet verecek şekilde planlanmalıdır. Yayım faaliyetleri, zaman, bölge, hedefler, bütçe, fırsatlar, işbirlikleri, sonuç göstergeleri gibi kriterler tanımlanarak proje mantığıyla yürütülmelidir.

**Keywords:** Public extension, adoption of innovations, extension activities, professional satisfaction

**Anahtar sözcükler:** Kamu yayımı, yeniliklerin benimsenmesi, yayım etkinlikleri, mesleki memnuniyet

## INTRODUCTION

Extension studies carried out to raise living standards in rural areas began to be institutionalized in the 1800s in the world, became widespread in the 1900s, and especially after the Second World War. It gained great momentum with the newly established states after World War II. For disseminating the inputs of the green revolution and overcoming the technological deficiencies and communication problems the General Extension Approach till 1970s; aiming to update the information of the extensionists, strengthen the relations with research, and planning the regular farmer contacts the Training-Visit Approach in the late 1970; and in the 1980s the small farmers and approaches as Farming Systems Research that take into account their families were utilized by extension organizations in the world (Anderson et al., 2006; Swanson & Rajalahti, 2010; Ashraf & Yousaf Hassan, 2021). It is stated that 40% of the extension organizations in the world use Training-Visit Approach, and 23% use general extension approach (Axinn, 1988; Contado, 1990). In the rural extension and development, holistic approaches including information systems in the late 1980s, local participation in the 1990s, innovation systems in the 2000s were appeared in the world. Approaches have led to changes on such as financing mechanisms, digitalization, participation, and localization in a way that can respond to economic, political, technological, and sociological developments. (Rogers, 1993; Chambers, 1994; Dinar & Keynan, 2002; Rivera et al., 2002; Anderson & Feder, 2003; Davis & Franzel 2018; Norton & Alwang, 2020).

In Türkiye, in the middle of the 18th century, the first extension attempts were started with the activities such as printing farmers' brochures and organizing agricultural exhibitions to improve cotton production with export agreements (Anonymous, 1938). In the First Agricultural Congress (1931) some decisions were such as being informing about agricultural issues the teachers working in the village for training the farmers, educating of rural youth on agricultural issues during the military service and using the radio and press for informing the rural people. Furthermore, establishment of agricultural faculty was decided during this congress and Ankara University Faculty of Agriculture was founded in 1933. At the Village and Agriculture Congress in 1938, the word agricultural extension was used for the first time in Turkish and it was decided to institutionalization of extension in Türkiye. In this context, the organizational activities that started in Ankara, Eskişehir and Manisa provinces in 1943 were completed in 1958 throughout the country. General/ Traditional Extension Approach, which was used in the world for more than a century, has been used for many years in Türkiye as well, and with the reorganization of the Ministry in 1984, it was planned to expand the training-visit system in all over the country. The approached was employed within the scope of the Agricultural Extension and Applied Research Project (TYUAP). With the support of the World Bank, the first slice of TYUAP was carried out in 16 provinces including Manisa in the 1984-1993 period, and the second slice was carried out in 37 provinces between 1990-1997 with the addition of 21 provinces (Anonymous, 2004). In the project was aimed to strengthen relations between research and extension, regular in-service training of extensionists, and planned farmer visits. The TYUAP approach had been also continued to use by some extension organizations for a while after the project was completed (TOKB, 1987; TKB, 2004). The extension activities carried out by the Ministry in the form of free public service, the result of the shrinkage in the state budget and the inadequacies in personnel employment, ministry applied the Village-Centered Agricultural Production Support Project (KÖY-MER) (2004-2007). Carrying out throughout the country and aiming the cost sharing, but intended results were not realized at KOYMER after which the Agricultural Extension Development Project (TAR-GEL) has been implemented in Türkiye in 2007 (Boyacı & Yıldız, 2011). The name of the Ministry has been changed over time to the Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Agriculture and Livestock and finally the Ministry of Agriculture and Forestry, and it was referred to as the Ministry of Agriculture or the Ministry in the study. In this study, the province of Manisa (Figure 1), where extension the first institutionalized in Türkiye and the TYUAP project was first implemented, and which has significant experience in the field of extension such as KÖY-MER and TAR-GEL examined. The importance of the province in the country's agriculture is highly significant. For example, in Türkiye, 89% of seedless raisins, 21.1% of table olives, 25% of tobacco and 18.8% of tomato (for paste) are produced in Manisa. The agricultural export value of the province in 2019 was \$676.150.884 (Manisa İl Tarım & Orman Müdürlüğü, 2023).

It thought that examining the extension activities in the province in different periods and revealing the change might shed light on extension in Türkiye. Due to the inadequacy of comparison studies for different periods, the study will fill a gap and contribute to the extension memory of the country. The data of three different studies conducted in between 1995-2017 used in the study. Considering that change takes time, it can be said that the study covers the quarter-century experience of extension in the province. The personal characteristics of extensionists working in the public sector, their education levels, the activities spending time, target topics and groups, adoption levels of farmers, and the reasons for rejection of advice, the level of professional satisfaction, and factors affecting examined in the study. Hence the study conducted with the objective was to answer the research question "to what extent have extension activities in the region changed over time?"

## MATERIALS and METHODS

The main material of the study consisted of data from three different research conducted in Manisa province in 1996-1998, 2006-2007 and 2016-2017 periods ((Boyacı, 1998; Boyacı, 2007; Boyacı, 2017). In all three studies data were collected via questionnaire forms from 229 public extensionists working in Manisa Provincial Directorate of Agriculture and Forestry and district directorates of Turgutlu, Ahmetli, Salihli, Salihli, Alaşehir, Sarıgöl and Saruhanlı. The years, in which the data used in the study collected, the number of participating extensionists and their shares are tabulated in Table 1. The research covering the first period (1996-1997) deals with the time of implementation of TYUAP. The Ministry aimed to change the extension with this project. The other two researches conducted ten years apart in Türkiye and in the Aegean Region.

**Table 1.** The frequencies of interviewed extension workers by years

**Çizelge 1.** Görüşülen yayımcıların yıllara göre dağılımı

Periods	Years	Number	Percentage (%)
Period I	1996-1997	72	31.4
Period II	2006-2007	78	34.1
Period III	2016-2017	79	34.5
Total		229	100.0

Kruskal Wallis test, Mann Whitney U test, and Chi-square test were used to determine whether there was a difference between the averages for variables that were not normally distributed. For normally distributed variables, T test was used to test the difference between means (Field, 2009; Pallant, 2010). Logistic regression analysis was used to determine factors affecting occupational satisfaction of extensionists. Economic satisfaction, regular in-service training, gender, individual methods, and farmer groups were considered as independent variables of the analysis. Logistic regression tests models for predicting categorical outcomes with two or more categories. Independent variables can be categorical, continuous, or a combination of the two in a single model (Pallant, 2010). In this study, some opinions on attitudes, behaviors and tendencies collected from extension workers with a Likert scale (5 points) were recoded and transformed into two groups for comparison purposes. IBM SPSS Version 25 was used to analyze the data.

## RESULTS and DISCUSSION

### Some personal characteristics of extensionists

The characteristics and skills of the employees affect the success of the organization. Age and experience are the indicators of knowledge and skills, and it is of great importance in services based on human relations (UNDP, 2003). The average age of extensionists in Manisa by years is 38.8, and it differs according to the periods. The average age in the province, which was 39.7 in 1996, became 42 in

2006 and 34.6 in the following period. Similar fluctuation is seeing in experience duration that differs according to the periods. Extensionists have the lowest professional experience in recent period.

The gender of the extensionists was found to be significant according to the periods the ratio of female extensionists in the world is stating as 13% in 1990's, and 15% of public extension agents in 2008's (Swanson et al., 1990; Heinemann et al., 2009). Overall, about one in four extensionists (24%) are women in Manisa. The number of female extensionists increased in the province. While the rate of female extensionists was 6.9% in the first period, it reached 35.4% in the last period. The marriage rate of extensionists has decreased over the years. In the first period, 95.8% of the extensionists, and in the last period, 69.6% were married. In the study, living in the village, the family's livelihood being agriculture, and the existence of farming experience defined as the rural life experience of the extensionists. In general, 49.3% of extensionists have good rural life experiences, but they are higher in the first period.

### Educational qualifications of extensionists

The quality of human resources available to extension is a major factor influencing the effectiveness of extension. A primary measure of quality is the educational qualifications of extension staff. It has stated that 23% of the extensionists in the world are university graduates and 5% have postgraduate education (Swanson et al., 1990). The education level of extension staff has increased over the years in Manisa. The number of agricultural high school graduates has decreased substantially throughout the province. The rate of agricultural high school graduates is 69.4% in the first period, 32.1% in the second period and 5.3% in recently. The number of faculty and college graduates has increased in a quarter of a century. The fact that the level of foreign language has improved over the years is an important development in terms of monitoring foreign information resources and project opportunities. 17.5% of the extensionists have a master's degree and there is no difference according to the period. 72.5% of extensionists are stating the education at the faculty does not prepare them to business life and remains inadequate and this idea has not changed over the years (Table 2).

**Table 2.** Comparison of some educational indicators of extensionists (Chi-Square Test)

**Çizelge 2.** Yayımcıların bazı eğitim göstergelerinin karşılaştırılması (Ki-Kare Testi)

Period Variable	1996		2006		2016		Total		Chi Square	Df	Asymp sig.	
	N	%	N	%	N	%	N	%				
Education status	High school	50	69.4	25	32.1	3	5.3	78	37.7	57.497***	2	0
	University	22	30.6	53	67.9	54	94.7	129	62.3			
	Total	72	100.0	78	100.0	57	100.0	207	100.0			
Master's degree	No	63	87.5	63	80.8	63	79.7	189	82.5	1.826	2	0.4
	Yes	9	12.5	15	19.2	16	20.3	40	17.5			
	Total	72	100.0	78	100.0	79	100.0	229	100.0			
Foreign language level	Poor	45	62.5	57	73.1	40	50.6	142	62.0	8.403**	2	0.02
	Good	27	37.5	21	26.9	39	49.4	87	38.0			
	Total	72	100.0	78	100.0	79	100.0	229	100.0			
Education at school	Insufficient	48	66.7	58	74.4	60	75.9	166	72.5	1.835	2	0.4
	Sufficient	24	33.3	20	25.6	19	24.1	63	27.5			
	Total	72	100.0	78	100.0	79	100.0	229	100.0			

Significance level: \*\*\*  $\alpha < 0.01$ ; \*\*  $\alpha < 0.05$

### Time-allocated activities by extensionists

It is important for the diffusion of innovations and development to spend most of the time on extension. It generally states that, the extension activities involve 75% of the work of the extensionists in the world (Swanson, et. al., 1990). In EU countries, on the other hand, the average of extension activities over the working hours of the extensionists is 80% (Boyacı, 1996). In the province of Manisa, the issues that

extensionists spend their time on differentiate from one year to another. The share of extension has decreased over the years, but the bureaucratic workload has increased. In general, 39.4% of the time in Manisa goes extension; 34.5% is reserved for bureaucratic work. The time allocated to the extension, which was low in all three periods decreased even more recently. The excessive bureaucratic workload in extension organizations is one of the discussed issues as it negatively affects extension and development studies. While the bureaucratic workload was 25.9% in the first period, it increased in the following periods and became between 45.1-31.9%. The share of personal development and research in overtime has increased recently. It is noteworthy that the time devoted to research has tripled in the last 25 years (Table 3).

**Table 3.** Comparison of the activities allocated for working time by periods (Kruskal Wallis test)

**Çizelge 3.** Dönemlere göre faaliyetler için ayrılan çalışma süresi (Kruskal Wallis testi)

Activities (%)	Period	N	Mean	Mean Rank	Chi Square	Df	Asymp sig.
Extension activities	1996	72	52.9	151.5	33.409***	2	0
	2006	77	34.5	99.5			
	2016	79	31.9	95.4			
	Total	228	39.4				
Bureaucratic affairs	1996	72	25.9	90.7	25.003***	2	0
	2006	77	45.1	143.3			
	2016	79	31.9	108.1			
	Total	228	34.5				
Self-improvement	1996	72	15.3	122.2	27.651***	2	0
	2006	77	10.1	83.9			
	2016	79	18.1	137.3			
	Total	228	14.5				
Research activities	1996	72	5.2	84.3	39.939***	2	0
	2006	77	10.1	106.8			
	2016	79	15.0	149.5			
	Total	228	10.2				

Significance level: \*\*\*  $\alpha < 0.01$

In the past, while extensionists were not favored to be active in research and in recent years they have been involved in joint studies. With Training-Visit Approach put into practice in Manisa in 1984, the time allocated to the extension activities has increased, regular in-service training (IST) has given to extensionists, and strong relations have established with research. For extension efforts, a strong in-service training is essential to success (Norton & Alwang, 2020). While 87.5% of extensionists received regular IST in 1996, there was a serious decrease in the following period, and the rate of those who received regular IST decreased to 6.3% in 2017 (Table 4).

**Table 4.** The status of extensionists receiving regular in-service training (Chi-Square Test)

**Çizelge 4.** Yayımçıların düzenli hizmet içi eğitim alma durumu (Ki-Kare Testi)

Receiving in-service training	1996		2006		2016		Total		Chi Square	Df	Asymp sig.
	N	%	N	%	N	%	N	%			
Not receiving	9	12.5	58	74.4	74	93.7	141	61.6	113.079***	2	0
Receiving	63	87.5	20	25.6	5	6.3	88	38.4			
Total	72	100.0	78	100.0	79	100.0	229	100.0			

Significance level: \*\*\*  $\alpha < 0.01$ .

It was observed that existing strong relations in the 1990s between research and extension weakened considerably in recent years (Table 5). In fact, these relations increase the social and economic benefits of research besides the solution of rural problems and the spread of innovations.

**Table 5.** Level of research and extension relations (Chi-Square Test)

**Çizelge 5.** Araştırma ve yayım ilişkilerinin düzeyi (Ki-Kare Testi)

Relations with research	1996		2006		2016		Total		Chi Square	Df	Asymp sig.
	N	%	N	%	N	%	N	%			
Poor	17	23.6	48	61.5	45	57.0	110	48.0	25.427***	2	0
Strong	55	76.4	30	38.5	34	43.0	119	52.0			
Total	72	100.0	78	100.0	79	100.0	229	100.0			

Significance level: \*\*\*  $\alpha < 0.01$

The knowledge transfer function, which is the heart of the extension, should have adequate mechanisms to formulate and bring knowledge to farmers (Cawley et al., 2023). For this reason, rural areas should be included in target setting processes in extension and development. The objectives in the extension relate to the rural structure and country priorities. While quality is at the forefront in the products subject to export, production and productivity increase is the priority in the products/places where insufficiency is experienced. Production-efficiency increase in the 1990s, quality improvement in the 2000s, and cost reduction and environmental issues in the 2010s were more on the extension agenda of Manisa (Table 6). The target groups in the extension have changed. Although medium-sized farmers generally take precedence, the share of large farmers has increased in the 1990s and 2010s, and since the 2000s, the share of small farmers. In addition, women and disadvantaged groups were considered in the extension, albeit very limitedly, in the 2010s. Taking the views of the farmers in the planning of the extension motivates the bottom-up information flow. While the level of farmers' being a source of information was high in the 1990s, it decreased in the following periods (Table 6).

**Table 6.** Targets in extension by periods and the status of farmers as a source of information (Chi-Square Test)

**Çizelge 6.** Dönemlere göre yayımda hedefler ve bilgi kaynağı olarak çiftçilerin durumu (Chi Kare Testi)

Period	Variables	1996		2006		2016		Total		Chi Square	Df	Asymp sig.
		N	%	N	%	N	%	N	%			
Target subject	Yield/production	60	84.5	40	52.6	20	26.0	120	53.6	57.578***	6	0
	Quality	7	9.9	18	23.7	19	24.7	44	19.6			
	Cost	1	1.4	10	13.2	26	33.8	37	16.5			
	Environment	3	4.2	8	10.5	12	15.6	23	10.3			
	Total	71	100.0	76	100.0	77	100.0	224	100.0			
Target group	Big	23	35.4	11	18.3	29	37.2	63	31.0	12.949**	4	0.01
	Middle	34	52.3	29	48.3	28	35.9	91	44.8			
	Small	8	12.3	20	33.3	21	26.9	49	24.1			
	Total	65	100.0	60	100.0	78	100.0	203	100.0			
Farmer as information sources	Low	37	22.6	64	39	63	38.4	164	71.6	21.239***	2	0
	High	35	58.8	14	21.5	16	24.6	65	28.4			
	Total	65	100.0	60	100.0	78	100.0	229	100.0			

Significance level: \*\*\*  $\alpha < 0.01$ ; \*\*  $\alpha < 0.05$

The number of farmers served by an extensionist in the world varies between 325 and 2661 (Swanson et al., 1990). It has planned that an extensionist will serve 500 farmers under dry farming conditions and 250 farmers under irrigated farming conditions at TYUAP (TOKB, 1987). The number of farmers provided with extension services in Manisa has changed over time. The number of farmers (1794 farmers) served by an extensionist has increased in the last 20 years (Table 7).

**Table 7.** Comparison of the number of farmers served by periods (Mann-Whitney U Test)**Çizelge 7.** Dönemlere göre hizmet verilen çiftçi sayısının karşılaştırılması (Mann-Whitney U Tesi)

Period	N	Mean	Mean Rank	Sum of ranks	Mann-Whitney U	Z value	Asymp sig.
1996	46	1254.7	63.1	2903.5	1213.5*	-1.802	0.07
2016	66	1794.2	51.9	3424.5			

Significance level: \*  $\alpha < 0.1$ **Tools and methods used in extension**

Several factors such as the conditions of the institution, the skills of the extensionists, the nature of the message, the characteristics of the target group, and the stages of the diffusion process of the innovations are effective in the preference of the extension methods (Van den Ban & Hawkins, 1985; Rodewald, 2001). The rates of methods used in extension studies in the world are 43% individually, 41% in groups and 16% in mass (Swanson et al., 1990). In the study, extension tools and methods were classified as individual, group, and mass. In the last quarter, the use of individual methods decreased in Manisa, group while the mass methods have increased (Table 8).

**Table 8.** Comparison of the extension methods used according to the periods (Kruskal Wallis Test)**Çizelge 8.** Dönemlere göre kullanılan yayım yöntemlerinin karşılaştırılması (Kruskal Wallis Test)

Extension aids	Year	N	Mean	Mean Rank	Chi Square	Df	Asymp sig
Individuals (%)	1996	72	50.8	123.8	37.075***	2	0
	2006	65	51.0	132.6			
	2016	79	36.5	74.8			
	General	216	45.6				
Group (%)	1996	72	26.7	82.2	32.596***	2	0
	2006	65	30.7	100.7			
	2016	79	37.0	138.9			
	General	216	31.7				
Mass (%)	1996	72	22.6	98.0	28.131***	2	0
	2006	65	18.9	85.1			
	2016	79	26.4	137.3			
	General	216	22.9				

Significance level: \*\*\*  $\alpha < 0.01$ **Job satisfaction levels of extensionists**

Employee satisfaction level affects corporate performance. Satisfaction has professional (spiritual, promotion, assignment, etc.) and economic (income, bonus, reward, etc.) dimensions (Cole, 1993). In addition, the desire to recommend his profession to his close circle/of friends reflects his job satisfaction. It has stated that 94% of extensionists working in public, private sector, and farmer organizations are professionally satisfied in Türkiye (Boyacı & Yıldız, 2015). The level of professional satisfaction has decreased over the years. While 87.5% of extensionists were satisfied with their jobs in the 1990s, the rate decreased to 52% in the 2000s. The level of economic satisfaction, on the other hand, decreased to 12.8% in the 2000s and increased in the following years. While during periods when adverse conditions such as high inflation in the country were the level of economic satisfaction of extensionists decreased, in the 2010s increased compared to previous periods (Table 9).



**Table 9.** Extensionists' professional satisfaction status (Chi-square Test)

**Çizelge 9.** Yayımçıların mesleki memnuniyet durumu (Ki-kare Testi)

Variables	Period	1996		2006		2016		Total		Chi Square	Df	Asym p sig.
		N	%	N	%	N	%	N	%			
Recommended to friends	No	24	33.3	59	75.6	31	39.2	114	49.8	32.167***	2	0
	Recommends	48	66.7	19	24.4	48	60.8	115	50.2			
	Total	72	100.0	78	100.0	79	100.0	229	100.0			
Economic satisfaction	No	40	55.6	68	87.2	25	31.6	133	58.1	49.989***	2	0
	Satisfied	32	44.4	10	12.8	54	68.4	96	41.9			
	Total	72	100.0	78	100.0	79	100.0	229	100.0			
Professional satisfaction	No	9	12.5	37	47.4	38	48.1	84	36.7	26.447***	2	0
	Satisfied	63	87.5	41	52.6	41	51.9	145	63.3			
	Total	72	100.0	78	100.0	79	100.0	229	100.0			

Significance level: \*\*\*  $\alpha < 0.01$

Factors affecting the professional satisfaction levels of extensionists found to be economic satisfaction, regular in-service training, gender, use of individual extension tools and methods in extension studies, and the size of the farms served. While economic satisfaction, receiving IST, utilizing individual extension methods, and male extension workers are increasing job satisfaction but giving priority to the small farmers has decreased the job satisfaction levels of extension staff (Table 10).

**Table 10.** Factors affecting occupational satisfaction (Logistic Regression analysis)

**Çizelge 10.** Mesleki memnuniyeti etkileyen faktörler (Lojistik Regresyon Analizi)

	B	S.E.	Wald	df	Sig.	Exp (B)
Constant	0.541	0.149	13.152	1	0.00	1.718
<b>Factors</b>	<b>B</b>	<b>S.E.</b>	<b>Wald</b>	<b>df</b>	<b>Sig.</b>	<b>Exp (B)</b>
Constant	-2.041	0.818	6.229	1	0.01	0.130
Economic satisfaction	1.825	0.413	19.526	1	0.00	6.201
Regular in-service training	1.817	0.426	18.165	1	0.00	6.154
Gender	1.465	0.439	11.129	1	0.00	4.326
Individual methods (%)	0.023	0.012	3.749	1	0.04	1.023
Farmer groups	-0.451	0.244	3.416	1	0.04	0.637
-2 Log likelihood	188.311	Cox & Snell R Square	0.288	Nagelkerke R Square		0.394

Those with high professional satisfaction; are spending more time on extension but, less time on bureaucratic work, and serve fewer farmers (Table 11). Asadi et al. (2008) stated that extensionists who are married earn more and have higher job satisfaction.

**Table 11.** Comparison of some extension indicators according to the level of job satisfaction (T test)

**Çizelge 11.** Bazı yayım göstergelerinin iş memnuniyeti düzeyine göre karşılaştırılması (T testi)

Variables	Level of job satisfaction	Number	Mean	Standard deviation	T Value	Df	Asymp sig.
Time for extension works (%)	Low	83	34.7	21.669	-2.257**	226	0.03
	High	145	42.1	24.607			
Time for bureaucratic works (%)	Low	83	39.5	24.893	2.433**	226	0.01
	High	145	31.6	23.102			
Number of farmers served	Low	34	2237.4	3209.671	1.968*	110	0.05
	High	78	1282.8	1883.571			

Significance level: \*\*  $\alpha < 0.05$ ; \*  $\alpha < 0.1$

### Adoption tendency of extension advice

Adoption of advice/innovations is one of the important indicators of the success of extension (Engel, 1990). While the farmers in some countries adopt almost all the extension advice, the adoption of 80% of the farmers considered a success in some studies (Contado, 1990). The advice adoption levels of

by farmers in Manisa have compared by two periods. The adoption level which, is generally below 50%, is higher in 2016 than in 2006 (Table 12).

**Table 12.** Adoption levels of farmers in different periods (T-Test)

**Çizelge 12.** Çiftçilerin farklı dönemlerdeki benimseme düzeyleri (T-Testi)

Farmer's advice adoption rate (%)	Period	N	Mean	Stand. Deviation	Std. Error Mean	T	df	Asymp sig.
	2006	70	42.57	23.786	2.843	-1.672*	145	0.097
2016	77	49.53	26.447	3.014				

Significance level: \*  $\alpha < 0.1$

Two groups of low and high (below and above average) adoption levels of innovations/advice were formed for comparison. According to the adoption groups, target groups and the reasons for the farmers' rejection of innovation/advice found significant. Medium-sized farmers are more tendency to adopt innovation (Table 13).

**Table 13.** Propensity of farmers to adopt according to target groups (Chi-square test)

**Çizelge 13.** Çiftçilerin hedef gruplara göre benimseme eğilimi (Ki-kare testi)

Farmers	Big		Middle		Small		Total		Chi Square	Df	Asymp sig.
	N	%	N	%	N	%	N	%			
Adoption levels											
Low	25	67.6	30	54.5	30	76.9	85	64.9	5.178*	2	0.08
High	12	32.4	25	45.5	9	23.1	46	35.1			
Total	37	100	55	100	39	100	131	100			

Significance level: \*  $\alpha < 0.1$

According to the extensionists, the reasons for the rejection of the advice/innovations by the farmers are sociological factors (such as tradition, low level of education), farmer circumstances (economic, farm conditions, etc.), and extension-depended (information lack, not believing in its benefits, being of priorities different). The reasons for the rejection of the advice varied by the year as the farmers' circumstances in 1996, sociological factors in 2006, and extension-depended justifications in 2016 (Table 14).

**Table 14.** Reasons for rejecting innovations/extension proposals by farmers by periods/years (Chi-square test)

**Çizelge 14.** Çiftçilerin yenilik/tamamlama tekliflerini dönemlere/yıllara göre reddetme nedenleri (Ki-kare testi)

Reasons	1996		2006		2016		Total		Chi Square	Df	Asymp sig.
	N	%	N	%	N	%	N	%			
Circumstances	37	55.2	20	28.6	24	30.8	81	37.7	56.693***	4	0
Sociological	14	20.9	48	68.6	21	26.9	83	38.6			
Extension	16	23.9	2	2.9	33	42.3	51	23.7			
Total	67	100	70	100	78	100	215	100			

Significance level: \*\*\*  $\alpha < 0.01$ ; \*  $\alpha < 0.1$

## CONCLUSION

The extension staff in Manisa, whose ages fluctuate over the years, is generally composed of young people, and the number of women has increased in the extension organization. The increase in the number of female extensionists made it easier to reach rural women. Despite the increase in the rate of faculty-educated extensionists, extensionists find their education during their student years insufficient. Since rapid developments in technical and economic fields require continuous updating of information, the importance of IST studies in organizations is increasing. Conducting regular IST studies in extension will also increase cooperation with different segments, especially with agricultural research institutes.

The time devoted to the extension has decreased over the years, and the bureaucratic workload has increased. It is not economical in terms of personnel policy for personnel with a high technical capacity to deal with a bureaucratic workload. To provide the expected benefits from the extension organizations, it is imperative to focus on farmer training.

In Manisa, production-efficiency increase in the 1990s, quality improvement in the 2000s, and cost and environmental issues in the 2010s were higher in the extension agenda. Although production-efficiency increase and quality improvement are important due to exports, sustainable development goals should be more widely included in the extension.

In the analyzed period (1996-2017), the number of farmers served by an extensionist increased by 43%. However, this increase is because extensionists, whose numbers have decreased, are employed more like office workers, rather than the increase in the number of farmers in rural areas. The fact that an extensionist served 1794 farmers in 2017 hinders success and widespread influence in extension. Extension not only transmits information but also requires monitoring for observing the changes or unchanged and the reason behind them. It is impossible for the staff, which serves such many farmers, properly manage all extension processes at the desired level. For this reason, it is imperative for the efficiency of extension and the sustainability of agriculture to design an employment policy in a way that an extensionist can serve at most 200 farmers over time.

While the proportion of individual methods of communicating with farmers in extension has decreased, group and mass methods have increased. The use of individual extension methods, which contribute to institutional visibility in rural areas, persuading the adoption of advice, and being aware of local conditions and problems has decreased due to the lessen in the number of personnel, excessive bureaucratic workload, and inadequate transportation possibilities. Although individual interviews increase the economic cost of the extension, they will increase the social benefit and the effectiveness of the extension with the increase in efficiency. For this reason, it is imperative to devote more time to extension, employ more staff, improve transportation opportunities, and establish strong and active communication networks with different segments, especially local actors.

Extensionists' job satisfaction levels have decreased in the study period. As the economic satisfaction of extensionists, their tendency to receive IST and to use individual extension methods increase, and their level of professional satisfaction also increases. Those with high occupational satisfaction allocate more time to extension, use individual extension methods more frequently, and provide extension services to fewer farmers. According to the findings, those who take the time to the extension are more satisfied with their jobs.

Adoption of advice/innovations in extension by farmers is the indicator of success. In Manisa, the rate of adoption of the advice by the farmers has decreased over the years. The continuation of this situation is worrisome in terms of competition and change capabilities of rural areas in the long term. For increasing of adoption rate of farmers, in setting the extension agenda, it is necessary to increase the influence of farmers, increase the time allocated for extension, institutionalize collaborations with different segments, especially research, and markets, and conduct on a program and project basis extension. In project-based extension; activities should be carried out with a team of experts in a certain time and region, identifying objectives, work packages, responsibilities, collaborations, budget, and opportunities, and the results should be evaluated according to predefined indicators.

#### **Data availability**

Data will be made available from the corresponding author upon reasonable request.

### Author contributions

Conception and design of the study: MB, ÖY; sample collection: MB, ÖY; analysis and interpretation of data: MB, ÖY; statistical analysis: MB, ÖY; visualization: MB, ÖY; writing manuscript: MB, ÖY.

### Competing interests

There is no conflict of interest between the authors in this study.

### Ethical statement

This research was approved by the ethics committee of Ege University with document number 31-2012, dated 04.10.2012.

### Financial support

This study was financially supported by TUBITAK (Project No: 104O130, and Project No: 112O208) and Ege University Scientific Research Projects Coordination (BAP, Project No: 96-ZRF-041). The authors thank the financial support.

### Article Description

This article was edited by Section Editor Dr. H.Ece Salalı.

### REFERENCES

- Anderson J.R. & G. Feder, 2003., Rural Extension Services. World Bank Policy Research Working Paper World Bank Publications 2976, Washington D.C., 37 pp.
- Anderson, J.R., G. Feder & S. Ganguly, 2006. The Rise and Fall of Training and Visit Extension: An Asian Mini-drama with an African Epilogue. World Bank Policy Research Working Paper, World Bank Publications 3928, Washington D.C., 30 pp.
- Anonymous, 1938. Türk Ziraatine Bir Bakış. Birinci Köy ve Ziraat Kalkınma Kongresi Yayını, Devlet Basımevi, İstanbul, 304 s.
- Anonymous, 2004. Osmanlıdan Günümüze Tarım ve Tarıma Hizmet Veren Kurumların Teşkilatlanma Süreçleri. Tarım ve Köyişleri Bakanlığı, Ankara, 72 s.
- Asadi, A., F. Fadakar, Z. Khoshnodifar, S.M. Hashemi & G. Hosseininia, 2008. Personal characteristics affecting agricultural extension workers' job satisfaction level. Journal of Social Sciences, 4 (4): 246-250.
- Ashraf, S. & Z. Yousaf Hassan, 2021. The Challenges Facing Agricultural Extension from the Viewpoint of Agricultural Officers in Pakistan. Journal of Agricultural Science and Technology. 23 (3): 499-513.
- Axinn, G., 1988. Guide on Alternative Extension Approaches, FAO, Rome, Italy, 148 pp.
- Boyacı, M. & Ö. Yıldız, 2011. Türkiye'de Tarım Danışmanlığı Modelinin İşleyişi Üzerine Bir Araştırma. E.Ü. Tarımsal Uygulama ve Araştırma Merkezi Yayın Serisi No: 8, İzmir. Boyacı, M. & Ö. Yıldız, 2015. Türkiye'de farklı kuruluşlardaki yayım elemanlarının iş memnuniyetini etkileyen faktörler. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 52 (2): 123-130.
- Boyacı, M., 1998. A Study on the Structural Characteristics, Problems and Solution Proposals of Agricultural Information and Technology Flow (Information) System: The Case of Manisa Province. Ege University Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Agricultural Economics, 10.3100.0000.104 (Unpublished) PhD Thesis, E.Ü. Research Fund, Project No: 96-ZRF-041, 1998, 182 pp.
- Boyacı, M., 2007. A Research on the Usage and Development of Information and Communication Technologies in Agricultural Extension in Türkiye. TÜBİTAK Agriculture, Forestry and Veterinary Research Group, Project No: 104O130.
- Boyacı, M., 2017. A Research on the Development of Agricultural Innovation System: Example of Aegean Region, TÜBİTAK Agriculture, Forestry and Veterinary Research Group Program Code 1001, Project No: 112O208.
- Boyacı, M., 1996. Avrupa Birliği Ülkelerinde ve Türkiye'de Tarımsal Yayım. E.Ü. Tarımsal Uygulama ve Araştırma Merkezi, Yayın Serisi No: 3, E.Ü. Basımevi, Bornova, 21 s.

- Cawley, A., K. Heanue, R. Hilliard, C. O'Donoghue & M. Sheehan, 2023. How Knowledge Transfer Impact Happens at the Farm Level: Insights from Advisers and Farmers in the Irish Agricultural Sector. *Sustainability*, 15 (4): 3226. <https://doi.org/10.3390/su15043226> .
- Chambers, R., 1994. *Challenging the Professions, Frontiers for Rural Development*. Intermediate Technology Publications, London, 143 pp.
- Cole, G.A., 1993. *Personnel Management Theory and Practice*. DF. Publications Ltd., London, 558 pp.
- Contado, T.E., 1990. "Agricultural Extension Approaches: What FAO's Case Studies Reveal, 77-113". In: *Global Consultation on Agricultural Extension* (Eds. B.E. Swanson). FAO, Rome, 217 pp.
- Davis, K. & S. Franzel, 2018. *Extension and Advisory Services in 10 Developing Countries: A Cross-Sectional Analysis*. USAID, Feed the Future DLEC Project. <https://www.digitalgreen.org/wp-content/uploads/2017/09/EASin-Developing-Countries-FINAL.pdf>, Accessed: May 2023.
- Dinar, A. & G. Keynan, 2001. Economics of paid extension lessons from Nicaragua, *American Journal of Agricultural Economics*, 83 (3): 769-776.
- Engel, P., 1990. Knowledge management in agriculture, building upon diversity, knowledge in society. *The International Journal of Knowledge Transfer*, 3 (3): 28-35.
- Field, A., 2009. *Discovering Statistics Using SPSS*. Third Edition, SAGE Publications Ltd., Dubai, 166 pp.
- Heinemann, J., T. Abate, A. Hilbeck & D. Murray, 2009. *International assessment of agricultural knowledge, science, and technology for development (IAASTD): Synthesis Report*. Washington, D.C., 95 pp.
- Manisa İl Tarım ve Orman Müdürlüğü, 2023. *Bitkisel Üretim ve Hayvancılık Verileri*. (Web page: [www.manisa.tarimorman.gov.tr/Menu/11/Tarimsal-Veriler,%20accessed:%20February%209,%202023](http://www.manisa.tarimorman.gov.tr/Menu/11/Tarimsal-Veriler,%20accessed:%20February%209,%202023)) (Date accessed: February 2023).
- Norton G.W. & J. Alwang, 2020. Changes in agricultural extension and implications for farmer adoption of new practices. *Applied Economics Perspectives and Policy* 42 (1): 8-20. <https://doi.org/10.1002/aapp.13008>.
- Pallant, J., 2010. *SPSS Survival Manual: A Step by Step Guide to Data Analysis Using SPSS*. 4th Edition, McGraw-Hill International, Berkshire, 345p
- Rivera, W.M., Qamar, M.K. & Van Crowder, L. 2002. *Agricultural and Rural Extension Worldwide: Options for Institutional Reform in the Developing Countries*. Extension, Education and Communication Services, FAO, Rome, 49 pp.
- Rodewald, A.D., 2001. Delivery systems-is the latest technology the greatest? *Journal of Extension*, 39 (4): Article 22, <https://tigerprints.clemson.edu/joe/vol39/iss4/22>.
- Rogers, A., 1993. Third generation extension towards and alternative model. *Extension Bulletin*, The University of Reading, 3: 14-16.
- Swanson, B.E. & R. Rajalahti, 2010. *Strengthening Agricultural Extension and Advisory Systems: Procedures for Assessing, Transforming, and Evaluating Extension Systems*. The World Bank Agriculture and Rural Development Discussion Paper 45, Washington, D.C., 187 pp.
- Swanson, B.E., B.J. Farner & R. Bahal, 1990. "The Current Status of Extension Worldwide, 43-76". In: *Global Consultation on Agricultural Extension* (Eds. B.E. Swanson). FAO, Rome, 217 pp
- TKB, 2004. "II. Tarım Şurası Sonuç Raporu, 9. Komisyon Raporu, 479-515". *Tarımsal Öğretim Eğitim Yayım ve Ar-Ge*, (29 Kasım-1 Aralık 2024, Ankara), 607s.
- TOKB, 1987. *Tarımsal Yayım ve Uygulamalı Araştırma Projesi*, Ankara, 88 s.
- UNDP, 2003. *ICTs for Development in National Human Development Reports*, Draft 2003-01-17, 690 pp.
- Van den Ban A.W. & H.S. Hawkins, 1985. *Agricultural Extension*. Longman Scientific & Technical Publications, Newyork, 328 pp.



## Research Article (Araştırma Makalesi)

Ege Üniv. Ziraat Fak. Derg., 2024, 61 (1): 73-86  
<https://doi.org/10.20289/zfdergi.1386603>

Mehmane SADIG<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Institute of Soil Science and Agrochemistry, Ministry of Science and Education, AZ1072, 5 M.Rahim, Baku, Azerbaijan.

\* Corresponding author (Sorumlu yazar):

[mehmana.sadig@gmail.com](mailto:mehmana.sadig@gmail.com)

# Heavy metal content of mountainous agricultural soils and ecological risk assessment in Gadabay district, Azerbaijan

Azerbaycan'ın Gedebay ilçesinde dağlık tarım topraklarının ağır metal içeriği ve ekolojik risk değerlendirmesi

Received (Alınış): 28.11.2023

Accepted (Kabul Tarihi): 28.03.2024

## ABSTRACT

**Objective:** The objective of this study was to i) investigate the distribution characteristics of heavy metals, ii) examine their relationships with basic soil properties, and iii) characterize their potential sources and ecological risks.

**Material and Methods:** A total of 85 samples were collected from the surface horizon (0-15 cm) of Chernozem soil in a representative agricultural area located in the Lesser Caucasus Mountains (Gadabay district), and heavy metal contents and basic soil properties were determined.

**Results:** The mean of the heavy metals followed a decreasing order: Mn>Zn>Cu>Cr>Ni>Co>Pb>As>Se>Cd and some heavy metals (As, Cd, Se) exhibited a fragmented distribution. Co, Cr, Mn, Se and Zn contents were higher than the background concentration, while others (As, Cd, Co, Cu, Pb and Zn) exceeded the maximum permissible concentration.

**Conclusion:** The spatial distribution of heavy metals was characterized by their typical and element-specific distribution. The noted variability was likely related to geologic features (soil mineralogy), mining history and agricultural practices. Notably, the presence of limestone and clay minerals contributed to the association of Cd, Cu and Se and Mn and Pb, respectively. Sand content influenced the mobility of Cr and Cu. The relations between pH and Cr, Ni and Se was the indication of the influence of the parent material on the distribution of these metals.

**Keywords:** Caucasus Mountains, environmental indices, heavy metals, soil properties

**Anahtar sözcükler:** Kafkas Dağları, çevresel indeksler, ağır metaller, toprak özellikleri

## ÖZ

**Amaç:** Amaç: Çalışmanın amacı, i) ağır metallerin dağılım özelliklerini araştırmak, ii) temel toprak özellikleri ile ilişkilerini incelemek ve iii) potansiyel kaynaklarını ve ekolojik risklerini karakterize etmektir.

**Materyal ve Yöntem:** Kafkas Dağları'nda (Gadabay bölgesi) yer alan temsili bir tarım alanında Çernozem toprağının yüzey katmanından (0-15 cm) toplam 85 örnek toplanmış, ağır metal içerikleri ve temel toprak özellikleri belirlenmiştir.

**Araştırma Bulguları:** Ağır metallerin ortalamaları azalan bir sıra izlemiştir: Mn>Zn>Cu>Cr>Ni>Co>Pb>As>Se>Cd ve bazı ağır metaller (As, Cd, Se) parçalı bir dağılım sergilemiştir. Co, Cr, Mn, Se ve Zn içerikleri arka plan konsantrasyonundan daha yüksek iken diğerleri (As, Cd, Co, Cu, Pb ve Zn) izin verilen maksimum konsantrasyonu aştı.

**Sonuç:** Ağır metallerin uzaysal dağılımı, tipik ve elemente özgü dağılımlarıyla karakterize edilmiştir. Belirtilen değişkenlik muhtemelen jeolojik özellikler (toprak mineralojisi), madencilik geçmişi ve tarımsal uygulamalarla ilgilidir. Kireçtaşı ve kil minerallerinin varlığı sırasıyla Cd, Cu ve Se ile Mn ve Pb'nin birlikteliğine katkıda bulunmuştur. Kum içeriği Cr ve Cu'nun hareketliliğini etkiledi. pH ile Cr, Ni ve Se arasındaki ilişkiler, ana materyalin bu metallerin dağılımı üzerindeki etkisinin göstergesiydi.

## INTRODUCTION

Heavy metal contamination and accumulation is a serious problem around the world due to the potential threat to food safety and its detrimental effects on human and animal health (Hu et al., 2017). The natural concentrations of metals in soils tend to remain low depending on the geological parent material composition (Shan et al., 2013). However, as reported by Borůvka et al. (2005) and Kabata-Pendias (2011), the main sources of heavy metals in the soil beside geogenic also includes various anthropogenic factors. As known, heavy metal content and distribution in soils are influenced by several factors including organic matter content, types of land management, particle-size distribution, parent material, drainage, soil age, vegetation and aerosol input (Esser et al., 1991; Lee et al., 1997; Sun et al., 2019). Understanding the presence and origin of specific heavy metals in soils is a priority for the European Union, as it aligns with its goals of promoting sustainable agriculture and restoring landscapes. Thus, monitoring land quality in mountain areas affected by agricultural practices and mining require a systematic investigation of heavy metal concentrations in the soils, since (i) mountainous ecosystems provide the vital functions and services, such as water supply and biodiversity conservation, and (ii) contribute to local food security, and directly impact downstream and lowland areas through ecosystem services.

Although most of agricultural lands are related to livestock production (e.g., pastures and hays), in the mountainous areas of the Caucasus region, yet the dry farming agriculture is the main type of practice in these areas. However, long-term intensified and blind use of mineral fertilizer and manure, driven by variable soil fertility level, runoff and erosion damage (i.e., onsite and offsite impact), has raised concerns about increased heavy metal pollution. Excessive use of agrochemicals and manure, as documented by Nicholson et al. (2003) and Hani & Pazira (2010), can lead to elevated levels of toxic heavy metals like Pb, Ni, Cr and Zn in agricultural soils. Such practices further complicate the assessment of soil health or quality in mountainous regions due to a critical lack of data on spatial and temporal variation of heavy metal content (Zinn et al., 2020; Mammadov et al., 2022).

Soil quality is related to the physical, chemical and biological soil properties, and hence to soil fertility, which is traditionally managed by applying organic amendments and mineral fertilizers. Healthy soil with high organic matter can enhance biological (microbial activity and community) and physical (bulk density, water holding capacity, infiltration and drainage capacity) and chemical properties (Celik et al., 2004; Herencia et al., 2011; Li et al., 2018). However, not only soil organic matter content and fertility elements (e.g., N, P, Ca, K), but also concentration of heavy metals should be considered, since the elevated concentration of the heavy metal and its availability (i) can be associated with certain soil chemical properties, land use and environmental processes, (ii) can negatively affect plant development, soil biota and biological processes and quality, and (iii) create various environmental and ecological risk (Sungur et al., 2014; Kars & Dengiz, 2020; Kandziora-Ciupa et al., 2021).

In this study, it was studied to evaluate heavy metal content of agricultural soils in the Gadabay district, Azerbaijan. It is a typical mountainous agricultural land, a representative of those situated in the Lesser Caucasus Mountains. The study area, has been long cultivated with predominantly potato, cereals, and to some extent cabbage, beet and carrot, yet the majority of lands are used under pasture and hay depending on slope conditions. The cultivated lands are distributed on mountain plateau where typical soil groups are Chernozems (with high soil organic matter) according to the International Soil Classification System (IUSS, 2015). This region is well-known with its mineral deposits (Ismayil et al., 2018; Veliyev et al., 2018) and historical mining activity (started as long as 2000 years ago). More recent activity was during 1849-1917 when the Mekhor Brothers, followed by the German Siemens Bros Company developed and operated a copper mine in Gadabay. The area includes the first operating gold mine as well as a number of exploration targets in Azerbaijan. An open pit mine and a conventional heap leach activity commenced once more in 2008 and it is presently operational.

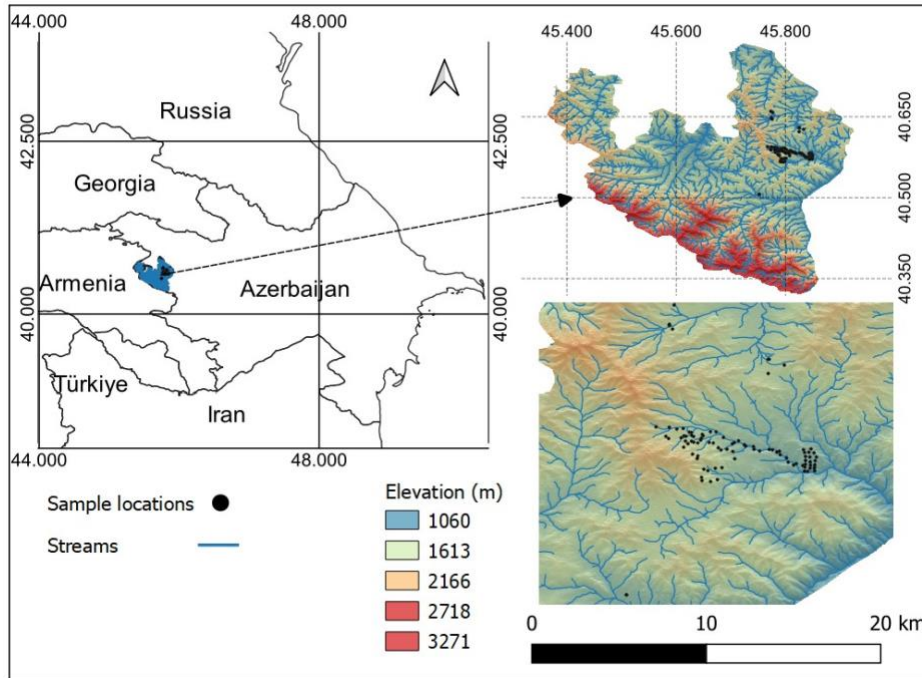


As obvious, the studied region is rather complex in terms of the combined effect of these factors. A long-term mining activity, traditional agricultural practices, blind use of mineral and organic fertilizers, land use variety in association with erosion processes and parent material diversity make this region more impedimental area in view of soil health and regular soil monitoring. Given that the region was not studied in view of the impact of the long-term mining as well the agricultural practices on soil properties, it can be stated that the present pioneering study may play an important role in future environmental studies. Thus, the determination of background levels of heavy metals is an important approach to prevent environmental pollution and physiological disorders in plant and grazing animals, and to establish an initial or modified threshold levels for studying heavy metal concentrations (Kabata-Pendias, 2011; Bayraklı & Dengiz, 2019). Furthermore, the basic soil properties, such as texture (clay), pH, organic matter, carbonates and salinity significantly affect the concentrations and availability of heavy metals in the soil (Omran, 2016; Kars & Dengiz, 2020; Lasota et al., 2020; Mammadov et al., 2022). Therefore, the basic soil properties were also studied. The objectives of this study were to (i) assess the concentrations of heavy metals in the study area, (ii) evaluate relationships between heavy metal concentration and basic soil properties, and (iii) estimate the level of environmental and ecological risk posed by heavy metals and sources of heavy metals in agricultural lands.

## MATERIALS and METHODS

### Study area

The study site is situated within the administrative area of Gadabay district (Figure 1), known for its abundant mineral deposits in the Caucasus region. Geographically located in the western part of Azerbaijan, within the Lesser Caucasus Mountains, the site spans elevations ranging from 1060 to 3271 m above sea level. In general, the study area is complicated due to the tectonic structure of anticlinal pattern and magmatic occurrences in three different periods as Bajocian, Batonian (Middle Jurassic) and Upper Jurassic-Early Cretaceous (Karimov, 1976).



**Figure 1.** Geographical location of the study area and sampling points.

**Şekil 1.** Çalışma alanının coğrafi konumu ve örnekleme yerleri.

Therefore, in the geological setting of the area alluvium of Quaternary, quartz porphyry and granodiorite-diorite of Upper Jurassic and Lower Cretaceous, andesitic tuff-conglomerate, andesite, rhyolite and rhyodacite of Middle Jurassic/Bathonian stages played an important role. The study area is characterized by predominantly grasslands, mountainous forests, cultivated lands and locally occurring shrubby areas. Given the region's extensive involvement in agriculture, soil erosion is typical, and all rates of soil erosion occurred in the region. The climate in the region is moderate, featuring dry winters. The annual precipitation is 650 mm, and average air temperature is 7.8°C.

### **Soil sampling and chemical analyses**

As the lack of previous information on heavy metal content of soils in this study area, a simple sampling procedure was applied to avoid deliberate bias and partially fill the data gaps in this region. The elevation of sampling site varied between 1450-1800 m. The samples (85) were randomly collected from the soil surface horizon (0-15 cm) of the representative land uses (pastures, hays, cultivated-potato, wheat, cabbage, carrot and beet) within Gadabay district, including neighboring agricultural lands of the copper-gold mine (Figure 1). The cultivated lands primarily were small patches associated with traditional land tenure. Soil samples were subjected to microwave acid digestion with HNO<sub>3</sub> (Moral et al., 1996), and the concentration of heavy metals (As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, Se, and Zn) was measured through ICP-OES analysis. In addition to heavy metals content, basic soil properties were analyzed to characterize relationships between heavy metals and basic properties. The soil organic carbon (SOC) was determined by Walkley-Black method (Nelson & Sommers, 1996), soil reaction (pH) by using a pH-meter, CaCO<sub>3</sub> content by a pressure-calcimeter method (Sherrod et al., 2002), and texture (sand, silt and clay contents) by the hydrometer method (Gee & Bauder, 1986).

### **Statistical analysis and environmental risk assessment**

Descriptive statistics of environmental variables, especially the concentration of heavy metals in soil is important in view of the nature and spatial distribution. Therefore, the results of chemical tests were analyzed in terms of minimum (Min), maximum (Max), mean, median, standard deviation (SD) and coefficient of variation (CV). The CV values were classified as low (<15%), medium (15-35%) and moderate (>35%) according to Mallants et al. (1996). To elucidate the relations between basic soil properties and heavy metals the Spearman Rho correlation coefficients were calculated. Furthermore, different environmental indexes were calculated to characterize the nature, sources and environmental risk of heavy metal content of the soils in the area.

A single pollution index was calculated to characterize the present status of each heavy metal concentrations. The pollution index ( $P_i$ ) was computed as the ratio between the metal concentration and its reference value (national criteria of the metal).

$$P_i = C_i/S_i$$

where,  $P_i$  is the pollution index,  $C_i$  is the metal concentration in a given sample, and  $S_i$  is the maximum permissible concentrations (MPC) of pollutants established by Azerbaijan legislation (GN 2.1.7.2041-06, 2000).

An enrichment factor ( $E_f$ ) was used to assess the contribution of anthropogenic sources to natural levels of heavy metals in the soil:

$$E_f = \frac{C_i/C_r}{B_i/B_r}$$

where,  $C_i$  and  $C_r$  are the concentrations of the target metal and the reference metal in the sample, while  $B_i$  and  $B_r$  are the background concentrations (BC) of the target metal and the reference metal for the natural soils of the study area. In this study, the BC values for target heavy metals were adopted from the Azerbaijan legislation (GN 2.1.7.2041-06, 2000) which referred to the existing studies. Commonly, the

concentrations of immobile elements such as, Al, Ti, Fe and Mn are used to compute enrichment factor (Hu et al., 2013). Thus, in this study, the concentration of Mn was used as the reference.

The geoaccumulation ( $I_{geo}$ ) and potential ecological risk indexes were calculated to evaluate the environmental and ecological risk for the soils of the study area. The geoaccumulation index was introduced by Müller, (1979) and is widely used to assess the contamination level of heavy metals in soils:

$$I_{geo} = \log_2 \left( \frac{C_n}{1.5B_n} \right)$$

where  $C_n$  is the measured concentration of the given heavy metal,  $B_n$  is the local geochemical background concentration. It is commonly accepted that the constant of 1.5 can minimize the possible variations in the background concentration derived from lithological effect.

Ecological risk index ( $R_i$ ) was also computed to assess the potential risk of the given heavy metal according to Hakanson (1980):

$$R_i = \sum E_i, E_i = T_i f_i = T_i \frac{C_i}{B_i}$$

where,  $E_i$  is the risk factor of the given element  $i$ ,  $T_i$  is the toxic effect factor of the given metal  $i$ ,  $f_i$  is the measured concentration of the given metal ( $C_i$ ),  $B_i$  is the background concentration.

The maximum permissible and background concentrations (BC) of heavy metals in the soils of Azerbaijan as well the values of  $T_i$  for the given heavy metals were adopted from the national standard ((GN 2.1.7.2041-06, 2000)) and presented in Table 1. The values of the pollution and geoaccumulation indexes ( $I_{geo}$ ), enrichment ( $E_i$ ) and potential ecological risk ( $R_i$ ) factors (Table 2) were classified according to Hakanson (1980) and Brady et al. (2015).

**Table 1.** Background concentration and maximum permissible concentration of heavy metals in Azerbaijani soils

**Çizelge 1.** Azərbaycan topraklarındaki ağır metallerin arka plan konsantrasyonu ve izin verilen maksimum konsantrasyonu

Element	BC	MPC considering BC	MPC (without BC)	$T_i$
As	15	2	2.0	10
Cd	3	2*	2.0	30
Co	8	5*	5	5
Cr	40	6	6	2
Cu	100	3	3	5
Hg	0.4	2.1	2.1	40
Mn	250	1500	1500	1
Ni	45	4	4	5
Pb	20	32	32	5
Se	0.1	3		
Zn	70	23*	23	1

\* MPCs according to other standards

**Table 2.** The classification of pollution ( $P_i$ ), enrichment ( $E_i$ ) and geoaccumulation ( $I_{geo}$ ) indexes and potential ecological risk ( $R_i$ )

**Çizelge 2.** Kirlilik ( $P_i$ ), zenginleşme ( $E_i$ ) ve jeoakümülyasyon ( $I_{geo}$ ) endekslerinin sınıflandırılması ve potansiyel ekolojik risk ( $R_i$ )

$P_i$		$E_i$		$I_{geo}$		$R_i$	
<1	Unpolluted/weakly polluted	<2	Depletion to mineral enrichment	<0	Unpolluted/slightly polluted	<40	Low potential ecological risk
1-3	Moderate-strong	2-5	Moderate enrichment	0-1	Moderately polluted	40-80	Moderate potential ecological risk
3-6	Strong	5-20	Significant enrichment	1-3	From moderately to strongly polluted	80-160	Considerable potential ecological risk
>6	Very strong	20-40	Very high enrichment	3-5	Strongly polluted	160-320	High potential ecological risk
		>40	Extremely high enrichment	>5	Extremely polluted	>320	Very high potential ecological risk

## RESULTS and DISCUSSION

### Descriptive statistics of the reference data

The descriptive statistics of basic soil properties and heavy metals are tabulated in Table 3, and the heavy metals in Chernozem soil samples with the clay-loam and loam-clay texture showed their both typical and element-specific distribution. Except soil pH, the spatial distribution of basic soil properties and heavy metal concentration was characterized with medium and moderate variation. Among others, only the pH (mean value of 6.4) showed a low variability (10%), i.e., smooth spatial continuity. The soil reaction were characterized as slightly acidic, however 6% of the samples were slightly alkaline, showing the importance of land use and soil processes, and local environmental condition (Mammadov et al., 2022). Soil clay, CaCO<sub>3</sub> and SOC content were moderately, while sand and silt content were medium variable. As the main driver for many processes in soil medium, the large variation in SOC (1.3–9.1%) was related to elevation, vegetation cover, land use and slope (Mammadov et al., 2021).

The CaCO<sub>3</sub> content varied in between 1% to 15% in surface soils owing to parent material, erosion and slope condition (Table 3). Recent studies in the adjacent district revealed that CaCO<sub>3</sub> content was typically associated with parent material, elevation, slope and land use (Mammadov et al., 2021; Mammadov et al., 2022.). The mean value of CaCO<sub>3</sub> content (8.6%) was an affirmative indication of carbonate-rich parent material and its dominance in the study area (Ismayil et al., 2018). However, silt content (20–45%), which has CaCO<sub>3</sub> size, showed medium variation (16.5%), while sand (16–65%) and clay (9–47%) content displayed medium and moderate variation, respectively. The mean value (21%) of clay content was lower than those of silt (33 %) and sand (45%) content. This can be attributed to erosion and selective transport of eroded particles in the surface soils, typical of the study area (Mammadov et al., 2021).

Based on the mean values, the heavy metals followed the sequence of Mn > Zn > Cu > Cr > Ni > Co > Pb > As > Se > Cd. The Hg was not detected in the samples (Table 3). The content of As (detected in 31 samples) varied in a narrow range (7.10-19.70 mg/kg) and its overlapping mean and median values as well skewness value confirmed unimodal distribution (Table 3, Figure 2). Among the tested soil samples, the concentration of As in one sample slightly exceeded the MPC that might be related to mining activity. Occurrence of elevated As level is typical to soils around gold and copper mines, and As occurs as arsenopyrite (FeSAs), realgar (As<sub>2</sub>S<sub>2</sub>) and orpiment [As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>] in gold bearing rock (Fashola et al., 2016).

The Cd was detected in 24 out of 85 samples which confirms its fragmented distribution, whereas its histogram showed unimodal distribution (Figure 2). One of the tested samples (very close to mining area) exceeded the MPC. Cd is reported as one of the most toxic heavy metals to most organisms and occurs in gold bearing orebodies as an isometric trace element in sphalerite and its concentration depends on the concentration of the sphalerite in the ore body (Fashola et al., 2016). The specific distribution of Cd is presumably associated with the local geology, topography and soil moisture regime. As reported by Han et al. (2007) soil moisture could greatly affect the solubility, toxicity, bioavailability, and mobility of Cd and cause it redistribution in soils.

The typically distributed in the study area, Co content (not detected only in one sample and symmetric unimodal pattern, Figure 2) varied between 6.48 and 34.30 mg/kg with a mean value of 18.91 mg/kg (Table 3). Given that the BC, Co content was double higher than the MPC in 36 samples. It was assumed that the noted higher Co concentration is typical to the study because the BC for Co according to Azerbaijani legislation is 8 mg/kg and additionally MPC for Co is not indicated from unknown reasons. Therefore, other standards from other regions were used (Table 1). As well, mean concentration of Co in Europe is reported to vary between 1 and 20 mg/kg and this range can be higher in geologically Co-rich areas (Angelone & Bini, 2009). The concentration of Co in soil is dependent on several factors, such as

local geological features, precipitation and Co-rich dust, soil moisture regime, soil age and texture, land-use and application of chemicals. Bradley, (1980) reported that Co concentration exceeds the value of 2500 mg/kg in Northern Wales and the ecosystem of those areas have been adapted to such high concentration and healthy. Thus, geological setting of the region and the existence of gold-copper mine in Gadabay district presumably causes high Co concentration in the study area.

**Table 3.** Descriptive statistics of basic soil properties and heavy metals

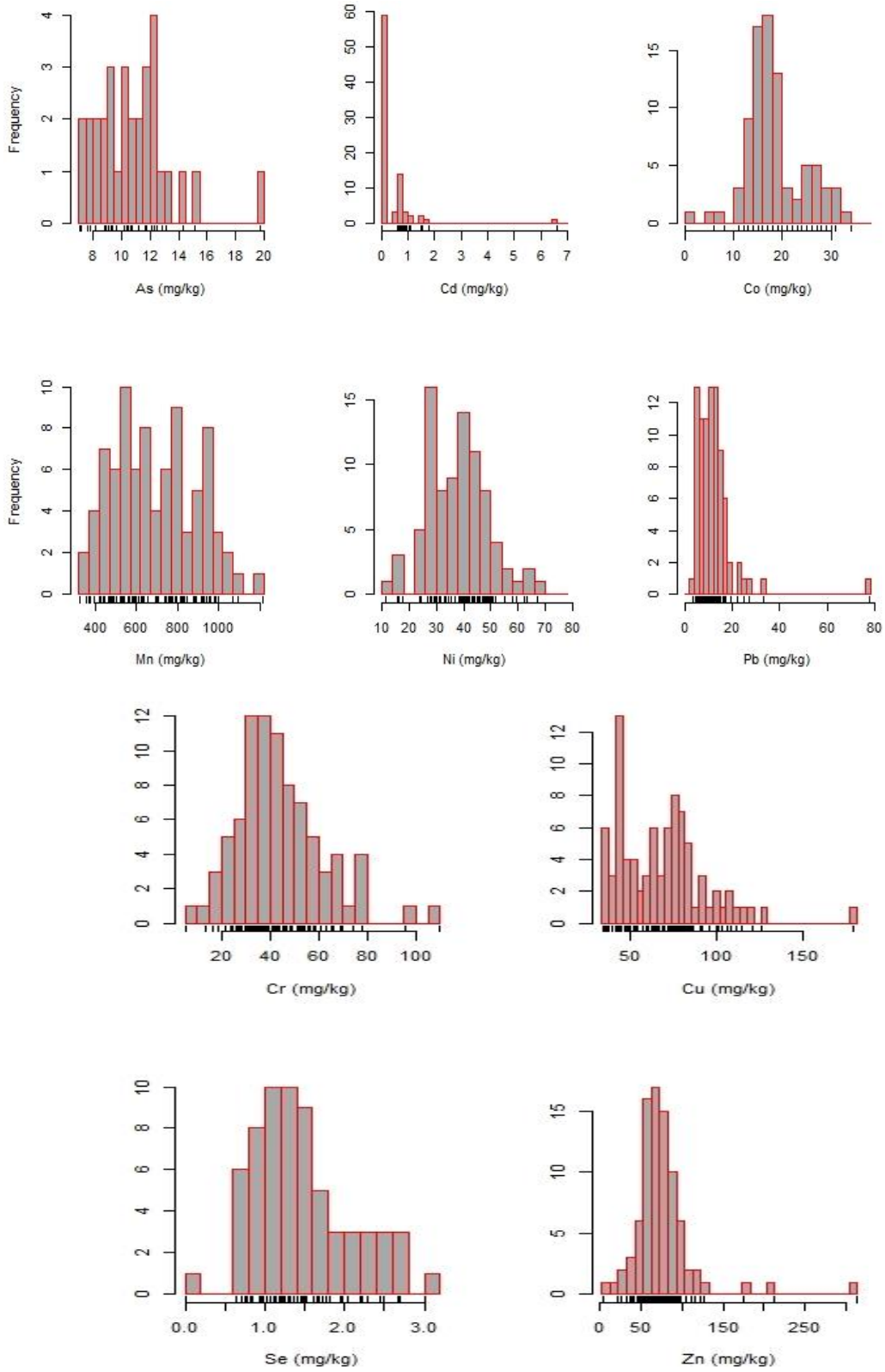
**Çizelge 3.** Temel toprak özellikleri ve ağır metallerin tanımlayıcı istatistikleri

Element	Min	Max	Mean	Median	SD	CV
<b>Basic soil properties</b>						
CaCO <sub>3</sub> (%)	1.06	15.00	8.61	9.00	3.98	46.25
Sand (%)	16.00	65.00	44.85	46.00	12.18	27.15
Silt (%)	20.00	45.00	33.69	33.00	5.56	16.51
Clay (%)	9.00	47.00	21.46	21.00	8.81	41.05
pH	5.31	8.30	6.36	6.30	0.67	10.50
SOC (%)	1.32	9.10	4.34	3.94	2.02	46.61
<b>Heavy metals</b>						
As (mg/kg)	7.10	19.70	10.81	10.68	2.63	24.33
Cd (mg/kg)	0.58	6.60	1.08	0.76	1.17	108.56
Co (mg/kg)	6.48	34.30	18.91	17.40	5.52	29.19
Cr (mg/kg)	5.30	110.00	44.28	42.26	18.09	40.85
Cu (mg/kg)	34.59	180.20	68.73	67.00	25.40	36.95
Mn (mg/kg)	326.08	1214.27	690.26	653.40	204.51	29.63
Ni (mg/kg)	11.49	67.00	37.74	38.20	10.82	28.68
Pb (mg/kg)	3.60	77.90	12.26	10.89	9.01	73.53
Se (mg/kg)	0.63	3.02	1.48	1.33	0.58	39.52
Zn (mg/kg)	4.90	2655.09	107.15	71.51	282.23	263.39

In the study area, Cr was detected in all tested samples, ranging from 5.30 to 110 mg/kg and the content exceeded the BC in 50% of the samples (Table 3). The unimodal and symmetric distribution (Figure 2) showed its typical distribution that was attributed to the geological features of the study area (Karimov, 1976).

The Cu was the third abundant heavy metal in terms of mean value (67.32 mg/kg, Table 3). Its moderate variability and bimodal distribution (peaks centered around 40 and 75 mg/kg, Figure 2) evidently reflected local geological features of the study area (Figure 2). The Cu concentration exceeded the MPC in 9 samples that can be attributed to the lithological features of the parent material or mining as Cu is widely distributed in sulphides, arsenites, chlorides and carbonates (Fashola et al., 2016). On other hand, gold mining leads greatly increased Cu concentration in the environment which upon release binds to particles of organic matter, clay minerals and sesquioxides leading to great accumulation in the soil (Fashola et al., 2016).

The most abundant heavy metal, Mn ranged from 326 to 1214 mg/kg with a mean value of 690 mg/kg (Table 3). Overall, Mn content in the study area was averagely higher than the BC, however the tested samples showed no values exceeding the MPC. The medium variability and unimodal, yet large spread pattern (Figure 2) showed its typical distribution. A similar distribution pattern was also found for Ni, the fifth abundant heavy metal with a mean value of 37.74 mg/kg. However, Ni content slightly exceeded the MPC in some samples. The noted high concentration for heavy metals such as Ni, Co and Cr was in line with previous studies (Bayraklı & Dengiz, 2019; Kars & Dengiz, 2020). Such characteristics of the heavy metals are associated with the nature of parent material as reported by Chen et al. (2005), the Ni concentration in volcanic rocks is 20-40 times greater as compared to other ones.



**Figure 2.** Histogram of the tested heavy metals.

**Şekil 2.** Test edilen ağır metallerin histogramı.

The soils in the study area can be considered abundant with Pb content, e.g., the range (3.60-77.90 mg/kg, Table 3) was concordant with a range of 10-67 mg/kg in surface soils worldwide (Fashola et al., 2016). The Pb content showed moderate variability and associated with Mn and Zn. In addition, the elevated concentration was found for one sample and exceeded the MPC that maybe related to the parent material in severely eroded pastureland.

Unlike other heavy metals, Se content showed specific distribution, and it was not detected in 3 samples. Its content varied from 0.63 to a maximum of 3.02 mg/kg and the mean value (1.48 mg/kg) was ten times higher than the BC according to the native regulation (Table 1 and Table 3). Besides that the MPC is missing in the native regulation. A unimodal symmetric pattern and spatial continuity may confirm its naturally higher concentration in the study area. On the other hand, we assume that significant gaps exist in compiling native regulation of BC and MPC as noted in Vodyanitskii (2016).

As there exists data scarcity on Se content of soils in Azerbaijan, it is important to provide a brief overview from different study examples. According to the studies from different regions of the world, Se content ranges between 0.1-0.6 mg/kg and the background value of 0.4 mg/kg (Fordyce, 2013). It was reported that Se content in Canada varies from 0.02 to 3.70 mg/kg with a mean value of 0.30 mg/kg (Haluschak et al., 1998). Tan (1989) and Dinh et al. (2018) reported that Se content is in toxic level in the Hubay region of China, mean concentration is about 2.3 mg/kg. Another characteristic making Se specific is the narrow range between Se toxicity and deficiency. According to Fleming (1980), a high Se concentration and its main origin in soil is associated with limestones, shales and other volcanic rocks of the Jurassic and Cretaceous stages. Summarizing above-mentioned studies and considering predominating rocks in the study region, the noted Se content maybe related to the nature of the study area.

The soils in the Gadabay district are characterized by a remarkable high Zn content, the second abundant element following Mn. A large range (4.90-2655 mg/kg) and high CV value made its distribution different from others (Table 3). The mean content (107.15 mg/kg) was higher than the BC (70 mg/kg). According to the national standards (GN 2.1.7.2041-06, Table 1), the present status of Zn content in the study area is indicative of massive pollution. Because the MPC is accepted 23 mg/kg considering BC, in this case the Zn concentration of majority of the samples is higher than the MPC. Therefore, it would be reasonable to pay attention to the MPC of other standards. For example, MPC for Zn in Soil Code DEFRA standard is 200 mg/kg. This level is also accepted in other standards. Bos et al. (2005) found that the toxic effect of heavy metals on soil ecosystem is dependent on soil type and considering the changes in BC of Zn depending on soil types, the authors prepared special methodology for determining MPC for Zn content. The presented approach showed that the difference between BC of Zn for different soil types reaches to 7.5 times thereby MPC ranges from 44 mg/kg to 208 mg/kg depending on soil type.

Summarily, the distribution of heavy metals in the study area was basically attributed to the geologic settings and heavy metal levels were to some extent higher compared to the BC both in nationally and internationally. The presented study found that the content of some heavy metals such as Co, Se and Zn is considerably higher, however the comparisons made between the studies from different regions of the world showed that there is great need to study those elements in the country and the native standards need to be improved.

### **Relations between the soil properties and heavy metals**

The significant correlations were found not only between basic soil properties themselves, but also between basic soil properties and heavy metals (Table 4). As expected, very close relations were found between the particle sizes, sand content was inversely correlated with silt ( $r = -0.76$ ) and clay ( $r = -0.91$ ) while the silt and clay ( $r = 0.45$ ) occur associated in soil medium. This is in line other studies and typical case for the region where calcareous parent material occurs (Mammadov et al., 2022).

The relations between  $\text{CaCO}_3$  and sand content ( $r = 0.45$ ),  $\text{CaCO}_3$  and SOC ( $r = -0.56$ ), SOC and clay content ( $r = 0.72$ ) apparently represent characteristic features of soil-forming processes in the mountainous temperate climate where a favorable ratio of precipitation to temperature in the background of topography and parent material formalize Chernozems. Meanwhile, the significant relationships between clay and pH ( $r = -0.34$ ), sand and pH ( $r = 0.29$ ), SOC and pH ( $r = -0.39$ ) well characterize soil-forming environment and weathering process. These relations also ascertained the relations between basic soil properties and heavy metals.

The positive correlation coefficients between clay and Mn, clay and Pb confirmed the importance of clay mineralogy. The study conducted in the adjacent district found out the similar relations between clay content and plant available forms of Mn and Pb (Mammadov et al., 2022). However, Cu, Cr and Co showed inverse relations, e.g., decrease with increasing the clay content. Among the studied heavy metals, solely Cr and Cu was found associated with sand content, their concentration increases with sand content. The impact of calcareous parent material on heavy metal content was evident through the correlation coefficients found between  $\text{CaCO}_3$  and solely three elements (Cd, Cu and Se). The elements As, Zn and Ni showed no significant relationships with basic soil properties. As regards the relationships between pH and heavy metals, the significant correlations were solely found for Cr, Ni and Se. Although the total content of most heavy metals showed no relations to pH in our study area, the availability of Cd, Pb and Mn content was significantly affected by pH in this region (Mammadov et al., 2022).

The correlation coefficients indicated that most heavy metals occur associated in soil medium, e.g., As content increases with increasing the content of all heavy metals (Table 4). The tested heavy metals presented evident grouping e.g., Pb and Mn, Pb and Zn, Cr and Ni, Cd and Zn couples showed significant relations that was presumably attributed to the geogenic factor leading to their similarly bonding in parent material and soil (e.g., Karimov 1977). The close relations found between those couples were in line with other studies (Hadzi et al., 2019, Mammadov et al., 2022). Hadzi et al., (2019) reported associated distribution of Cd and Zn in surface soil of mining areas. As well, Mammadov et al. (2022) found significant relations between Zn and Pb, Pb and Cd in the surface soils of the Caucasus Mountains. In addition, the relations found between other heavy metals (for example Co, Cu, Mn and Ni; Cd, Se and Zn; Cr, Ni and Cu) were in line with previous studies. The associated distribution of Cd, Cr, Cu and Zn was reported regardless of land use types (farmland, grassland and woodland) in Southwest China (Sun et al., 2019).

### **Environmental risk assessment**

According to the mean value of pollution index, the studied samples were related to the unpolluted and weakly polluted class ( $P_i < 1.0$ ) except Co, which was characterized with moderate-strong ( $P_i = 1.44$ ) pollution (Table 5). As noted before, the MPC for Co is missing in the national standard, and the MPC value was taken from another country's standard. The interpretation of  $P_i$  values of individual samples also showed a moderate-strong point-source pollution: the pollution was noted in one location for As and Cd, and in four locations for Zn. The three Zn-polluted samples were in mine-adjacent areas that may be linked to mining activity (Omwene et al., 2018). The contamination levels of heavy metals and other major elements (Pb, As, B, Cd, Zn, Cr, Mo, Co, Ni, Cu, and Ag) in surface sediments and their possible pollution sources was studied in Mustafakemalpaşa catchment in Türkiye. The highest  $I_{geo}$  values were recorded for Cr, B, Ni, As and Zn, and occurred near urban settlements and mining sites. The sources of Pb, Zn and Cu in the sediments were attributed to weathering of sulfide ore minerals (Omwene et al., 2018). Thus, the gaps in the national standards for MPCs of heavy metals and absence of earlier soil data (one or several decades ago) appeared as a limiting factor in calculating and evaluating other environmental indices (Han et al., 2021). Han et al. (2021) encountered the similar issue to study spatial distribution of soil salinity and heavy metals in the lowland region of Azerbaijan. The study found that among the studied 20 elements Ca, Cl, and S and the heavy metals Cr, Ni, and Pb were classified as problematic on the



basis of  $I_{geo}$  index, and As was also identified as posing a possible risk on the basis of the potential ecological risk index. Soil guideline values were proposed to monitor soil pollution in lowland areas of Azerbaijan (Han et al., 2021), however to fill the gaps concerning the monitoring of mountainous regions an extensive study is required.

**Table 4.** The Spearman Rho correlation coefficients between soil properties and heavy metals

**Çizelge 4.** Toprak özellikleri ile ağır metaller arasındaki Spearman Rho korelasyon katsayıları

	CaCO <sub>3</sub>	Sand	Silt	Clay	pH	SOC	As	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Se
CaCO <sub>3</sub>	1														
Sand	0.45**	1													
Silt	-0.27*	-0.76**	1												
Clay	-0.43**	-0.91**	0.45**	1											
pH	0.12	0.29**	-0.08	-0.34**	1										
SOC	-0.56**	-0.65**	0.31	0.72**	-0.38**	1									
As	-0.04	0.18	-0.13	-0.16	0.22	-0.11	1								
Cd	0.51**	-0.13	0.07	0.19	-0.11	-0.01		1							
Co	-0.25*	0.12	0.10	-0.27*	0.04	-0.37**	0.54**	-0.27*	1						
Cr	0.24	0.31**	-0.09	-0.36**	0.25*	-0.22*	0.30	-0.02	0.24	1					
Cu	0.44**	0.40**	-0.22*	-0.41**	0.05	-0.38**	0.42*	0.16	0.35**	0.24*	1				
Mn	-0.46**	-0.44**	0.35**	0.35**	-0.14	0.24*	0.48**	-0.23*	0.35**	-0.28**	-0.24*	1			
Ni	-0.03	0.06	0.12	-0.16	0.37**	-0.11	0.44*	-0.13	0.32**	0.75**	-0.05	0.16	1		
Pb	-0.35**	-0.62**	0.42**	0.60**	-0.15	0.40**	0.38*	0.17	-0.12	-0.20	-0.37**	0.45**	0.10	1	
Se	0.33**	0.11	0.02	-0.17	-0.29*	0.04	0.30	0.42**	0.10	0.01	0.31*	-0.04	-0.05	-0.05	1
Zn	0.18	-0.13	0.15	0.13	-0.01	0.04	0.48**	0.46**	-0.10	-0.19	0.16	0.08	-0.05	0.44**	0.41**

\*\* Correlation is significant at the 0.01 level, \* Correlation is significant at the 0.05 level

The geoaccumulation index for Se (3.19) showed strong pollution ( $3.0 < I_{geo} < 5$ ) while  $I_{geo}$  values for As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb and Zn presented unpolluted or slightly polluted class ( $I_{geo} < 0$ ). Based on  $I_{geo}$ , the soils were moderately polluted with Co and Mn. According to  $E_f$  values, Co and Cr were in the moderately enrichment class ( $2.0 < E_f < 5$ ) while other heavy metals showed a depletion to mineral enrichment ( $E_f < 2.0$ ). The potential ecological risk for all the studied heavy metals was low while moderate for only Se (Table 5). The result was in line with other studies showing the importance of land use (Sun et al., 2019) and mining history on onsite and offsite pollution potential (Omwene et al., 2018), as well water erosion and aeolian processes.

**Table 5.** Environmental indices calculated for the heavy metals

**Çizelge 5.** Ağır metaller için hesaplanan çevresel endeksler

Element	BC	P <sub>i</sub>	E <sub>f</sub>	i <sub>geo</sub>	R <sub>i</sub>
As	15	0.63	1.24	-1.09	7.21
Cd	3	0.35	0.99	-2.35	10.75
Co	8	1.44	3.34	0.57	11.72
Cr	40	0.96	2.35	-0.56	2.21
Cu	100	0.67	1.63	-1.22	3.44
Mn	250	0.46	1.00	0.81	2.76
Ni	45	0.77	1.80	-0.90	4.19
Pb	20	0.24	0.53	-1.50	3.06
Se	0.1	0.48	1.14	3.19	72.70
Zn	70	0.53	1.41	-0.53	1.53

BC-background concentration, P<sub>i</sub>-pollution index, E<sub>f</sub>-enrichment factor, I<sub>geo</sub>-geoaccumulation index, R<sub>i</sub>-ecological risk factor

## CONCLUSIONS

The spatial distribution of heavy metals in the study area was characterized by their typical and element-specific distribution. The order of means, and medium to moderate variation of heavy metal concentrations in this mountainous area were intricate and related to land use and past mining history, and

erosion and aeolian processes, along with environmental condition and geologic features. The concentration of heavy metals were (i) fragmentary (As, Cd and Se), (ii) higher than the BC (Co, Cr, Mn, Se and Zn), and (iii) higher than MPC (Co: 36, Cu: 9, and Zn: 47 samples). The correlation between basic soil properties and heavy metals concentration revealed their association with CaCO<sub>3</sub> (Cd, Cu and Se), clay (Mn and Pb), sand (Cr and Cu), SOC (Co, Mn, Pb) and pH (Cr, Ni and Se). The significant correlations with pH were attributed to the bedrocks and parent material. The soils were non- and slightly-polluted (excluding three metals). Except two, the metals displayed as depletion to mineral enrichment. In general, the potential ecological risk for the studied heavy metals was low. Moreover, the sole weathering effect of parent material and anthropogenic activity in the regions led to high spatial heterogeneity of heavy metals in the soil, thus increasing the difficulty of extrapolation uncertainty by descriptive statistical method.

The evaluation of pollution and ecological risks was impeded by the gaps in the national standards. Further studies are needed to thoroughly investigate the impact of agricultural practices and mining by means of extensive, purposive sampling and cluster analysis.

#### **Data Availability**

Data will be made available upon reasonable request.

#### **Author Contributions**

Conception and design of the study: MS; sample collection: MS; analysis and interpretation of data: MS; statistical analysis: MS; visualization: MS; writing manuscript: MS.

#### **Ethical Statement**

I declare that there is no need for an ethics committee for this research.

#### **Financial Support**

The author thanks the Institute of Soil Science and Agrochemistry, Ministry of Science and Education of Azerbaijan Republic for the laboratory support.

#### **Article Description**

This article was edited by Section Editor Assoc. Prof. Dr. Ali Rıza ONGUN.

## **REFERENCES**

- Angelone, M. & C. Bini, 2009. "Trace Elements Concentrations in Soils and Plants of Western Europe, 19-44". In: Biogeochemistry of Trace Metals. (Eds. D.C. Adriano), London, Tokyo, Boca Raton, Ann Arbor, Lewis Publishers, 59 pp.
- Bayraklı, B. & D. Dengiz, 2019. Determination of heavy metal risk and their enrichment factor in intensive cultivated soils of Tokat Province. *Eurasian Journal of Soil Science*, 8 (3): 249-256.
- Borůvka, L., O. Vacek & J. Jehlička, 2005. Principal component analysis as a tool to indicate the origin of potentially toxic elements in soils. *Geoderma*, 128 (3-4): 289-300.
- Bos, R., M. Huijbregts & W. Peijnenburg, 2005. Soil type-specific environmental quality standards for zinc in Dutch soil. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 1 (3): 252-258.
- Bradley, R. I., 1980. Trace elements in soils around, Llechryd, Dyfed, Wales. *Geoderma*, 24: 17-23.
- Brady, J.P., G.A. Ayoko, W.N. Martens & A. Goonetilleke, 2015. Development of a hybrid pollution index for heavy metals in marine and estuarine sediments. *Environmental Monitoring and Assessment*, 187 (5): 306.
- Celik, I., I. Ortas & S. Kilic, 2004. Effects of compost, mycorrhiza, manure and fertilizer on some physical properties of a Chromoxerert soil. *Soil and Tillage Research*, 78: 59-67.
- Chen, T.B., Y.M. Zheng, M.Lei, Z.C. Huang, H.T. Wu, H. Chen, K.K. Fan, K. Yu, X. Wu & Q.Z. Tian, 2005. Assessment of heavy metal pollution in surface soils of urban parks in Beijing, China. *Chemosphere*, 60 (4): 542-551.

- Dinh, Q.T., Z. Cui, J. Huang, T. Tran, D. Wang, W. Yang, F. Zhou, M. Wang, D. Yu & D. Liang. 2018. Selenium distribution in the Chinese environment and its relationship with human health: A review. *Environment International*, 112: 294-309.
- Esser, K.B., J.G. Bockheim & P.A. Helme, 1991. Trace element distribution in soils formed in the Indiana dunes. *United States of America Soil Science*, 152: 340-350. <http://dx.doi.org/10.1097/00010694-199111000-00005>.
- Fashola, M.O., V.M. Ngole-Jeme & O.O. Babalola, 2016. Heavy metal pollution from gold mines: environmental effects and bacterial strategies for resistance. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 13 (11): 1047. <https://doi:10.3390/ijerph13111047>.
- Fleming, G.A., 1980. "Essential Micronutrients, 199-234". In: *Applied Soil Trace Elements* (Eds: B.E. Davis), Vol 2, New York, John Wiley&Sons, 482 pp.
- Fordyce, F.M., 2013. "Selenium Deficiency and Toxicity in the Environment, 375-416". In: *Essentials of Medical Geology* (Eds. O. Selinus), Dordrech, Springer, 805 pp.
- Gee, G.W., & J.W. Bauder, 1986. "Particle Size Analysis, 383-409". In: *Methods of Soil Analysis: Part 1 Physical and Mineralogical Methods* (Eds. A. Klute), Madison, WI, ASA and SSSA, 1188 pp.
- GN 2.1.7.2041-06. Native Standard on Maximum Permissible Concentrations of Toxic Substances in Atmosphere Air, Soils and Surface Water Resources Annexes to the Resolution of Cabinet of Ministers of the Republic of Azerbaijan about Confirmation of Legislative Regulatory Documents on the Maximum Permissible Concentrations of Toxic Substances in Atmosphere Air, Soils and Surface Water Resources. Baku, 2000, 58 pp.
- Hadzi G.Y., G.A. Ayoko, D.K., Essumang & S.K.D. Osae, 2019. Contamination impact and human health risk assessment of heavy metals in surface soils from selected major mining areas in Ghana. *Environmental Geochemistry and Health*, 41: 2821-2843. <https://doi:10.1007/s10653-019-00332-4>.
- Hakanson, L., 1980. An ecological risk index for aquatic pollution control: A sedimentological approach. *Water Research*, 14 (8): 975-1001.
- Haluschak, P., R.G. Eilers, G.F. Mills & S. Grift, 1998. Status of Selected Trace Elements in Agricultural Soils of Southern Manitoba. Technical Report 1998-6E, Land Resource Unit. Brandon Research Centre, Research Branch. Agriculture and Agri-Food Canada, 70 pp.
- Han, F.X., W.L. Kingery, J.E. Hargreaves & T.W. Walker, 2007. Effects of land uses on solid-phase distribution of micronutrients in selected vertisols of the Mississippi River Delta. *Geoderma*, 142: 96-103. <https://doi:10.1016/j.geoderma.2007.08.006>.
- Han, J., Z. Mammadov, M. Kim, E. Mammadov, S. Lee, J. Park, G. Mammadov, A. Guliyev & H.M. Ro, 2021. Spatial distribution of salinity and heavy metals in surface soils on the Mugan Plain, the Republic of Azerbaijan. *Environmental Monitoring and Assessment*, 193 (95): 1-20. <https://doi.org/10.1007/s10661-021-08877-7>.
- Hani, A. & E. Pazira, 2010. Heavy metals assessment and identification of their sources in agricultural soils of Southern Tehran, Iran. *Environmental Monitoring and Assessment*, 176: 677-691.
- Herencia, J.F., P.A. García-Galavís & C. Maqueda, 2011. Long-term effect of organic and mineral fertilization on soil physical properties under greenhouse and outdoor management practices. *Pedosphere*, 21: 443-453.
- Hu, B., X. Jia, J. Hu, D. Xu, F. Xia & Y. Li, 2017. Assessment of heavy metal pollution and health risks in the soil-plant-human system in the Yangtze River Delta, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14 (9): 1042.
- Hu, Y., X. Liu, J. Bai, K. Shih, E. Zeng & H. Cheng, 2013. Assessing heavy metal pollution in the surface soils of a region that had undergone three decades of intense industrialization and urbanization. *Environmental Science Pollution Research*, 20: 6150.
- Ismayil, J., F. Arik & J. Özen, 2018. Preliminary geological and mineralogical features of Gedabek (western Azerbaijan) Au-Cu deposit. *Omer Halisdemir University Journal of Engineering Sciences*, 7 (1): 475-482.
- IUSS Working Group WRB, World Reference Base for Soil Resources 2014, Update 2015, International Soil Classification System for Naming Soils and Creating Legends for Soil Maps; World Soil Resources Reports No. 106, FAO, Rome, Italy, 192 pp.
- Kabata-Pendias, A., 2011. *Trace Elements in Soils and Plants IV*. Boca Raton, FL, USA, CRC Press, Taylor and Francis Group, 548 pp.
- Kandziora-Ciupa, M., A. Nadgórska-Socha & G. Barczyk, 2021. The influence of heavy metals on biological soil quality assessments in the *Vaccinium myrtillus* L. Rhizosphere under different field conditions. *Ecotoxicology*, 30: 292-310. <https://doi.org/10.1007/s10646-021-02345-1>

- Karimov, G.I., 1976. Gədəbəy Filiz Rayonunun Petrologiyası və Minerallaşması [Petrology and mineralization of Gadabay ore district]. Baku, Azerbaijan: Elm, 175 pp.
- Kars, N. & O. Dengiz, 2020. Assessment of potential ecological risk index based on heavy metal elements for organic farming in micro catchments under humid ecological conditions. *Eurasian Journal of Soil Science*, 9 (3): 194-201.
- Lasota, J., E. Błońska, S. Łyszczarz & M. Tibett, 2020. Forest humus type governs heavy metal accumulation in specific organic matter fractions. *Water, Air, and Soil Pollution*, 231 (80): 1-13.
- Lee, B.D., B.J. Carter, N.T. Basta & B. Weaver, 1997. Factors influencing heavy metal distribution in six Oklahoma benchmark soils. *Soil Science Society of America Journal*, 61: 218-223. <http://dx.doi.org/10.2136/sssai1997.03615995006100010030x>
- Li, Z., R.L. Schneider, S.J. Morreale, Y. Xie, C. Li & J. Li, 2018. Woody organic amendments for retaining soil water, improving soil properties and enhancing plant growth in desertified soils of Ningxia, China. *Geoderma*, 310: 143-152.
- Mallants, D., B.P. Mohanty, D. Jacques & J. Feyen, 1996. Spatial variability of hydraulic properties in a multi-layered soil profile. *Soil Science*, 161 (3): 167-181.
- Mammadov E., J. Nowosad & C. Glaesser, 2021. Estimation and mapping of surface soil properties in the Caucasus Mountains, Azerbaijan using high-resolution remote sensing data. *Geoderma Regional*, 26: e00411. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2021.e00411>.
- Mammadov, E., M. Denk, F. Riedel, C. Kaźmierowski, K. Lewinska, R. Łukowiak, W. Grzebisz, A.I. Mamedov & C. Glaesser, 2022. Determination of Mehlich 3 extractable elements with visible and near infrared spectroscopy in a mountainous agricultural land, the Caucasus Mountains. *Land*, 11 (363): 1-24. <https://doi:10.3390/land11030363>
- Moral, R., N. Javarro-Pedreño, I. Gómez & J. Mataix, 1996. Quantitative analysis of organic residues: effects of samples preparation in the determination of metal. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 27: 753-761.
- Müller, G., 1979. Schwermetalle in den Sedimenten des Rheins-Veränderungen seit 1971 [Heavy metals in the sediments of the Rhine-changes since 1971]. *Umschau*, 24: 778-783.
- Nelson, D.W. & L.E. Sommers, 1996. "Total carbon, organic carbon, and organic matter, 961-1010". Part 3. In: *Methods of Soil Analysis*. (Eds. D.L. Sparks). Chemical Methods, Madison, WI, USA, SSSA, 1358 pp.
- Nicholson, F.A., S.R. Smith, B.J. Alloway, C. Carlton-Smith & B.J. Chambers, 2003. An inventory of heavy metals inputs to agricultural soils in England and Wales. *Science Total Environment*, 311: 205-219.
- Omran, E.E., 2016. Environmental modelling of heavy metals using pollution indices and multivariate techniques in the soils of Bahr El Baqar, Egypt. *Modeling Earth Systems and Environment*, 2: 119.
- Omwene, P.I., M.S. Öncel, M. Çelen, & M. Kobya, 2018. Heavy metal pollution and spatial distribution in surface sediments of Mustafakemalpaşa stream located in the world's largest borate basin (Turkey). *Chemosphere*, 208: 782-792. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.06.031>.
- Shan, Y., M. Tysklind, F. Hao, W. Ouyang, S. Chen & C. Lin, 2013. Identification of sources of heavy metals in agricultural soils using multivariate analysis and GIS. *Journal of Soil Sediments*, 13: 720-729.
- Sherrod, L.A., G. Dunn, C.A. Peterson & R.L. Kolberg, 2002. Inorganic carbon analysis by modified pressure-calimeter method. *Soil Science Society of America Journal*, 66: 299-305.
- Sun, C., S. Zhu, B. Zhao, W. Li, X. Gao & X. Wang, 2019. Effect of Land Use Conversion on Surface Soil Heavy Metal Contamination in a Typical Karst Plateau Lakeshore Wetland of Southwest China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17 (1): 84. <https://doi:10.3390/ijerph17010084>.
- Sungur, A., M. Soylak & H. Ozcan, 2014. Investigation of heavy metal mobility and availability by the BCR sequential extraction procedure: relationship between soil properties and heavy metals availability. *Chemical Speciation & Bioavailability*, 26 (4): 219-230.
- Tan, J., 1989. *The atlas of Endemic Diseases and their Environments in the People's Republic of China*. Beijing/China, Science Press, 216 pp.
- Veliyev, A., A. Bayramov, J. Ibrahimov, S. Mammadov & G. Alizadeh, 2018. Geological setting and ore perspective of the new discovered Gadir Low sulfidation epithermal deposit, Gedabek NW Flank, Lesser Caucasus, Azerbaijan. *Universal Journal of Geoscience*, 6 (3): 78-101.
- Vodyanitskii, Y.N., 2016. Standards for the contents of heavy metals in soils of some states. *Annals of Agrarian Science*, 14: 257e263.
- Zinn, Y.L., J.A. Faria, M.A. Araujo & A.L.A. Skorupa, 2020. Soil parent material is the main control on heavy metal concentrations in tropical highlands of Brazil. *Catena*, 185: 104319.



## Araştırma Makalesi (Research Article)

Ege Üniv. Ziraat Fak. Derg., 2024, 61 (1):87-102  
<https://doi.org/10.20289/zfdergi.1361997>

Mızgın GÖLER<sup>1</sup>

Mehmet Arif ÖZYAZICI<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Siirt Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarla Bitkileri Anabilim Dalı, Merkez, Siirt, Türkiye

<sup>2</sup> Siirt Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Merkez, Siirt, Türkiye

\* Sorumlu yazar (Corresponding author):

[arifozyazici@siirt.edu.tr](mailto:arifozyazici@siirt.edu.tr)

# İkinci ürün olarak yetiştirilen bazı tatlı sorgum [*Sorghum bicolor* var. *saccharatum* (L.) Mohlenbr.] genotiplerinin verim ve verim öğelerinin belirlenmesi\*

Determination of yield and yield components of some sweet sorghum [*Sorghum bicolor* var. *saccharatum* (L.) Mohlenbr.] genotypes grown as a second crop

\* Bu makale birinci Yazarın yüksek lisans tezinden özetlenmiştir.

Received (Alınış): 17.09.2023

Accepted (Kabul Tarihi): 04.03.2024

## ÖZ

**Amaç:** Bu çalışmada, tatlı sorgum [*Sorghum bicolor* var. *saccharatum* (L.) Mohlenbr.] genotiplerinin ikinci ürün koşullarında verim ve bazı verim öğeleri yönünden performanslarının belirlenmesi amaçlanmıştır.

**Materyal ve Yöntem:** Araştırmada; Gülşeker, Sorge, Erdurmuş, Ulusoy, Uzun, M81-E, Tracy, Cowley, Smith ve USDA Tayvan genotipleri bitkisel materyal olarak kullanılmıştır. Tarla denemesi tesadüf blokları deneme desenine göre 3 tekrarlamalı olarak yürütülmüştür. Tatlı sorgum genotiplerinde ot ve tane verimi ile bazı verim öğeleri ve ot kalite parametreleri incelenmiştir.

**Araştırma Bulguları:** İncelenen tüm özellikler yönünden genotipler arasında anlamlı ( $p<0.01$ ) farklılıklar saptanmıştır. Genotiplere göre; bitki boyu 133.6-363.0 cm, yeşil ot verimi 2247-12029 kg/da, sap verimi 1809-10009 kg/da, kuru madde verimi 572.4-3346.7 kg/da, tane verimi 88.89-195.27 kg/da, ham protein (HP) oranı %11.27-13.81, HP verimi 64.7-462.1 kg/da, asit deterjanda çözünmeyen lif oranı %27.69-35.65 ve nötral deterjanda çözünmeyen lif oranı %51.45-65.61 arasında değişim göstermiştir.

**Sonuç:** Araştırma sonuçlarına göre, ot üretimi amacıyla Gülşeker ve USDA Tayvan, tane üretimi amacıyla da Uzun çeşidi önerilmektedir.

## ABSTRACT

**Objective:** In this research is intended to be determined performances of sweet sorghum [*Sorghum bicolor* var. *saccharatum* (L.) Mohlenbr.] genotypes in terms of yield and some yield components grown as a second crop.

**Material and Methods:** In the study, Gülşeker, Sorge, Erdurmuş, Ulusoy, Uzun, M81-E, Tracy, Cowley, Smith and USDA Taiwan genotypes were used as plant material. The field experiment was conducted according to the randomized complete blocks design with 3 replications. Forage and grain yield, some yield components and forage quality parameters were examined in sweet sorghum genotypes.

**Results:** The significant ( $p<0.01$ ) differences were found between genotypes in terms of all examined characteristics. According to genotypes, plant height ranged from 133.6 to 363.0 cm, green herbage yield ranged from 2247 to 12029 kg/da, stem yield ranged from 1809 to 10009 kg/da, dry matter yield ranged from 572.4 to 3346.7 kg/da, grain yield ranged from 88.89 to 195.27 kg/da, crude protein (CP) content ranged from 11.27% to 13.81%, CP yield ranged from 64.7 to 462.1 kg/da, acid detergent fiber content ranged from 27.69% to 35.65%, and neutral detergent fiber content ranged from 51.45% to 65.61%.

**Conclusion:** Based on the results of the study, Gülşeker and USDA Taiwan genotypes for forage production while Uzun variety for grain production can be recommended genotypes.

**Anahtar sözcükler:** Genotip, ham protein oranı, ham protein verimi, kuru madde verimi, tatlı sorgum

**Keywords:** Genotype, crude protein ratio, crude protein yield, dry matter yield, sweet sorghum

## GİRİŞ

Yeryüzünde, devam eden küresel değişim, birçok türde popülasyon azalmalarına yol açtığı gibi (Stauder et al., 2020), bazı bitkilerin de vejetasyon süresinde değişimlere neden olmaktadır. Ani sıcaklık değişimleri, bazı alanlardaki gece ve gündüz arasındaki sıcaklık farkları, yüksek sıcaklıklar ve buna bağlı olarak uzun süren kuraklık olayları ve biyotik etkileşimler gibi bir dizi faktörler bitki türlerinin gelişimini, performansını ve uyumunu olumsuz etkilemekte; bu durum, bitkilerin normal yaşam sürelerini değiştirmekte, hatta bazı durumlarda türlerin hayatta kalmasını doğrudan sınırlayabilmektedir. Bu anlamda şiddetli kuraklık, dünya çapında gıda ürünlerinin üretimine en çok zarar veren iklimsel faktörlerden birisi olup, ekilebilir alanların azalmasına neden olmaktadır (Farrant & Hilhorst, 2022). Küresel ölçekteki bu çevresel değişimler, tarımsal alanlarda aynı zamanda; ürün sistemlerini, bitki üretim desenlerini, ekim nöbeti sistemlerini de önemli ölçüde etkilemektedir. Bu değişim süreci kolay kolay durdurulamayacağı için dünya nüfusunun gıda güvenliğini tehlikeye atmama adına; iklim dostu tarım sistemlerinin geliştirilmesi, ihmal edilen veya yeterince kullanılmayan gıda kaynaklarının üretimini artırılmasına yönelik stratejilerin hayata geçirilmesi gerekmektedir.

Dünya genelinde olduğu gibi Türkiye’de de kurak ve yarı kurak alanlar, yağışa dayalı ürünlerin yetiştirildiği başlıca alanlardır. Büyük oranda tahıl-tahıl ya da tahıl-nadas sisteminin uygulandığı bu alanlar, birçok stratejik ürünlerin yetiştirilebildiği tarımsal üretim sisteminin sürdürülebilirliğine katkı sağlayan alanlardır. Bu alanlarda değerlendirilme potansiyeli yüksek olan ürünler arasında sorgum cinsi (*Sorghum* sp.) gelmektedir. Sorgum türleri, gıda dışı çeşitli kullanımlar için -özellikle enerji bitkisi olarak- ilgi gören çok amaçlı tahıllardır (Barbanti et al., 2006; Meki et al., 2013). Sorgum türleri kuraklığa ve sıcaklık stresine dayanıklıdır (Soudek et al., 2014). Sorgum, yüksek fotosentetik ve su kullanım verimliliği ile marjinal alanlarda büyümek için stresli ortamlara karşı yüksek tolerans özelliklerine sahip bir bitkidir (Pinnamaneni et al., 2022). Sorgum türleri; tatlı sorgum, tane sorgum ve yem sorgumu olarak sınıflandırılmaktadır (Almodares et al., 2008a). Tatlı sorgum [*Sorghum bicolor* var. *saccharatum* (L.) Mohlenbr.], sadece gıda üretimi için değil (Anglani, 1998); aynı zamanda enerji (Pinnamaneni et al., 2022), yem (Fazaeli et al., 2006) ve lif (Murray et al., 2008) üretimi için de önemli bir potansiyele sahiptir. Tatlı sorgum, kuraklığa (Tesso et al., 2005), tuzluluğa (Almodares et al., 2008b) dayanıklılık ve yüksek biyokütle verimi (Almodares & Hadi, 2009) gibi birçok iyi özelliklere sahiptir. Tane sorgumlar gibi tatlı sorgumda da tane verimi yüksektir (Almodares & Mostafafi, 2006). Ancak, tatlı sorgumun esas karakteri tanesinden değil, yüksek şeker içeriğine sahip olan sapından kaynaklanmaktadır. Gövdesinde fermente edilebilir şekerler biriktiren (Rutto et al., 2013) tatlı sorgumlar, genel olarak 5400-6900 kg/da arasında sap üretebilmektedir (Almodares et al., 2008c). Çok amaçlı kullanım olanağı bulunmasına rağmen, tatlı sorgum; esas olarak konsantre şurup, tane ve hayvanlar için kaba yem ve silaj üretimi amacıyla yetiştirilmektedir (Gnansounou et al., 2005). Bu itibarla tatlı sorgumlar, tipik olarak orta tane verimi, ancak yüksek biyokütle üretimi ile karakterize edilir (Pinnamaneni et al., 2022). Yüksek fotosentetik etkinliğe sahip bir C4 ürünü olan tatlı sorgumun (Almodares & Hadi, 2009) geliştirilmesi ve yaygınlaştırılmasının, tarımsal üretimin ve hayvancılığın gelişiminde önemli rol oynayacağı vurgulanmaktadır (Fazaeli et al., 2006).

Türkiye’de hayvancılık, tarım sektörünün önemli bir bileşeni durumundadır. Bu yönüyle özellikle Doğu ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi, Türkiye hayvancılığının bel kemiği konumundadır. Ancak, hayvansal üretim henüz istenilen düzeyde değildir. Hayvansal üretimin artırılması, hem kaliteli hem de yeterli miktarda yem sağlanmasıyla mümkün olmaktadır. Türkiye’de çiftlik hayvanlarının yaşam ve üretim payı için gereken kaliteli kaba yem ihtiyacının karşılanamadığı ve ortaya çıkan açığın yoğun tahıl samanı kullanılarak kapatılmaya çalışıldığı bilinmektedir (Acikbas & Özyazıcı, 2019; Yavuz vd., 2020). Kaba yem açığının yaklaşık 49 milyon ton olduğu Türkiye’de (Yavuz vd., 2020), yem kaynaklarının mevcut durumuna göre hem yeşil yemde hem de kuru yemde önemli açıklar olduğu bir gerçektir. Açığı kapatmada yeşil yem arzının yıllık bazda artışı, bu anlamda büyük önem taşımaktadır. Yeşil yem zincirinin artırılmasında, tahıl hasadından sonra ikinci ürün sisteminin yaygınlaştırılması ve bu sisteme uygun yem bitkileri tür ve çeşitlerinin

geliştirilmesi önemli seçeneklerden birisidir. Tatlı sorgum yüksek verimliliği, besleyici değeri ve farklı tarımsal-ekolojik koşullara uyum sağlama yeteneği nedeniyle dünyanın birçok bölgesinde önemli bir yem bitkisidir (Mishra et al., 2017). Yeşil yem kaynağı olarak yüksek biyokütle üreten tatlı sorgum, silaj ve kuru ot eldesine de uygun olduğu için ot sıkıntısının yaşandığı mevsimlerde besleyici arzı da tamamlama gibi önemli bir avantaja sahiptir (Mishra et al., 2017). Hayvan sayısındaki artış ve buna bağlı olarak artan yem gereksinimi dikkate alındığında, yüksek yem verimi sağlayan tatlı sorgum genotiplerinin tanımlanmasına acil ihtiyaç vardır. Enerji tarımında geniş çapta kabul görmüş olan tatlı sorgumun, yem bitkisi olarak kullanımına ilişkin bilgiler ise oldukça sınırlıdır.

Bu çalışmanın amacı, yeşil yem kaynağı olarak değerlendirilebilecek tatlı sorgum [*S. bicolor* var. *saccharatum* (L.) Mohlenbr.] genotiplerinin Mardin ili ikinci ürün koşullarında yem verimi ve kalitesi açısından performansının belirlenmesidir.

## MATERYAL ve YÖNTEM

### Materyal

Araştırmada, tarla denemesi; Mardin ili Kızıltepe ilçesi çiftçi arazisinde 2021 yılı ikinci ürün koşullarında yürütülmüştür. Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde yer alan Mardin ili; Diyarbakır, Şanlıurfa, Batman, Şırnak ve Suriye ile komşudur (MKTM, 2023). Araştırmanın yürütüldüğü Kızıltepe Ovası (Şekil 1), deniz seviyesinden ortalama 450 m yükseltide bulunmakta olup; kuzeyinde dağlık Mardin-Midyat eşiği ile sınırlanan ova, doğusunda bulunan Mardin Ovası ile batıdaki Ceylanpınar Ovası ve güneyde uzanan Suriye ovalarının ortasında kalmakta ve bu ovaların devamı niteliği göstermektedir (Çelik & Sönmez, 2013).



Şekil 1. Araştırma alanı lokasyon haritası.

Figure 1. Research area location map.

Mardin'de yazları kurak, Akdeniz yağış rejimi ve güney çöllerinin etkisi altında kalan bir kara iklimi görülür (MKTM, 2023). Yarı kurak iklim şartlarının hâkim olduğu, Türkiye ile Suriye arasındaki sınır noktasında bulunan Kızıltepe ilçesi, Güneydoğu Anadolu Bölgesi Step İklimi'nin tipik özelliklerini taşımaktadır. Kızıltepe ilçesi, yaz aylarında, güneydeki çöl ikliminin etkisi altına girmekte; bu nedenle, sıcaklıklar genellikle 30°C'yi geçmektedir. Bu duruma bağlı olarak Kızıltepe'nin de içinde bulunduğu alan Türkiye'nin en kurak yörelerinden birini oluşturmaktadır (Çelik & Sönmez, 2013). Mardin iline ait araştırma yılı ve uzun yıllar bazı iklim verileri Çizelge 1'de verilmiştir (MGM, 2023). Çizelge 1 incelendiğinde; tatlı sorgumun vejetasyon süresince ortalama sıcaklık değeri 26.4°C iken, bu değer aynı dönemin uzun yıllar verilerinden bir miktar yüksek olduğu görülmektedir. Araştırmanın yürütüldüğü Haziran-Ekim döneminde sadece Ekim ayında 9.5 mm'lik yağış kaydedilirken, aynı dönemde uzun yıllar toplam yağış ortalaması 50.0 mm olarak saptanmıştır (Çizelge 1).



**Çizelge 1.** Mardin ili uzun yıllar (1941-2021) ve araştırma dönemi (Haziran-Ekim 2021)'ne ait bazı meteorolojik veriler**Table 1.** Some meteorological data for Mardin province for long years (1941-2021) and the research period (June-October)

İklim parametreleri	Rasat yılları	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Ortalama
Ortalama sıcaklık (°C)	1941-2021	25.6	29.8	29.6	25.3	18.6	25.8
	2021	26.9	31.3	31.0	24.8	19.7	26.4
Ortalama en yüksek sıcaklık (°C)	1941-2021	30.6	35.0	34.7	30.1	22.9	30.7
	2021	37.8	41.3	39.4	34.8	30.0	36.7
Ortalama en düşük sıcaklık (°C)	1941-2021	20.3	24.5	24.7	20.8	14.7	21.0
	2021	15.9	22.3	23.4	13.4	10.6	17.1
Ortalama yağışlı gün sayısı	1941-2021	2.25	2.17	0.83	0.92	5.42	11.6
	2021	0	0	0	0	4	4
Aylık toplam yağış miktarı ortalaması (mm)	1941-2021	6.6	3.2	2.3	4.0	33.9	50.0
	2021	0.0	0.0	0.0	0.0	9.5	9.5
En yüksek sıcaklık (°C)	1941-2021	40.0	42.5	42.0	39.3	35.6	39.9
En düşük sıcaklık (°C)	1941-2021	0.6	11.8	12.8	8.0	-2.5	7.7

Araştırmanın yürütüldüğü deneme topraklarının bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 2'de verilmiştir. Çizelge 2 incelendiğinde, tatlı sorgum yetiştirilen topraklar killi tekstürlü, tuzsuz, hafif alkalın karakterde olup; kireç içeriği "orta kireçli", organik madde içerikleri "az", alınabilir fosfor (P) kapsamı "çok az" ve alınabilir potasyum (K) miktarı ise "yeterli" düzeydedir.

**Çizelge 2.** Araştırma yeri topraklarının bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri (0-20 cm)\***Table 2.** Some physical and chemical properties of research area soils (0-20 cm)\*

Toprak özelliği	Birim	Değeri
Su ile doygunluk	%	73.3
pH		8.37
Elektriksel iletkenlik	dS/m	0.680
Kireç	%	6.4
Organik madde	%	1.64
Alınabilir P	kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /da	2.0
Alınabilir K	kg K <sub>2</sub> O/da	69

\* Analizler, GAP Uluslararası Tarımsal Araştırma ve Eğitim Merkezi Müdürlüğü Toprak Analiz Laboratuvarı'nda yapılmıştır.

Araştırmada bitkisel materyal olarak; Gülşeker, Sorge, Erdurmuş, Ulusoy, Uzun, M81-E, Tracy, Cowley, Smith ve USDA Tayvan olmak üzere 10 adet tatlı sorgum [*S. bicolor* var. *saccharatum* (L.) Mohlenbr.] genotipi kullanılmıştır.

## Yöntem

### Tarla deneme tekniği ve uygulanan tarımsal işlemler

Deneme alanı ön bitkisi buğday olup, buğday hasadından sonra tarla pulluk ile derin sürülmüş, daha sonra diskaro ve tırmık çekilmek suretiyle ekime hazır hale getirilmiştir.

Araştırmada tarla denemesi, tesadüf blokları deneme desenine göre 3 tekrarlamalı olarak kurulmuştur. Parsellerde sıra arası mesafe 70 cm, sıra üzeri 15 cm olacak şekilde 4 sıra halinde ekim yapılmış olup, parsel boyu 4 m tutulmuştur. Buna göre parsel ebadı 2.8 m x 4 m= 11.2 m<sup>2</sup> olmuştur. Parseller arasında 70 cm, bloklar arasında ise 2 m mesafe bırakılmış olup, toplam deneme alanı 34.3 m x 16 m= 548.8 m<sup>2</sup>dir.

Ekimden önce, toprak analizi sonuçlarına göre (Çizelge 2), her parsele homojen miktarda olacak şekilde; 7 kg/da saf P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> hesabıyla fosforlu gübre (Triple süper fosfat, % 43-44 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)'nin tamamı ve



dekara 15 kg hesabıyla da azot (N)'lu gübre (Amonyum sülfat, % 21 N)'nin yarısı banda uygulanmıştır. Ekim işlemi; 22 Haziran 2021 tarihinde dekara 2-2.5 kg tohum hesabıyla (TTSM, 2010), ekim derinliği 2-3 cm (TTSM, 2010) olacak şekilde elle yapılmıştır. Bitkiler, 15-20 cm yüksekliğe ulaştığı dönemde (4 yapraklı olduğu dönem) birinci çapa ile birlikte tekleme ve aynı zamanda yabancı ot mücadelesi yapılmıştır. İkinci çapa ve boğaz doldurma, bitkiler 40-50 cm boylandığında, 6-8 yapraklı olduğu dönemde yapılmış; boğaz doldurma işleminden önce, azotun kalan diğer yarısı da uygulanmıştır. Daha sonraki dönemlerde, yabancı ot durumu göz önünde bulundurularak çapa ile yabancı otlar kontrol altına alınmıştır. İklim ve toprak şartlarına göre bitkinin kritik gelişme dönemlerinde (özellikle, çiçeklenme öncesi ve salkım çıkışı gibi) damla sulama yöntemiyle sulama yapılmıştır. Bitkilerin hasadı, her bir genotipin olgunlaşma süresi dikkate alınarak yapılmıştır. Parsellerin yarısının ot, diğer yarısının ise tane için değerlendirildiği çalışmada; yeşil ot verimi için tatlı sorgum başaklarındaki tanelerin hamur oluma ulaştığı dönemde (Chavan et al., 2009), tane verimi için ise tanelerin fizyolojik olgunlaşma devresinde (TTSM, 2010) biçimler gerçekleştirilmiştir. Hasat sırasında, parsel başlarından 50'şer cm'lik kısımlar ve parsel kenarlarından da birer sıra kenar tesiri olarak atılarak 10 cm anız yüksekliği kalacak şekilde ortadaki 2 sıra biçilmiştir. Tane verimi için hasat edilen salkımlar (başaklar) gölge bir yerde, 3-5 gün kurutulduktan sonra elle harmanlanarak, taneler çıkarılmıştır.

### İncelenen parametreler ve yöntemleri

Çalışmada, hasat sırasındaki gözlem ve bazı ölçümler, her parselin ortasındaki 2 sıradan tesadüfi olarak seçilen 10 bitki üzerinden yapılmıştır. Araştırmada; salkım çıkarma süresi, çiçeklenme gün sayısı, bitki boyu, sap kalınlığı, sap oranı, yaprak oranı, salkım oranı, yeşil ot verimi, sap verimi, kuru madde (KM) verimi, fizyolojik olgunlaşma süresi, yatma durumu [1-9 skalası: Yatma yok (1), %1-25 (3), %26-50 (5), %51-75 (7), %76-100 (9)], tane verimi ve bin tane ağırlığı değerleri TTSM (2010) ve Avcioglu (2018) tarafından bildirilen esaslar dâhilinde belirlenmiştir.

Kuru madde verimini tespit etmek amacıyla kurutulan ot örnekleri (tüm bitki aksamı), her parsel için ayrı ayrı öğütülmüş ve analizlere hazır hale getirilmiştir. Öğütülen örneklerin ham protein (HP), asit deterjanda çözünmeyen lif (ADF), nötral deterjanda çözünmeyen lif (NDF) oranları; Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü Laboratuvarı'nda, NIRS (Near Infrared Reflectance Spectroscopy-Yakın Kızıl Ötesi Yansıması Spektroskopisi) cihazı ile #IC-0904FE kalibrasyon seti (WinISI, 2022) kullanılarak belirlenmiştir (Brogna et al., 2009). Tatlı sorgum genotiplerine ait belirlenen HP oranı değerlerinin dekara KM verimleri ile çarpılması sonucu, dekara HP verimleri bulunmuştur.

Kaba yemin hayvan tarafından tüketim potansiyeli ile sağlayacağı enerji değerinin tahminine yönelik bir indeks olan nispi yem değeri (NYD), Rohweder et al. (1978) tarafından geliştirilen aşağıdaki eşitlikler yardımıyla belirlenmiştir. Bunun için öncelikle; Eşitlik 1 yardımıyla, sindirilebilir kuru madde (SKM, %); Eşitlik 2 ile kuru madde tüketimi (KMT, %) hesaplanmış; Eşitlik 3 yardımıyla da NYD saptanmıştır.

$$\text{SKM (\%)} = 88.9 - (0.779 \times \% \text{ ADF}) \quad (1)$$

$$\text{KMT (\%)} = 120 / \% \text{ NDF} \quad (2)$$

$$\text{NYD (\%)} = \% \text{ SKM} \times \% \text{ KMT} \times 0.775 \quad (3)$$

Tatlı sorgum genotiplerinin kuru otunda belirlenen HP, ADF, NDF ve NYD verilerine göre otun kalite sınıfının değerlendirilmesinde Rohweder et al. (1978) tarafından bildirilen sınıflandırma sistemi [(HP için: >%19= en üstün kaliteli, %17-19= çok iyi, %14-16= iyi, %11-13= orta, %8-10= kötü ve <%8= kabul edilemez), (ADF için: <%31= en üstün kaliteli, %31-35= çok iyi, %36-40= iyi, %41-42= orta, %43-45= kötü ve >%45= kabul edilemez), (NDF için: <%40= en üstün kaliteli, %40-46 çok iyi, %47-53= iyi, %54-60= orta, %61-65= kötü ve >%65= kabul edilemez), (NYD için: >151= en üstün kaliteli, 151-125= çok iyi, 124-103= iyi, 102-87= orta, 86-75= kötü ve <75= kabul edilemez)] kullanılmıştır.

## Verilerin değerlendirilmesi

Araştırmadan elde edilen verilerin varyans analizi, JMP paket programı kullanılarak tesadüf blokları deneme desenine göre yapılmış; ortalamalar arasındaki farklılıklar, TUKEY çoklu karşılaştırma testi ile belirlenmiştir (Açıkgöz & Açıkgöz, 2001). Çizelgelerde değerler ortalama  $\pm$  standart hata şeklinde verilmiştir.

## ARAŞTIRMA SONUÇLARI ve TARTIŞMA

### Bazı fenolojik ve morfolojik özellikler

Tatlı sorgum genotiplerine ait bazı fenolojik ve morfolojik parametrelere ait veriler Çizelge 3'te verilmiştir. Çizelge 3'te sonuçları verilen bu özellikler yönünden tatlı sorgum genotipleri arasındaki farklılık istatistiki açıdan  $p < 0.01$  düzeyinde önemli bulunmuştur.

### Salkım çıkarma süresi

Araştırmada ele alınan genotiplerden Sorge çeşidinin 56.0 gün ile en kısa sürede salkım çıkaran çeşit olduğu, M81-E ve Cowley çeşitlerinin ise 69.0 gün ile en uzun sürede salkım çıkaran çeşitler olduğu saptanmıştır (Çizelge 3). Salkım çıkarma süresi genotipik bir özellik olmakla birlikte, çevre şartlarından da etkilenebilmektedir (Sönmez, 2020). Benzer bulgular Avciöğlü (2018) ve Öktem vd. (2021a) tarafından da rapor edilmiştir.

### Çiçeklenme gün sayısı

Çiçeklenme süresinin en kısa olduğu genotip 64.0 gün ile Sorge ve Tracy çeşitleri olurken, en uzun çiçeklenme süresine sahip genotipler 79.0 gün ile M81-E ve Smith çeşitleri olmuştur (Çizelge 3). Tatlı sorgum çeşit ve hatları ile değişik ekolojilerde yapılan çalışmalarda, bu araştırma bulgularında olduğu gibi çiçeklenme gün sayısı yönünden genotipler arasında anlamlı farklılıkların olduğu, ürün sistemleri ve uygulanan bazı kültürel işlemlere göre genotiplerin çiçeklenme gün sayılarının 51.3-108.0 gün arasında değişkenlik gösterdiği rapor edilmiştir (Reddy et al., 2005; Girgin, 2012; Avciöğlü, 2018; Samarth et al., 2018; Kaplan, 2021; Öktem vd., 2021b). Çiçeklenme gün sayısı yönünden literatür ile oluşan farklılıklar, araştırmaların yürütüldüğü iklim (özellikle, sıcaklık ve yağış) ve toprak koşullarının farklılığı ile açıklanabilir.

**Çizelge 3.** Tatlı sorgum genotiplerinin bazı fenolojik ve morfolojik özelliklerine ait sonuçlar\*

**Table 3.** Results of some phenological and morphological characteristics of sweet sorghum genotypes\*

Genotipler	Salkım çıkarma süresi (gün)	Çiçeklenme gün sayısı (gün)	Bitki boyu (cm)	Sap kalınlığı (mm)	Sap oranı (%)	Yaprak oranı (%)	Salkım oranı (%)
Gülşeker	62.0 $\pm$ 0.00 <sup>b</sup>	74.0 $\pm$ 0.00 <sup>b</sup>	350.7 $\pm$ 1.30 <sup>a</sup>	28.43 $\pm$ 2.24 <sup>a</sup>	83.2 $\pm$ 0.51 <sup>a</sup>	10.5 $\pm$ 0.55 <sup>c</sup>	6.3 $\pm$ 0.40 <sup>c</sup>
Sorge	56.0 $\pm$ 0.00 <sup>c</sup>	64.0 $\pm$ 0.00 <sup>d</sup>	133.6 $\pm$ 7.97 <sup>c</sup>	19.22 $\pm$ 0.39 <sup>cd</sup>	80.5 $\pm$ 0.73 <sup>a</sup>	12.1 $\pm$ 1.39 <sup>bc</sup>	7.4 $\pm$ 0.22 <sup>bc</sup>
Erdurmuş	60.0 $\pm$ 1.00 <sup>bc</sup>	70.0 $\pm$ 0.00 <sup>c</sup>	316.9 $\pm$ 4.18 <sup>b</sup>	18.06 $\pm$ 0.39 <sup>cd</sup>	81.4 $\pm$ 0.99 <sup>a</sup>	12.3 $\pm$ 0.54 <sup>bc</sup>	6.3 $\pm$ 1.23 <sup>c</sup>
Ulusoy	61.7 $\pm$ 1.45 <sup>b</sup>	76.3 $\pm$ 0.67 <sup>ab</sup>	324.7 $\pm$ 2.66 <sup>b</sup>	16.38 $\pm$ 0.48 <sup>d</sup>	79.1 $\pm$ 0.24 <sup>a</sup>	14.7 $\pm$ 0.42 <sup>ab</sup>	6.2 $\pm$ 0.37 <sup>c</sup>
Uzun	58.0 $\pm$ 2.00 <sup>bc</sup>	76.0 $\pm$ 1.00 <sup>ab</sup>	325.4 $\pm$ 1.85 <sup>b</sup>	19.86 $\pm$ 0.96 <sup>cd</sup>	72.2 $\pm$ 1.75 <sup>b</sup>	16.0 $\pm$ 1.25 <sup>a</sup>	11.7 $\pm$ 1.78 <sup>a</sup>
M81-E	69.0 $\pm$ 0.00 <sup>a</sup>	79.0 $\pm$ 0.00 <sup>a</sup>	363.0 $\pm$ 1.96 <sup>a</sup>	21.66 $\pm$ 1.15 <sup>bc</sup>	78.6 $\pm$ 1.05 <sup>a</sup>	12.4 $\pm$ 1.26 <sup>bc</sup>	9.0 $\pm$ 0.57 <sup>b</sup>
Tracy	58.0 $\pm$ 2.00 <sup>bc</sup>	64.0 $\pm$ 0.00 <sup>d</sup>	327.7 $\pm$ 3.80 <sup>b</sup>	18.39 $\pm$ 0.43 <sup>cd</sup>	81.1 $\pm$ 0.55 <sup>a</sup>	11.3 $\pm$ 0.76 <sup>c</sup>	7.6 $\pm$ 0.20 <sup>bc</sup>
Cowley	69.0 $\pm$ 0.00 <sup>a</sup>	70.0 $\pm$ 0.00 <sup>c</sup>	320.5 $\pm$ 8.66 <sup>b</sup>	20.59 $\pm$ 0.29 <sup>cd</sup>	81.0 $\pm$ 1.00 <sup>a</sup>	11.7 $\pm$ 1.52 <sup>bc</sup>	7.3 $\pm$ 0.28 <sup>bc</sup>
Smith	62.0 $\pm$ 0.00 <sup>b</sup>	79.0 $\pm$ 0.00 <sup>a</sup>	315.6 $\pm$ 3.24 <sup>b</sup>	20.47 $\pm$ 0.15 <sup>cd</sup>	79.6 $\pm$ 0.66 <sup>a</sup>	12.0 $\pm$ 1.01 <sup>bc</sup>	8.4 $\pm$ 0.39 <sup>bc</sup>
USDA Tayvan	62.0 $\pm$ 0.00 <sup>b</sup>	74.7 $\pm$ 1.45 <sup>b</sup>	358.6 $\pm$ 2.54 <sup>a</sup>	25.48 $\pm$ 1.05 <sup>ab</sup>	79.7 $\pm$ 0.32 <sup>a</sup>	12.5 $\pm$ 0.25 <sup>bc</sup>	7.8 $\pm$ 0.32 <sup>bc</sup>
Ortalama	61.8 $\pm$ 0.81	72.7 $\pm$ 0.99	313.7 $\pm$ 11.62	20.86 $\pm$ 0.68	79.7 $\pm$ 0.57	12.6 $\pm$ 0.32	7.8 $\pm$ 0.31
F değeri	16.903**	82.772**	283.313**	14.552**	9.802**	7.271**	12.190**

\* Aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki farklılık istatistiki açıdan önemli değildir. \*\*  $p < 0.01$  hata sınırları içerisinde önemlidir.

### Bitki boyu

Araştırmada, en yüksek bitki boyu 363.0 cm ile M81-E çeşidinde elde edilirken, bunu istatistiki olarak aynı grupta yer alan USDA Tayvan (358.6 cm) ve Gülşeker (350.7 cm) genotipleri takip etmiştir.

Çalışmada, en düşük bitki boyu değeri ise ortalama 133.6 cm ile Sorge çeşidinde belirlenmiştir (Çizelge 3). Çeşitler arasındaki genetik farklılık ile genotip ve çevre interaksiyonunun, bitki boyunun değişkenlik göstermesinde etkili olduğu düşünülmektedir. Tatlı sorgum genotipleri ile yapılan bazı çalışmalarda (Avcıoğlu, 2018; Kaplan, 2021; Öktem vd., 2021b) da benzer bulgular elde edilmiştir.

Tatlı sorgum genotipleri ile ikinci ürün koşullarında yürütülen çalışmalarda bitki boyu değerlerinin, örneğin; Bornova'da azot dozlarına göre 198.1-225.7 cm (Girgin, 2012), Şanlıurfa'da 252.3-340.8 cm (Avcıoğlu, 2018), Çukurova'da M81-E çeşidinde farklı su düzeylerine göre 268.7-368.3 cm (Dündar vd., 2020), Diyarbakır'da 326.1-373.7 cm (Kaplan, 2021) arasında değişkenlik gösterdiği bildirilmiştir. Araştırmada ele alınan genotiplere ait bitki boyu değerlerinin, literatürdeki bu değişim aralığı sınırları içerisinde olduğu söylenebilir.

### **Sap kalınlığı**

Çalışmada, en kalın sap 28.43 mm ile Gülşeker çeşidinde tespit edilirken, bu çeşit ile USDA Tayvan genotipi (25.48 mm) arasındaki farklılık istatistiki açıdan önemsiz bulunmuştur. En düşük değer ise 16.38 mm sap kalınlığı ile Ulusoy çeşidinde saptanmıştır (Çizelge 3). Sap kalınlığı, kültürel uygulamalara bağlı olarak değişkenlik göstermekle birlikte, genel olarak bitkilerin genetik özelliğinin bir sonucu olarak şekillenmektedir (İptaş & Acar, 2003; Yılmaz vd., 2007). Tatlı sorgum ile yapılan çok sayıda çalışmalarda (Adıyaman vd., 2020; Öktem vd., 2021b; Yönter vd., 2022) da sap kalınlığının genotiplere göre değişkenlik gösterdiği ifade edilmiştir. Literatürde tatlı sorgum genotiplerinin sap çapı değerleri 19.15-28.83 mm arasında değişmiştir (Avcıoğlu, 2018; Adıyaman vd., 2020; Dündar vd., 2020; Kaplan, 2021; Öktem vd., 2021b).

### **Sap oranı**

Sap oranı yönünden anlamlı farklılık, Uzun çeşidi ile diğer genotipler arasında gerçekleşmiştir. Uzun çeşidinin sap oranı %72.2 ile en düşük olarak saptanırken, diğer tüm çeşitlerin sap oranı değerleri istatistiki açıdan birinci grubu oluşturmuş ve değerler %78.6-83.2 arasında değişkenlik göstermiştir (Çizelge 3). Sap oranı yönünden çeşitler arasındaki farklılığa; Avcıoğlu (2018), Öktem vd. (2021b) ve Yönter vd. (2022) tarafından da işaret edilmiştir. Sap oranı yüksek olduğunda, lignin ve selüloz gibi hücre duvarı bileşenlerinin oranı arttığından SKM miktarı azalmaktadır. Bu nedenle yem bitkilerinde kaba yem kalitesi açısından sap oranının düşük olması istenir (Budak & Budak, 2014; Öktem vd., 2021b). Gülşeker, Sorge, Erdurmuş, Tracy ve Cowley çeşitlerinin sap oranı değerleri araştırma ortalamasının üzerinde iken, diğer genotipler %79.7'ye eşit veya altında bulunmuştur (Çizelge 3).

### **Yaprak oranı**

Yapraklar önemli bir fotosentetik organ olup, yaprak oranı yem kalitesinin önemli göstergelerinden birisidir. Yaprakların saplara kıyasla kalitesi daha yüksektir (Budak & Budak, 2014); bu nedenle, yem kalitesi bakımından yaprak oranının yüksek olması istenmektedir (Öktem vd., 2021b). Araştırma sonucunda en yüksek yaprak oranı %16.0 ile Uzun çeşidinde belirlenirken, bunu %14.7 ile Ulusoy çeşidi takip etmiş; Tracy (%11.3) ve Gülşeker (%10.5) çeşitleri en düşük yaprak oranına sahip çeşitler olmuşlardır (Çizelge 3). Yaprak oranı yönünden çeşitler arasındaki değişkenlik diğer bazı araştırmalarda (Avcıoğlu, 2018; Öktem vd., 2021b; Yönter vd., 2022) da rapor edilmiştir. Bunun yanı sıra; Öktem vd. (2021b), araştırmaya konu olan örneğin M81-E çeşidinde yaprak oranını %13.1, Smith çeşidinde %11.3, Tracy çeşidinde %6.6 ve Gülşeker çeşidinde %9.2 olarak belirlemişlerdir. Tatlı sorgum genotipleri ile yapılan diğer araştırmalarda yaprak oranının %6.23-29.92 arasında değişim gösterdiği bildirilmiştir (Girgin, 2012; Avcıoğlu, 2018; Öktem vd., 2021b). Araştırmada elde edilen veriler, literatürdeki bu değişim aralığı içerisinde yer almaktadır.

### **Salkım oranı**

Araştırma sonucunda en yüksek salkım oranı %11.7 ile Uzun çeşidinde, en düşük salkım oranı ise Gülşeker (%6.3), Erdurmuş (%6.3) ve Ulusoy (%6.2) çeşitlerinde tespit edilmiştir (Çizelge 3). Salkım

oranının çeşitlere göre önemli oranda değişkenlik gösterdiği, sorgum türlerinde yapılan bazı araştırmalarda (Avcioğlu, 2018; Öktem vd., 2021b) da bildirilmiştir. Tatlı sorgum genotiplerinin salkım oranını; Avcioğlu (2018) %4.40-10.31 ve Öktem vd. (2021b) %1.70 (Gülşeker)-7.65 (M81-E) arasında tespit etmişlerdir. Araştırmada belirlenen salkım oranı değerlerinin önceki çalışmalarla benzerlik gösterdiği söylenebilir.

Salkım uzunluğu, salkım yan dal sayısı, salkımda tane sayısı ve salkımda tane ağırlığı gibi morfolojik yapılar salkım oranını etkileyen en önemli bileşenlerdir. Dolayısıyla adı geçen bu özelliklerin farklılığı, genotipler arasındaki salkım oranının değişkenlik göstermesinde etkili olmaktadır. Bunun yanı sıra, Öktem vd. (2021b) genellikle salkım şekli ve büyüklüğünün genotipik faktörlerden kaynaklandığını bildirmektedirler. Tanelerin protein, karbonhidrat ve mineral madde içeriği genellikle diğer bitki aksamalarına göre yüksek olduğundan, yem içerisinde salkım oranının ve buna bağlı olarak tane oranının yüksek olması yem kalitesi açısından istenilen bir durumdur (Öktem vd., 2021b).

### Ot ve tane verimi ile ilgili özellikler

Tatlı sorgum genotiplerine ait ot ve tane verimine ait bazı veriler Çizelge 4'te verilmiştir. Çizelge 4'teki özellikler yönünden tatlı sorgum genotipleri arasındaki farklılık istatistiki açıdan  $p < 0.01$  düzeyinde önemli bulunmuştur.

### Yeşil ot verimi

Kızıltepe Ovası ikinci ürün koşullarında, en yüksek yeşil ot verimi Gülşeker (12029 kg/da) çeşidinde belirlenirken; bu çeşit ile USDA Tayvan (10657 kg/da), M81-E (10437 kg/da) ve Cowley (9921 kg/da) genotiplerinin yeşil ot verimleri arasındaki farklılık istatistiki yönden önemsiz bulunmuştur. Çalışmada, en düşük yeşil ot verimi 2247 kg/da ile Sorge çeşidinden elde edilmiştir (Çizelge 4).

Yeşil ot verimine en etkili parametrelerin bitki boyu, sap kalınlığı ve sap oranı olduğu söylenebilir. Nitekim bu parametrelerin yüksek olduğu genotiplerden daha yüksek yeşil ot verimi elde edilmiştir. Özellikle Gülşeker çeşidinin her üç özellik yönünden de oldukça önde olduğu görülmüştür. Tatlı sorgum genotipleri arasındaki yeşil ot verimi farklılıklarının anlamlı olduğunu bildiren araştırmacılar, yeşil ot veriminin; Avcioğlu (2018) 9284-18401 kg/da, Adıyaman vd. (2020) 10633-16172 kg/da ve Öktem vd. (2021b) 7714-16381 kg/da arasında değişkenlik gösterdiğini rapor etmişlerdir. Araştırmadan elde edilen sonuçların literatürdeki bu verilerden farklılıkları; genotip, iklim ve toprak farklılıkları ile açıklanabilir.

**Çizelge 4.** Tatlı sorgum genotiplerinin verim ve bazı verim unsurlarına ait sonuçlar\*

**Table 4.** Results of yield and some yield components of sweet sorghum genotypes\*

Genotipler	Yeşil ot verimi (kg/da)	Sap verimi (kg/da)	Kuru madde verimi (kg/da)	Fizyolojik olgunlaşma süresi (gün)	Yatma durumu (1-9)	Tane verimi (kg/da)	Bin tane ağırlığı (g)
Gülşeker	12029±252 <sup>a</sup>	10009±205 <sup>a</sup>	3346.7±60.0 <sup>a</sup>	106.0±0.00 <sup>c</sup>	1.00±0.00 <sup>c</sup>	153.47±7.12 <sup>abc</sup>	24.08±0.36 <sup>abc</sup>
Sorge	2247±34 <sup>f</sup>	1809±30 <sup>e</sup>	572.4±17.3 <sup>d</sup>	96.0±0.00 <sup>d</sup>	1.00±0.00 <sup>c</sup>	88.89±8.10 <sup>d</sup>	16.50±1.38 <sup>e</sup>
Erdurmuş	4063±124 <sup>ef</sup>	3312±138 <sup>de</sup>	1370.4±58.9 <sup>c</sup>	104.0±1.00 <sup>c</sup>	1.00±0.00 <sup>c</sup>	118.96±30.08 <sup>cd</sup>	22.33±0.58 <sup>bc</sup>
Ulusoy	6905±138 <sup>cd</sup>	5464±103 <sup>c</sup>	2008.1±92.8 <sup>bc</sup>	119.7±2.03 <sup>ab</sup>	1.00±0.00 <sup>c</sup>	116.13±10.62 <sup>cd</sup>	16.83±0.08 <sup>de</sup>
Uzun	5437±379 <sup>cd</sup>	3925±272 <sup>cd</sup>	1780.3±297.3 <sup>c</sup>	116.0±0.00 <sup>b</sup>	2.33±0.67 <sup>bc</sup>	195.27±38.57 <sup>a</sup>	27.25±1.23 <sup>a</sup>
M81-E	10437±507 <sup>ab</sup>	8209±435 <sup>b</sup>	2799.1±118.7 <sup>a</sup>	120.0±0.00 <sup>ab</sup>	1.00±0.00 <sup>c</sup>	184.66±12.93 <sup>ab</sup>	26.50±1.38 <sup>a</sup>
Tracy	8968±884 <sup>bc</sup>	7262±663 <sup>b</sup>	2802.6±485.7 <sup>a</sup>	116.0±0.00 <sup>b</sup>	3.67±0.67 <sup>ab</sup>	149.95±5.61 <sup>abc</sup>	22.33±0.08 <sup>bc</sup>
Cowley	9921±678 <sup>ab</sup>	8033±521 <sup>b</sup>	2867.3±377.1 <sup>a</sup>	119.7±2.03 <sup>ab</sup>	5.00±0.00 <sup>a</sup>	138.44±26.48 <sup>bcd</sup>	20.58±0.30 <sup>cd</sup>
Smith	9762±238 <sup>b</sup>	7776±252 <sup>b</sup>	2700.3±70.5 <sup>ab</sup>	120.0±0.00 <sup>ab</sup>	1.67±0.67 <sup>c</sup>	182.97±16.71 <sup>ab</sup>	25.42±0.79 <sup>ab</sup>
USDA Tayvan	10657±215 <sup>ab</sup>	8495±156 <sup>ab</sup>	2812.5±106.8 <sup>a</sup>	123.0±0.00 <sup>a</sup>	1.00±0.00 <sup>c</sup>	174.54±0.47 <sup>ab</sup>	24.77±0.23 <sup>ab</sup>
Ortalama	8042±578	6429±477	2306.0±154.1	114.0±1.59	1.87±0.27	150.33±37.32	22.66±0.69
F değeri	52.487**	58.494**	38.529**	78.856**	13.827**	10.639**	25.127**

\* Aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki farklılık istatistiki açıdan önemli değildir. \*\*  $p < 0.01$  hata sınırları içerisinde önemlidir.

## Sap verimi

En yüksek sap verimi Gülşeker (10009 kg/da) çeşidinde belirlenirken, bu çeşit ile USDA Tayvan (8495 kg/da) genotipinin sap verimi arasındaki farklılık istatistiki yönden önemsiz bulunmuştur. Çalışmada, en düşük sap verimi 1809 kg/da ile Sorge çeşidinden elde edilmiştir (Çizelge 4). Araştırma bulgularına benzer şekilde sap verimi yönünden genotipler arasında önemli farklılıklar gözlemleyen; Avcioglu (2018) sap veriminin genotiplere göre 7440-13950 kg/da, Adıyaman vd. (2020) 9117-13413 kg/da ve Öktem vd. (2021a) 5763-14433 kg/da arasında değişim gösterdiğini rapor etmişlerdir. Ek olarak, tatlı sorgum sap verimlerini; Tsuchihashi & Goto (2004), Java-Endonezya şartlarında 4790 ile 6593 kg/da, Reddy et al. (2005) ve Chavan et al. (2009) Hindistan koşullarında sırasıyla 4100-5200 ve 2276-4485 kg/da, Geren vd. (2011) ve Girgin (2012) Ege Bölgesi ikinci ürün koşullarında sırasıyla 2150-2660 ve 2320-2626 kg/da arasında değiştiğini bildirmişlerdir. Literatürdeki bu sonuçlar ile araştırma verileri arasındaki farklılıklar, çeşit özelliği ile yetiştirilen bölgenin iklim ve toprak özelliklerinin farklılığı ile açıklanabilir.

## Kuru madde verimi

Araştırmada, en yüksek KM verimi istatistiki olarak aynı grupta yer alan; Gülşeker (3346.7 kg/da), Cowley (2867.3 kg/da), USDA Tayvan (2812.5 kg/da), Tracy (2802.6 kg/da) ve M81-E (2799.1 kg/da) genotiplerinde belirlenmiş olup, bu genotiplere ait KM verimi ile Smith (2700.3 kg/da) çeşidinin verimleri arasındaki farklılık istatistiksel açıdan önemsiz çıkmıştır. Çalışmada, en düşük KM verimi ise 572.4 kg/da ile yeşil ot veriminde olduğu gibi Sorge çeşidinden elde edilmiştir (Çizelge 4). Kuru madde verimi yönünden çeşitler arasındaki bu farklılık, genotiplerin iklim ve toprak şartlarına gösterdikleri uyum farklılığından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Tatlı darı ile yapılan bazı çalışmalarda da KM verimi yönünden çeşitler arasındaki anlamlı farklılıklara vurgu yapılmıştır (Avcioglu, 2018; Adıyaman vd., 2020; Öktem vd., 2021b; Yöner vd., 2022). Literatürdeki bu çalışmalarda, Şanlıurfa ikinci ürün koşullarında, KM verimini; Avcioglu (2018) UNL-hybrid-4 (8456.3 kg/da) çeşidinden, Adıyaman vd. (2020) ilk yıl en yüksek değerin 4529.7 kg/da ile Urja çeşidinden, ikinci yıl ise Theis (3989.9 kg/da), Top 76-6 (3827.8 kg/da), M81-E (3595.5 kg/da) ve Urja (3569.8 kg/da) çeşitlerinden elde etmişlerdir. Buna karşılık Kaplan (2021), KM verimi bakımından tatlı darı çeşitleri arasında önemli farklılıkların saptanmadığını, çeşitlerin KM verimlerinin 2698.6-3496.5 kg/da arasında değişkenlik gösterdiğini ve rakamsal olarak en yüksek miktarın No91 (USDA Tayvan) genotipinden elde edildiğini rapor etmiştir.

Genel olarak yeşil ot verimi ve bitki boyu yüksek olan, buna karşılık salkım oranı düşük olan genotiplerin KM verimlerinin de yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum; Gülşeker, M81-E ve USDA Tayvan genotiplerinde oldukça belirgin bir şekilde kendini göstermektedir. Tatlı darı çeşitleri ile farklı ekolojilerde yapılan çalışmalarda KM verimlerinin 763.0-8456.3 kg/da arasında değişim gösterdiği rapor edilmiştir (Girgin, 2012; Khaled, 2013; Hiroshi et al., 2015; Avcioglu, 2018; Geren vd., 2019; Adıyaman vd., 2020; Kaplan, 2021; Öktem vd., 2021b). Çalışmada elde edilen KM verimlerinin literatürde belirtilen bu değişim aralığı içerisinde olduğu görülmüştür. Kuru madde verimleri yönünden literatürdeki sonuçlardan farklılık ise, araştırmaların; farklı ekolojik koşullarda ve farklı genotiplerle yapılmış olması ile açıklanabilir.

## Fizyolojik olgunlaşma süresi

Çizelge 4'teki sonuçlar incelendiğinde; en kısa fizyolojik olgunlaşma süresi değeri 96.0 gün ile Sorge, en uzun fizyolojik olgunlaşma süresinin ise 123.0 gün ile USDA Tayvan genotipinde tespit edilmiştir. Fizyolojik olgunlaşma süresinin uzun olması, fotosentezin artışına bağlı olarak daha fazla KM ve besin maddelerinin bitkide birikmesine neden olmaktadır. Bu durum, özellikle tane verimini etkilemektedir.

Fizyolojik olgunlaşma süresi bakımından tatlı sorgum genotipleri arasında anlamlı farklılıkların tespit edildiği bazı çalışmalarda, fizyolojik olgunlaşma süresi örneğin; Şanlıurfa ikinci ürün koşullarında 94.25 ile 121.00 gün (Avcioglu, 2018) ve Harran Ovası ana ürün koşullarında 128 ile 168 gün (Öktem vd., 2021a)

arasında değişim göstermiştir. Çalışmada belirlenen tatlı sorgum genotiplerinin fizyolojik olgunlaşma sürelerinin, literatürdeki ikinci ürün koşullarında yapılan çalışmalarla uyumlu olduğu söylenebilir.

### **Yatma Durumu**

Yapılan gözlemlerde; Cowley çeşidinde fizyolojik olumdan sonra, parseldeki bitkilerin %26-50 arasında değişen oranlarda yatma görülmüştür. Tracy ve Uzun çeşitlerinde bu oranın %1-25 arasında değişkenlik gösterdiği, ele alınan diğer çeşitlerde ise yatma durumunun söz konusu olmadığı gözlemlenmiştir. Nitekim yapılan istatistiki analizlerde de anlamlı farklılık, Cowley, Tracy ve Uzun çeşitleri ile diğer genotipler arasında belirlenmiştir (Çizelge 4). Tatlı sorgum (Avcioğlu, 2018) ve sorgum türleri (Özge vd., 2022) ile yapılan bazı araştırmalarda da yatma durumu yönünden genotipler arasındaki önemli farklılıklara vurgu yapılmıştır. Kaba yem amacıyla değerlendirilebilecek bitkilerde yatma, genel olarak istenmeyen bir durumdur. Yatma, besin maddeleri ve suyun bitkiler tarafından kullanımını etkilemekte; yem bitkilerinde önemli oranda verim ve kalite kayıplarına yol açabilmektedir. Yatma, aynı zamanda; tanesi de değerlendirilen ürünlerde önemli oranda tane kayıplarına da yol açmaktadır.

### **Tane verimi**

Kızıltepe Ovası ikinci ürün koşullarında en yüksek tane verimi 195.27 kg/da ile Uzun çeşidinde belirlenirken; bu çeşit ile M81-E (184.66 kg/da), Smith (182.97 kg/da), USDA Tayvan (174.54 kg/da), Gülşeker (153.47 kg/da) ve Tracy (149.95 kg/da) genotipleri arasındaki farklılık istatistiki olarak önemsiz bulunmuştur. Çalışmada, en düşük tane verimi ise 88.89 kg/da ile Sorge çeşidinden elde edilmiştir (Çizelge 4). Tane verimi yönünden genotipler arasındaki bu farklılık; genetik faktörler yanında, genotiplerin iklim ve toprak şartlarına gösterdikleri uyum farklılığından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Salkım oranı (Çizelge 3) yüksek olan genotiplerin, genel olarak tane verimlerinin de yüksek olduğu görülmüştür. İncelenen genotipler arasında tane verimi yönünden büyük varyasyon görülmemesine rağmen, Sorge gibi bazı çeşitlerin salkımlarının ve tane boyutlarının küçük olması nedeniyle düşük tane verimleri elde edilmiştir (Çizelge 4).

Şanlıurfa ikinci ürün koşullarında Avcioğlu (2018), araştırma bulgularına benzer şekilde tane verimi yönünden çeşitler arasındaki önemli farklılığa vurgu yapmış; çeşitlerin tane verimlerinin 110.50-494.03 kg/da arasında değişkenlik gösterdiğini rapor etmiştir. Endonezya (Tsuchihashi & Goto, 2004), Hindistan (Reddy et al., 2005) ve Çin (Zhao et al., 2009)'de yapılan araştırmalarda tatlı sorgum çeşitlerinde tane verimlerinin 20-650 kg/da arasında değişim gösterdiği tespit edilmiştir. Araştırmada, tane verimi yönünden elde edilen değerlerin önceki çalışmalarda belirlenen değerlerle benzerlik gösterdiği söylenebilir.

### **Bin tane ağırlığı**

En yüksek bin tane ağırlığı, Uzun (27.25 g) ve M81-E (26.50 g) çeşitlerinde saptanmış olup; bu çeşitler ile Smith (25.42 g), USDA Tayvan (24.77 g) ve Gülşeker (24.08 g) genotipleri arasındaki farklılık istatistiki olarak önemsiz bulunmuştur. Çalışmada, en düşük bin tane ağırlığı ise 16.50 g ile Sorge çeşidinde saptanmıştır (Çizelge 4). Tatlı sorgum ve diğer sorgum türlerinde bin tane ağırlığı değerlerinin genotiplere göre değişkenlik gösterdiği bazı araştırmalarda (Öktem vd., 2021a; Özge vd., 2022) da bildirilmiştir. Tatlı sorgum bitkisiyle yapılan çalışmalarda bin tane ağırlığının 15.41-93.40 g arasında değişkenlik gösterdiği rapor edilmiştir (Tsuchihashi & Goto, 2004; Girgin, 2012; Samarth et al., 2018; Öktem vd., 2021a). Araştırmada tespit edilen bin tane ağırlığı değerleri literatürdeki bu değişim aralığı içerisinde yer almaktadır.

### **Ot kalitesi ile ilgili bazı özellikler**

Tatlı sorgum genotiplerinin kuru maddesinde belirlenen ortalama HP, ADF ve NDF oranları ile otun HP verimi ve NYD sonuçları Çizelge 5'te sunulmuştur. Çizelge 5'teki özellikler yönünden tatlı sorgum genotipleri arasındaki farklılık istatistiki açıdan  $p < 0.01$  düzeyinde önemli bulunmuştur.

### Ham protein oranı

En yüksek HP oranı, istatistiki olarak birinci grupta yer alan Gülşeker (%13.81) ve Uzun (%13.67) çeşitlerinde belirlenmiş; bu değerleri, %12.56 ile Erdurmuş ve %12.50 ile Ulusoy çeşitleri takip etmiştir. En düşük HP oranı ise %11.27-11.95 arasında değişen HP oranlarına sahip olan Sorge, M81-E, Tracy, Cowley, Smith ve USDA Tayvan genotiplerinde tespit edilmiştir (Çizelge 5). Genotipler arasındaki bu farklılığın, genetik özelliklerinin farklı olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Ham protein oranı yönünden, tatlı sorgum (Yücel vd., 2017; Geren vd., 2019; Oktem et al., 2021) ve diğer sorgum türleri (Bilen & Türk, 2021; Uygur Göçer & Karadağ, 2022) ile yapılan çalışmalarda da çeşitleri arasındaki anlamlı farklılıklar rapor edilmiştir. Oktem et al. (2021), Şanlıurfa ikinci ürün koşullarında, iki yıllık ortalama sonuçlara göre, tatlı sorgum genotiplerinin HP oranlarının %4.20 (Tracy)-5.90 arasında değiştiğini; Cowley, M81-E, Smith, USDA Tayvan ve Gülşeker genotiplerinin HP oranlarının sırasıyla %4.37, %4.87, %4.25, %5.00 ve %5.58 olduğunu bildirmişlerdir. Araştırmada belirlenen HP oranı değerlerinin Oktem et al. (2021)'nin verilerinden yüksek olduğu görülmüştür. Bu durumun, uygulanan kültürel işlemler ile analiz yönteminin farklılığından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Yem kalitesini karakterize eden önemli kriterlerden birisi de HP oranı olup (Budaklı Carpıcı & Celık, 2014; Hu et al., 2021); Meen (2001), HP oranının yemin sindirilebilirliği üzerine etkisi olduğunu, genel olarak ruminantların ihtiyaçlarını karşılamak için yem rasyonlarında HP içeriğinin en az %7 düzeyinde olması gerektiğini vurgulamıştır. Araştırmada incelenen tatlı sorgum genotiplerinin HP içeriklerinin literatürde belirtilen bu sınır değerinin üzerinde olduğu; Rohweder et al. (1978) tarafından yapılan sınıflandırmaya göre de, HP yönünden tatlı sorgum kuru otunun "orta" kalitede ota sahip olduğu söylenebilir.

**Çizelge 5.** Tatlı sorgum genotiplerinin ot kalitesi ile ilgili sonuçlar\*

**Table 5.** Results on forage quality of sweet sorghum genotypes\*

Genotipler	HP oranı (%)	HP verimi (kg/da)	ADF oranı (%)	NDF oranı (%)	NYD
Gülşeker	13.81±0.05 <sup>a</sup>	462.1±5.60 <sup>a</sup>	29.49±0.55 <sup>bc</sup>	57.18±0.27 <sup>c</sup>	107.2±0.39 <sup>bc</sup>
Sorge	11.30±0.48 <sup>b</sup>	64.7±5.38 <sup>f</sup>	35.65±1.04 <sup>a</sup>	65.61±1.35 <sup>a</sup>	86.7±2.50 <sup>g</sup>
Erdurmuş	12.56±0.12 <sup>ab</sup>	172.0±6.51 <sup>e</sup>	30.51±2.85 <sup>bc</sup>	52.53±0.68 <sup>d</sup>	115.3±1.96 <sup>ab</sup>
Ulusoy	12.50±0.35 <sup>ab</sup>	250.7±9.17 <sup>cde</sup>	34.39±1.38 <sup>a</sup>	61.86±0.43 <sup>ab</sup>	93.4±1.51 <sup>fg</sup>
Uzun	13.67±0.03 <sup>a</sup>	243.5±41.58 <sup>de</sup>	32.16±0.69 <sup>ab</sup>	58.12±1.05 <sup>bc</sup>	102.2±1.38 <sup>cde</sup>
M81-E	11.72±0.25 <sup>b</sup>	327.6±2.78 <sup>bc</sup>	30.43±0.31 <sup>bc</sup>	57.82±0.56 <sup>c</sup>	104.9±1.11 <sup>cde</sup>
Tracy	11.41±0.26 <sup>b</sup>	320.0±59.50 <sup>bcd</sup>	32.45±0.77 <sup>ab</sup>	60.59±0.97 <sup>bc</sup>	97.7±1.79 <sup>def</sup>
Cowley	11.68±0.26 <sup>b</sup>	334.4±39.55 <sup>b</sup>	32.76±1.46 <sup>ab</sup>	60.66±0.39 <sup>bc</sup>	97.2±1.63 <sup>ef</sup>
Smith	11.27±0.11 <sup>b</sup>	304.2±2.84 <sup>bcd</sup>	27.69±0.37 <sup>c</sup>	51.45±0.28 <sup>d</sup>	121.7±0.42 <sup>a</sup>
USDA Tayvan	11.95±0.18 <sup>b</sup>	336.2±19.00 <sup>b</sup>	30.20±0.67 <sup>bc</sup>	57.52±0.84 <sup>c</sup>	105.8±2.01 <sup>cd</sup>
Ortalama	12.19±0.18	281.6±19.38	31.57±2.51	58.34±0.83	103.2±10.18
F değeri	12.856**	42.492**	10.038**	28.724**	37.648**

\* Aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki farklılık istatistiki açıdan önemli değildir. \*\* p<0.01 hata sınırları içerisinde önemlidir.

### Ham protein verimi

Çalışmada, en yüksek HP verimi 462.1 kg/da ile Gülşeker çeşidinde, en düşük HP verimi ise 64.7 kg/da ile Sorge çeşidinde elde edilmiştir (Çizelge 5). Kuru madde verimi ile HP oranının birlikte değerlendirilmesinin doğal bir sonucu olarak, yüksek KM verimi elde edilen genotiplerde genel olarak HP verimi de yüksek olmuştur. Sorgum türleri ile yapılan bazı çalışmalarda (Özmen, 2017; Bilen & Türk, 2021) da HP verimi yönünden çeşitler arasında anlamlı farklılıkların olduğu rapor edilmiştir.

### Asit deterjanda çözünmeyen lif oranı

En yüksek ADF oranı, istatistiki olarak birinci grupta yer alan Sorge (%35.65) ve Ulusoy (%34.39) çeşitlerinde belirlenmiş; bu değerleri, %32.76 ile Cowley, %32.45 ile Tracy ve %32.16 ile Uzun çeşitleri

takip etmiştir. En düşük ADF oranı ise %27.69 ile Smith çeşidinde tespit edilmiştir (Çizelge 5). Tatlı sorgum genotipleri ile yapılan bazı çalışmalarda (Yücel vd., 2017; Geren vd., 2019; Oktem et al., 2021; Öktem vd., 2021b) da, araştırma bulgularına benzer şekilde ADF oranı yönünden genotipler arasında anlamlı farklılıklar tespit edilmiştir. Genotiplere bağlı olarak, ADF oranının; tatlı sorgum silajlarında Yücel vd. (2017) %29.91-43.94, Geren vd. (2019) %31.9-37.9 ve Kaplan (2021) %29.96-39.05, tatlı sorgum kuru otunda ise Oktem et al. (2021) %27.84-36.30 ve Öktem vd. (2021b) %27.09-34.76 arasında değiştiğini bildirmişlerdir. Araştırmada saptanan ADF oranlarının literatürdeki değişim sınırları içerisinde olduğu görülmüştür. Bitkilerin yapısal karbonhidratlar içerisinde yer alan, selüloz ve ligninden oluşan ADF oranı (Carlier et al., 2009), kaba yemlerde toplam sindirilebilir besin maddelerinin iyi bir göstergesi olup (Gürsoy & Macit, 2014); kaba yemlerde, ADF oranının düşük olması istenir (Van Soest, 1994; Stokes & Prostko, 1998). ADF içeriği yönünden tatlı sorgum genotiplerinin yem kalitesi değerlendirildiğinde, genotiplerin “en üstün kaliteli” ve “çok iyi” kalite standartlarında değişen yem ürettiği belirlenmiştir.

### **Nötral deterjanda çözünmeyen lif oranı**

En düşük NDF oranı, istatistiki olarak aynı grupta yer alan Smith (%51.45) ve Erdurmuş (%52.53) çeşitlerinde belirlenmiş; bu değerleri, %57.18 ile Gülşeker, %57.52 ile USDA Tayvan ve %57.82 ile M81-E genotipleri takip etmiştir. En yüksek NDF oranı ise %65.61 ile Sorge çeşidinde tespit edilmiştir (Çizelge 5). Yemlerin NDF konsantrasyonu üzerine, yetiştirildiği ortamın ekolojisi, uygulanan kültürel işlemler, tür ve çeşit farklılığı etkili olmaktadır. Tatlı sorgum genotipleri ile yapılan bazı çalışmalarda (Yücel vd., 2017; Kaplan, 2021; Oktem et al., 2021; Öktem vd., 2021b) da, araştırma bulgularına benzer şekilde NDF oranı yönünden genotipler arasında önemli farklılıklar tespit edilmiştir. Genotiplere bağlı olarak, NDF oranının; tatlı sorgum silajlarında Yücel vd. (2017) %41.62-62.47 ve Kaplan (2021) %47.23-59.33, tatlı sorgum kuru otunda ise Oktem et al. (2021) %43.11-56.49 ve Öktem vd. (2021b) %43.68-55.35 arasında değiştiğini bildirmişlerdir. Araştırmada saptanan NDF oranı değerlerinin literatürdeki bu değerlerin bir miktar üzerinde olduğu görülmüştür. Mevcut çalışma ile önceki çalışmalar arasındaki bu farklılıklar üzerinde; çevresel faktörler, biçim zamanı, bitki çeşidi, analiz yöntemi gibi faktörlerin etkili olduğu düşünülmektedir. Bitki hücre duvarının en önemli yapısal bileşeni olan ve selüloz, hemiselüloz ve ligninden oluşan NDF (Lee et al., 2017; Skamarokhova et al., 2020), geniş getiren hayvanların yemi tüketimi ile ilişkili olup (Budak & Budak, 2014; Lemaire & Belanger, 2019), NDF oranının da kaba yemlerde düşük olması istenir. Yem kalite standardı dikkate alındığında, NDF içeriği yönünden tatlı sorgum genotiplerinin “iyi”, “orta” ve “kötü” kalite standartlarında değişen yem ürettiği belirlenmiştir.

### **Nispi yem değeri**

Nispi yem değeri yönünden genotipler arasındaki değişim incelendiğinde; en yüksek NYD 121.7 ile Smith çeşidinde, en düşük NYD ise 86.7 ile Sorge çeşidinde tespit edilmiştir (Çizelge 5). Genotiplerin ADF ve NDF oranı yönünden farklılık göstermesi, doğal olarak NYD sonuçlarını da aynı yönde etkilemiştir. Tatlı sorgum (Yücel vd., 2017; Kaplan, 2021; Oktem et al., 2021) ve diğer sorgum türleri ile (Tekin, 2018; Bilen & Türk, 2021; Wahyono et al., 2021; Khalilian et al., 2022) yapılan bazı çalışmalarda da NYD yönünden genotipler arasındaki anlamlı değişkenlikler ortaya konmuştur. Amerika Birleşik Devletleri’nde yonca bitkisinde kalite kontrolü için geliştirilen NYD indeksi sınıflaması, günümüzde kaba yemlerin pazarlanması ve kalitesinin belirlenmesinde bütün yem bitkileri için kullanılan önemli bir rehberdir (Gürsoy & Macit, 2017; Kesen & Geren, 2020). Rohweder et al. (1978) tarafından bildirilen bu skalaya göre, NYD yönünden, tatlı sorgumdan elde edilen yemlerin “kötü” ve “iyi” kalite sınıfında değişen yem grubuna girdiği anlaşılmaktadır.

## **SONUÇ ve ÖNERİLER**

Tatlı sorgum bitkisi, yüksek verimli kaliteli bir yeşil yem bitkisi olarak, ikinci ürün koşullarında yetiştirilmek suretiyle yarı kurak iklime sahip Kızıltepe Ovası bitkisel üretim deseni içerisine dâhil edilebilir. Yörede, özellikle sezon dışı veya hayvan yeminin kıt olduğu dönemde genotiplerin yüksek besleyici



potansiyelleri nedeniyle, kuraklığa dayanıklı olan tatlı sorgumun ekimi teşvik edilmelidir. Bu itibarla; ot üretimi amacıyla birçok tarımsal özellikler yönünden öne çıkan Gülşeker ve USDA Tayvan genotipleri, tane üretimi amacıyla da Uzun çeşidi yöre koşullarında ekilebilecek genotipler olarak tavsiye edilebilir.

### **Veri Kullanılabilirliği**

Çalışma ile ilgili tüm veriler makalenin içindedir.

### **Yazar Katkıları**

Çalışmanın konsepti ve tasarımı; MAÖ, verilerin elde edilmesi; MG, verilerin analizi ve yorumlanması; MG, MAÖ, istatistiksel analiz; MAÖ, görselleştirme; MG, MAÖ, makalenin yazımı; MAÖ, makalenin eleştirel olarak gözden geçirilmesi ve revize edilmesi; MAÖ, makalenin yayınlanacak versiyonunun onaylanması; MG, MAÖ.

### **Çıkar Çatışması**

Bu çalışmada yazarlar arasında çıkar çatışması bulunmamaktadır.

### **Etik Beyan**

Bu araştırma için etik kurula ihtiyaç olmadığını beyan ederiz.

### **Finansal Destek**

Bu çalışma Siirt Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından finansal olarak desteklenmiştir (BAP, Proje No; 2022-SİÜFEB-003). Yazarlar finansal destek için teşekkür eder.

### **Makale Açıklaması**

Bu makale Konu Editörü Prof. Dr. Fatma AYKUT TONK tarafından düzenlenmiştir.

## **KAYNAKLAR**

- Acikbas, S. & M.A. Ozyazici, 2019. Buğday samanının yem değerinin belirlenmesi: Türkiye, Siirt ili örneği. *International Journal of Scientific and Technological Research*, 5 (12): 238-243.
- Açıkgöz, N. & N. Açıkgöz, 2001. Tarımsal araştırmaların istatistiki değerlendirilmesinde yapılan bazı hatalar: I. tek faktörlü denemeler. *Anadolu*, 11 (1): 135-147.
- Adıyaman, C., E. Erbil, A. Efendioğlu Çelik, H. Hatipoğlu, M. Aksoy, M. Acar & M. Dok, 2020. İkinci ürün tatlı sorgum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]'un Şanlıurfa koşullarında bazı tarımsal ve teknolojik özelliklerinin belirlenmesi. *İğdir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 10 (4): 3084-3094.
- Almodares, A. & D.S.M. Mostafafi, 2006. Effects of planting date and time of nitrogen application on yield and sugar content of sweet sorghum. *Journal of Environmental Biology*, 27: 601-605.
- Almodares, A. & M.R. Hadi, 2009. Production of bioethanol from sweet sorghum: a review. *African Journal of Agricultural Research*, 4 (9): 772-780.
- Almodares, A., M.R. Hadi & H. Ahmadpour, 2008b. Sorghum stem yield and soluble carbohydrates under phenological stages and salinity levels. *African Journal of Biotechnology*, 7: 4051-4055.
- Almodares, A., R. Taheri & S. Adeli, 2008a. Categorization of sweet sorghum cultivars and lines as sweet, dual purpose and grain sorghum. *Journal of Tropical Agriculture*, 46: 62-63.
- Almodares, A., R. Taheri & S. Adeli, 2008c. Stalk yield and carbohydrate composition of sweet sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] cultivars and lines at different growth stages. *Malaysian Applied Biology*, 37 (1): 31-36.
- Anglani, C., 1998. Sorghum carbohydrates-a review. *Plant Foods for Human Nutrition*, 52: 77-83.
- Avcıoğlu, E., 2018. Harran Ovası Koşullarında Bazı Tatlı Sorgum (*Sorghum bicolor* var. *saccharatum* (L.) Mohlenbr.) Genotiplerinin Verim ve Verim Öğelerinin Belirlenmesi. Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Şanlıurfa, 60 s.

- Barbanti, L., S. Grandi, A. Vecchi & G. Venturi, 2006. Sweet and fibre sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), energy crops in the frame of environmental protection from excessive nitrogen loads. *European Journal of Agronomy*, 25: 30-39.
- Bilen, Y. & M. Türk, 2021. Banaz şartlarında ikinci ürün sorgum-sudanotu melezlerinin yetiştirilmesi olanakları üzerine bir araştırma. *Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 16 (1): 46-51.
- Brogna, N., M.T. Pacchioli, A. Immovilli, F. Ruozzi, R. Ward & A. Formigoni, 2009. The use of near-infrared reflectance spectroscopy (NIRS) in the prediction of chemical composition and in vitro neutral detergent fiber (NDF) digestibility of Italian alfalfa hay. *Italian Journal of Animal Science*, 8 (Suppl. 2): 271-273.
- Budak, F. & F. Budak, 2014. Yem bitkilerinde kalite ve yem bitkileri kalitesini etkileyen faktörler. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, 1: 1-6.
- Budaklı Carpıcı, E. & N. Celik, 2014. Forage yield and quality of common vetch mixtures with triticale and annual ryegrass. *Turkish Journal of Field Crops*, 19 (1): 66-69.
- Carlier, L., C. Van Waes, I. Rotar, M. Vlahova & R. Vidican, 2009. Forage quality evaluation. *Bulletin UASVM Agriculture*, 66 (1): 216-230.
- Çelik, M.A. & M.E. Sönmez, 2013. Kızıltepe ilçesinin tarımsal yapısındaki değişimlerin Modis NDVI verileri kullanılarak izlenmesi ve incelenmesi. *Marmara Coğrafya Dergisi*, 27: 262-281.
- Chavan, U.D., J.V. Patil & M.S. Shinde, 2009. An assessment of sweet sorghum cultivars for ethanol production. *Sugar Technology*, 11 (4): 319-323.
- Dündar, M., C. Yücel, M. Ünlü & A. Oluk, 2020. Çukurova koşullarında farklı su düzeylerinin tatlı sorgumun biyokütle verimine ve yem kalitesine etkileri. *Derim*, 37 (1): 86-94.
- Farrant, J.M. & H. Hilhorst, 2022. Crops for dry environments. *Current Opinion in Biotechnology*, 74: 84-91.
- Fazaeli, H., H.A. Golmohammadi, A. Almodares, S. Mosharraf & A. Shaei, 2006. Comparing the performance of sorghum silage with maize silage in feedlot calves. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 9: 2450-2455.
- Geren, H., B. Kır & Y.T. Kavut, 2019. Farklı biçim zamanlarının tatlı darı (*Sorghum bicolor* var. *saccharatum*) çeşitleri üzerinde verim ve bazı yem kalite unsurlarına etkisi. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 56 (2): 249-55.
- Geren, H., R. Avcıoğlu, Y.T. Kavut, Ç. Sakinoğlu Oruç & H. Öztarhan, 2011. "İkinci ürün olarak yetiştirilen şeker darısının (*Sorghum bicolor* (L.) Moench var. *saccharatum*) verim ve verimle ilgili diğer bazı özellikleri üzerinde bir ön araştırma, 525-530". Türkiye IV. Tohumculuk Kongresi (14-17 Haziran 2011, Samsun) Bildirileri.
- Girgin, V.Ç., 2012. Bornova Koşullarında İkinci Ürün Olarak Yetiştirilen Tatlı Sorgum (*Sorghum bicolor* L.)'da Farklı Azot Dozlarının Bazı Tarımsal ve Teknolojik Özelliklere Etkisi Üzerinde Araştırmalar. *Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Bornova-İzmir*, 42 s.
- Gnansounou, E., A. Dauriat & C.E. Wyman, 2005. Refining sweet sorghum to ethanol and sugar: economic tradeoffs in the context of north China. *Bioresource Technology*, 96 (9): 985-1002.
- Gürsoy, E. & M. Macit, 2014. Erzurum ili meralarında doğal olarak yetişen bazı buğdaygil yem bitkilerinin in vitro gaz üretim değerlerinin belirlenmesi. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 24 (3): 218-227.
- Gürsoy, E. & M. Macit, 2017. Erzurum ili çayır ve meralarında doğal olarak yetişen bazı buğdaygil yem bitkilerinin nispi yem değerleri bakımından karşılaştırılması. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 27 (3): 309-317.
- Hiroshi, U., W. Takeshi, R. Karri, L.S. Kanwar, M. Subramanian, P.W. Suhas & I. Osamu, 2015. Dynamics of fertilizer nitrogen applied to sweet sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) in the semi-arid tropics. *Japan Agricultural Research Quarterly*, 49 (4): 409-418.
- Hu, Y., S. Kang, R. Ding & Q. Zhao, 2021. A crude protein and fiber model of alfalfa incorporating growth age under water and salt stress. *Agricultural Water Management*, 255: 107037.
- İptaş, S. & A.A. Acar, 2003. "Silajlık mısırdaki genotip ve sıra aralığının verim ve bazı agronomik özelliklere etkisi, 458-462". Türkiye V. Tarla Bitkileri Kongresi (13-17 Ekim 2003, Diyarbakır) Bildirileri.
- Kaplan, S., 2021. Diyarbakır Koşullarında Farklı Tatlı Sorgum Çeşitlerinin Biyokütle Verimi ve Silaj Kalite Özelliklerinin Saptanması. *Şırnak Üniversitesi Lisansüstü Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Şırnak*, 56 s.
- Kesen, Z. & H. Geren, 2020. Farklı biçim sıklıklarının dallı darı (*Panicum virgatum*)'da kuru madde verimi ve bazı yem kalite özelliklerine etkisi. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 57 (1): 95-103.

- Khaled, M., 2013. Effect of different nitrogen levels on growth, productivity and bioethanol production of sweet sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) genotypes. *Seed and Plant Production Journal*, 29 (4): 539-551.
- Khalilian, M.E., D. Habibi, F. Golzardi, F. Aghayari & A. Khazaei, 2022. Effect of maturity stage on yield, morphological characteristics, and feed value of sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] cultivars. *Cereal Research Communications*, 50: 1095-1104.
- Lee, M.A., A.P. Davis, M.G. Chagunda & P. Manning, 2017. Forage quality declines with rising temperatures, with implications for livestock production and methane emissions. *Biogeosciences*, 14 (6): 1403-1417.
- Lemaire, G. & G. Belanger, 2019. Allometries in plants as drivers of forage nutritive value: a review. *Agriculture*, 10 (1): 5.
- Meen, A., 2001. Forage quality on the Arizona strip. *Rangelands*, 23 (1): 7-12.
- Meki, M.N., J.L. Snider, J.R. Kiniry, R.L. Raper & A.C. Rocateli, 2013. Energy sorghum biomass harvest thresholds and tillage effects on soil organic carbon and bulk density. *Industrial Crops and Products*, 43: 172-182.
- MGM, 2023. İllerimize ait genel istatistik verileri, Mardin. (Web sayfası: <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=A&m=MARDIN>) (Erişim tarihi: Ocak 2023).
- Mishra, J.S., R. Kumar & S.S. Rao, 2017. Performance of sweet sorghum (*Sorghum bicolor*) cultivars as a source of green fodder under varying levels of nitrogen in semi-arid tropical India. *Sugar Technology*, 19 (5): 532-538.
- MKTM, 2023. Coğrafya. (Web sayfası: <https://mardin.ktb.gov.tr/TR-56481/cografya.html>) (Erişim tarihi: Ocak 2023).
- Murray, S.C., W.L. Rooney, S.E. Mitchell, A. Sharma, P.E. Klein, J.E. Mullet & S. Kresovich, 2008. Genetic improvement of sorghum as a biofuel feedstock: II. QTL for stem and leaf structural carbohydrates. *Crop Science*, 48: 2180-2193.
- Öktem, A., A.G. Öktem & D. Demir, 2021b. Geç olum süresine sahip bazı tatlı sorgum (*Sorghum bicolor* var. *saccharatum* (L.) Mohlenbr.) genotiplerinin biyokütle verimi ve yem kalitesinin belirlenmesi. *Uluslararası Tarım ve Yaban Hayatı Bilimleri Dergisi*, 7 (2): 315-325.
- Oktem, A., C. Yücel & A.G. Oktem, 2021. Assesment of biochemical forage quality of sweet sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench ssp. *saccharatum*]. *Asian Journal of Chemical Sciences*, 9 (3): 1-9.
- Öktem, A., D. Demir & A.G. Öktem, 2021a. Geç olgunlaşma süresine sahip bazı tatlı sorgum (*Sorghum bicolor* var. *saccharatum* (L.) Mohlenbr.) genotiplerinin tane verimi ve biyoyakıt öğelerinin belirlenmesi. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 36 (3): 488-500.
- Özge, A., C. Yücel & T. Taş, 2022. GAP koşullarında bazı tane sorgum genotiplerinin verim potansiyellerinin saptanması. *ISPEC Tarım Bilimleri Dergisi*, 6 (4): 708-718.
- Özmen, S., 2017. Bingöl Koşullarında Farklı Sorgum Türlerinin Ot Verimi ve Kalite Özelliklerinin Belirlenmesi. Bingöl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (Basılmamış) Yüksek Lisans Tezi, Bingöl, 64 s.
- Pinnamaneni, S.R., A.K.G. Somanna, P. Ramu, J.K.P. Vanamala & R.K. Srivastava, 2022. Assessment of phenotypic and genotypic diversity in elite temperate and tropical sweet sorghum cultivars. *Sugar Technology*, 24 (6): 1670-1679.
- Reddy, B.V.S., S. Ramesh, P.S. Reddy, B. Ramaiah, P.M. Salimath & R. Kachapur, 2005. Sweet sorghum-a potential alternate raw material for bio-ethanol and bio-energy. *International Sorghum and Millets Newsletter*, 46: 79-86.
- Rohweder, D.A., R.F. Barnes & N. Jorgensen, 1978. Proposed hay grading standards based on laboratory analyses for evaluating quality. *Journal of Animal Science*, 47 (3): 747-759.
- Rutto, L.K., Y. Xu, M. Brandt, S. Ren & M.K. Kering, 2013. Juice, ethanol, and grain yield potential of five sweet sorghum (*Sorghum bicolor* [L.] Moench) cultivars. *Journal of Sustainable Bioenergy Systems*, 3: 113-118.
- Samarth, A.G., D.R. More & I. Hashmg, 2018. Studies on physico-chemical properties and nutritional profile of sweet sorghum. *International Journal of Chemical Studies*, 6: 2.
- Skamarokhova, A.S., N.A. Yurina, N.A. Bedilo, D.A. Yurin & Y.N. Ashinov, 2020. "Evaluation of the air-dry mass of vetch-cereal grass mixtures according to their optimality in the ratio of neutral-detergent (NDF) and acid-detergent fiber (ADF), 1-7". *Topical Problems of Agriculture, Civil and Environmental Engineering (TPACEE 2020)*, E3S Web of Conferences, 224: p. 04030.
- Sönmez, A.C., 2020. Kışlık yulaf (*Avena sativa* L.) ıslah materyalinde biyolojik verim ve bazı fizyolojik özelliklerinin belirlenmesi. *İğdir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 10 (4): 3042-3051.

- Soudek, P., Š. Petrová, R. Vaňková, J. Song & T. Vaněk, 2014. Accumulation of heavy metals using *Sorghum* sp. *Chemosphere*, 104: 15-24.
- Staude, I.R., D.M. Waller, M. Bernhardt-Romeremann, A.D. Bjorkman, J. Brunet, P. De Frenne & L. Baeten, 2020. Replacements of small- by large-ranged species scale up to diversity loss in Europe's temperate forest biome. *Nature Ecology and Evolution*, 4: 802-808.
- Stokes, S.R. & E.P. Probst, 1998. Understanding forage quality analysis. Produced by AgriLife Communications & Marketing, The Texas A&M System (Web sayfası: <https://core.ac.uk/download/pdf/147131164.pdf>) (Erişim tarihi: Ağustos 2022).
- Tekin, S., 2018. Siirt İli İkinci Ürün Koşullarında Bazı Sorgum (*Sorghum bicolor* L.), Sudanotu [*Sorghum sudanense* (Piper) Stapf], Sorgum X Sudanotu Melezi (*Sorghum bicolor* x *Sorghum sudanense* Stapf) ve Mısır (*Zea mays* L.) Çeşitlerinin Verim ve Bazı Verim Unsurlarının Belirlenmesi. Siirt Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (Basılmamış) Yüksek Lisans Tezi, Siirt, 59 s.
- Tesso, T.T., L.E. Claflin & M.R. Tuinstra, 2005. Analysis of stalk rot resistance and genetic diversity among drought tolerant sorghum genotypes. *Crop Science*, 45: 645-652.
- Tsuchihashi, N. & Y. Goto, 2004. Cultivation of sweet sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) and determination of its harvest time to make use as the raw material for fermentation, practiced during rainy season in dry land of Indonesia. *Plant Production Science*, 7 (4): 442-448.
- TTSM, 2010. Tarımsal değerleri ölçme denemeleri teknik talimatı: sorgum (*Sorghum* spp.). (Web sitesi: <https://www.tarimorman.gov.tr/BUGEM/TTSM/Belgeler/Tescil/Teknik%20Talimatlar/S%C4%B1cak%20%C4%B0klim%20Tah%C4%B1lar%C4%B1/sorgum%20teknik%20talimat%C4%B1.pdf>) (Erişim tarihi: Mayıs 2021).
- Uygur Göçer, E. & Y. Karadağ, 2022. Tokat koşullarında ikinci ürün olarak yetiştirilen sorgum (*Sorghum bicolor* L) çeşitlerinin verim ve kalite özelliklerinin belirlenmesi. *Journal of Agriculture*, 5 (1): 18-24.
- Van Soest, P.J., 1994. *Nutritional Ecology of the Ruminant* (2nd Edition). Cornell University Press, Ithaca, 476pp.
- Wahyono, T., W.M. Indiratama & S. Human, 2021. White midrib (WMR) vs brown midrib (BMR) sorghum: perspective of nutrient value for ruminant forage. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 788 (1): 012164.
- WinISI, 2022. WinISI 4 calibration software: ground, expandable equation packages (Web sayfası: [http://www.winisi.com/product\\_calibrations.htm](http://www.winisi.com/product_calibrations.htm)) (Erişim tarihi: Haziran 2022).
- Yavuz, T., H. Kır & V. Gül, 2020. Türkiye'de kaba yem üretim potansiyelinin değerlendirilmesi: Kırşehir ili örneği. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*, 7 (3): 345-352.
- Yılmaz, Ş., M. Şanverdi & Ş. Kaya, 2007. "Silaj sorgumxsudanotu melezlerinde ekim zamanının silaj kalitesine etkisi, 289-292". Türkiye VII. Tarla Bitkileri Kongresi (25-27 Haziran 2007, Erzurum) Bildirileri.
- Yönter, F., S. Zere Taşkın & U. Bilgili, 2022. Effects of different nitrogen doses on forage yield of some sweet sorghum [*Sorghum bicolor* var. *saccharatum* (L.) Mohlenb.] varieties. *Journal of Agricultural Faculty of Bursa Uludag University*, 36 (1): 119-128.
- Yücel, C., İ. İnal, F. Gündel, D. Yücel, A. Aktaş, H.A. Karaağaç, R. Hatipoğlu & İ. Dweikat, 2017. Biyoetanol üretiminde kullanılmış tatlı sorgum saplarının silaj kalite özelliklerinin belirlenmesi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Doğa Bilimleri Dergisi*, 20 (Özel Sayı): 144-148.
- Zhao, Y.L., A. Dolat, Y. Steinberger, X. Wanga, A. Osman & G.H. Xie, 2009. Biomass yield and changes in chemical composition of sweet sorghum cultivars grown for biofuel. *Field Crops Research*, 111: 55-64.

## Araştırma Makalesi (Research Article)

Ege Üniv. Ziraat Fak. Derg.,2024, 61 (1):103-111  
<https://doi.org/10.20289/zfdergi.1433287>

Seda ERSUS<sup>1\*</sup> 

İdil TEKİN<sup>1</sup> 

Rahila VİSALİ<sup>2</sup> 

Zulfiya ALLAHVERDİYEVA<sup>2</sup> 

İrada ASKEROVA<sup>2</sup> 

Aybeniz HASANOVA<sup>2</sup> 

Rovshan KAMALOV<sup>2</sup> 

Dürdane ALİYEVA<sup>2</sup> 

<sup>1</sup> Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,  
Gıda Mühendisliği Bölümü, 35100 İzmir,  
Türkiye

<sup>2</sup> Azerbaycan Devlet Üniversitesi, Gence,  
Azerbaycan

\* Sorumlu yazar (Corresponding author):  
[seda.ersus@ege.edu.tr](mailto:seda.ersus@ege.edu.tr)

**Anahtar sözcükler:** Elma suyu,  
fonksiyonel gıda, ihlamur, kasnı otu, kekik,  
yarpuz

**Keywords:** Apple juice, functional food,  
galbanum, linden, pennyroyal, thyme

## Aromatik bitki ekstraktları ile zenginleştirilmiş fonksiyonel elma suyu üretimi\*

Production of functional apple juice enriched with  
aromatic plant extracts

Received (Alınış): 12.02.2024

Accepted (Kabul Tarihi): 29.03.2024

### ÖZ

**Amaç:** Bu çalışmanın amacı, aromatik bitkilerden infüzyon tekniği ile ekstraktlar elde ederek farklı formülasyonlarda elma suyu ile karıştırılarak fonksiyonel olarak zenginleştirilmiş bir ürün geliştirilmesi ve ürünün fizikokimyasal analizlerinin yapılmasıdır.

**Materyal ve Yöntem:** İhlamur çiçeği (*Tilia cordata*), kekik (*Thymus collinus*), kasnı otu (*Ferula galbaniflua*) ve yarpuz (*Mentha pulegium*) bitkilerinden infüzyon tekniği ile ekstraktlardan farklı oranlarda alınarak, elma suyuna ilave edilmiş ve fonksiyonel elma suyu üretimi gerçekleştirilmiştir. Farklı ekstraktların etkinliğini belirlemek amacıyla, elde edilen meyve sularına suda çözünür kuru madde, pH değeri, renk, berraklık, hidroksimetil furfural (HMF), toplam şeker, fenolik madde, antioksidan kapasite, askorbik asit analizleri yapılarak sonuçlar istatistiksel olarak değerlendirilmiştir.

**Araştırma Bulguları:** Farklı formülasyonlarla üretilen elma sularında artan bitkisel ekstrakt miktarına bağlı olarak HMF ve toplam şeker miktarları azalırken, ekstraktların içerdiği biyoaktif bileşenler sebebiyle toplam fenolik madde, antioksidan kapasite ve askorbik asit miktarlarında artış tespit edilmiştir.

**Sonuç:** Elde edilen bulgular, bitkisel ekstraktların elma sularının içeriğini etkin bir şekilde zenginleştirdiğini ve fonksiyonel özelliklerini artırdığını göstermiştir.

### ABSTRACT

**Objective:** This study aims to obtain extracts from aromatic plants using the infusion technique to produce a functionally enriched product by mixing it with apple juice in different formulations and performing physical and chemical analysis.

**Material and Methods:** Functional apple juice was produced by adding extracts from linden flower (*Tilia cordata*), thyme (*Thymus collinus*), galbanum (*Ferula galbaniflua*) and pennyroyal (*Mentha pulegium*) plants to apple juice in different proportions using the infusion technique. To determine the properties of the obtained fruit juices, water-soluble dry matter, pH value, color, clarity, hydroxymethyl furfural, total sugar, phenolic substance, antioxidant capacity, and ascorbic acid analyses were performed, and the results were evaluated statistically.

**Results:** While the amounts of HMF and total sugar decreased due to the increasing amount of aromatic plant extracts in apple juices produced with different formulations, an increase in the amounts of total phenolic substances, antioxidant capacity, and ascorbic acid was detected due to the bioactive components contained in the extracts.

**Conclusion:** These findings show that aromatic plant extracts can be used successfully to enrich the content of apple juices and increase their functional properties.

## GİRİŞ

Günümüzde sağlıklı yaşam tarzına olan mevcut eğilim ve beslenme gereksinimlerindeki değişiklik, fonksiyonel gıdalara olan ilginin artması üzerinde etkili olmuştur (Barauskaite et al., 2018). Özellikle yaşadığımız COVID-19 pandemisi ve aynı zamanda fonksiyonel gıdaların sağladığı bağışıklık desteğinin kronik bir hastalığı önlemede kullanılabilmesi nedeniyle fonksiyonel gıda üretimi ve tüketimi büyük bir ilgi görmektedir (Cebeci & Mankan, 2022). Bu kapsamda fonksiyonel içecekler, formülasyonları itibariyle tüketicilerin taleplerine cevap verebilme özellikleriyle beraber daha kolay dağıtım ve depolama avantajları da göz önünde bulundurulduğunda ilgi çekici ve arzu edilen gıda kategorisindedirler (Rubio-Perez et al., 2014).

Meyve suları günlük hayatta hoş lezzet, aroma ve vitamin içerikleri nedeniyle sıklıkla tüketilmektedir. Ayrıca içerdikleri fenolik bileşenler, antioksidanlar gibi biyoaktif bileşenler ile yüksek lif, vitamin ve minerallerin sağlığı olumlu yönde etkilemesi sebebiyle de popülerliklerini korumaktadırlar (Ghinea et al., 2022). Meyve suları biyoaktif bileşenler bakımından zengin olmalarına rağmen, elde edildikleri meyvelerin ham maddeleri ile karşılaştırıldığında, uygulanan işlemler sonucunda önemli oranda kayıplar olduğu belirtilmektedir (Törrönen et al., 2012; Maleš et al., 2023). Bu aşamada çeşitli aromatik bitki ekstraktlarının meyve sularının biyoaktif bileşen kompozisyonunu zenginleştirmek amacıyla kullanımı bir alternatif olarak karşımıza çıkmaktadır (Gomez et al., 2023; Maleš et al., 2023).

Elma (*Malus domestica*) sıklıkla tercih edilen ve dünyada en çok yetiştirilen meyvelerden bir tanesidir (FAOSTAT, 2021). Taze olarak tüketilmesinin yanı sıra başta meyve suyu olmak üzere, sirke, elma şarabı, cips ve şekerleme gibi farklı şekillerde işlenerek tüketici talebine sunulmaktadır. Meyve suyu üretiminde portakal ve ananas ile birlikte en çok üretimi yapılan elma suyunda da diğer meyve sularında uygulanan ısıl işlemler sonucu biyoaktif bileşenlerde kayıplar görülmektedir. Literatür çalışmalarında kekik, adaçayı, biberiye gibi aromatik bitkilerden elde edilen bitkisel ekstraktların içerdikleri hidroksisinnamik asitler, flavonlar ve terpenler gibi biyoaktif bileşenlerin elma sularında fenolik içerikleri, antioksidan özellikleri ve duyuşal nitelikleri olumlu yönde etkilediği belirtilmiştir (Carović-Stanko et al., 2016; Raudone et al., 2017; Abd Rashed & Rathi, 2021; Maleš et al., 2023).

Literatürde elma suyu üretiminde hali hazırda kullanılmamış doğal bitki ekstraktlarının elde edilmesinde Azerbaycan, zengin bitki çeşitliliği ile dikkat çeken bir ülkedir. Kafkasya'nın güneydoğusunda yer alan Azerbaycan, coğrafi konumu dolayısıyla birçok farklı iklim bölgesinin kesişim noktasında bulunur ve bu sayede çok çeşitli bitki türlerine ev sahipliği yapar. Özellikle dağlık bölgelerde bulunan bitki çeşitliliğine dair yapılan çalışmalarda 60 aileden, 194 cinse ait 321 faydalı bitki bulunduğu bildirilmiştir. Gence ili de ülkenin geneline yayılmış bitkisel çeşitliliğe sahip olup doğal olarak yetişen birçok faydalı bitki bulundurmaktadır (Seydahmedov & Atamov, 2008; Atamov vd., 2017). Bu bitki çeşitliliği hem yerel halkın geçim kaynaklarına hem de gıda, eczacılık gibi çeşitli endüstrilere potansiyel ham madde sağlamaktadır. Bu bilgiler ışığında yapılan bu çalışmada, Gence ilinde doğal olarak yetişen ıhlamur çiçeği (*Tilia cordata*), kekik (*Thymus collinus*), kasnı otu (*Ferula galbaniflua*) ve yarpuz (*Mentha pulegium*) bitkilerinden infüzyon tekniği ile ekstraktlar elde edilerek farklı oranlarda elma suyu ile karıştırılmış ve fonksiyonel olarak zenginleştirilmiş bir ürün geliştirilmesi ve fizikokimyasal analizler ile fonksiyonel özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

## MATERYAL ve YÖNTEM

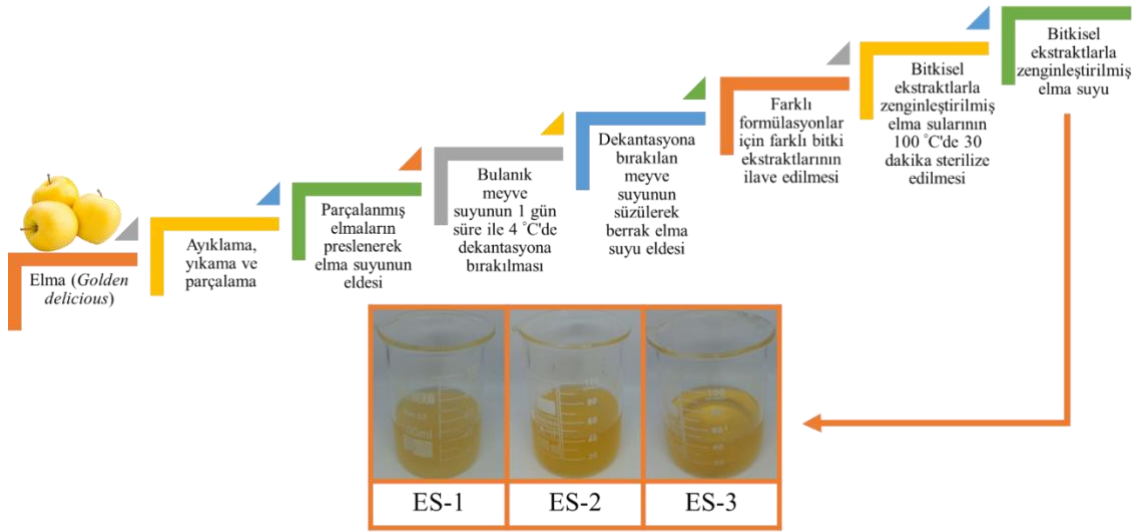
### Materyal

Bu çalışmada elma suyu üretimi kapsamında kullanılan elmalar (*Golden delicious*) Azerbaycan'ın Gence ilindeki yerel bir marketten temin edilmiştir. Bitkisel ekstraktların üretimi için kullanılan ıhlamur çiçeği (*Tilia cordata*), kekik (*Thymus collinus*), kasnı otu (*Ferula galbaniflua*) ve yarpuz (*Mentha pulegium*) bitkileri Gence ilinden (40°40'0" Kuzey Enlemleri, 46°21'0" Doğu Boylamları) toplanmıştır. Analizler için gerekli olan kimyasallar ise analitik saflıkta olup, Sigma-Aldrich firmasından (Sigma Chemical Co., St. Louis, MO, ABD) satın alınmıştır.

### Bitkisel ekstraktların ve bitkisel ekstraktlarla zenginleştirilmiş elma suyunun üretimi

Bitkisel ekstrakt elde etmek üzere ıhlamur çiçeği (*Tilia cordata*), kekik (*Thymus collinus*), kasnı otu (*Ferula galbaniflua*) ve yarpuz (*Mentha pulegium*) bitkileri kullanılmıştır. 1 kg bitkiye 80 °C'de 1 L su (katı:sıvı oranı; 1:1) ilave edilerek 10 dk boyunca infüzyon gerçekleştirilmiştir. Süre sonunda bitkiler ortamdan süzülerek uzaklaştırılmış ve bitki ekstraktları elde edilmiştir.

Bu işlem sonrası Şekil 1'de detayları verilen elma suyu üretimi gerçekleştirilerek ve Çizelge 1'de ifade edilen formülasyonlar kullanılarak bitkisel ekstraktlarla zenginleştirilmiş elma suları elde edilmiştir. Bu aşamadan sonra yapılan analizler üretimi yapılan üç farklı formülasyona sahip elma suyu ve bitkisel ekstrakt içermeyen kontrol grubu elma suyu için gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1. Bitkisel ekstraktlarla zenginleştirilmiş elma suyu üretimi akım şeması.

Figure 1. Flow chart of apple juice production enriched with plant extracts.

Çizelge 1. Bitkisel ekstraktlarla zenginleştirilmiş elma sularının farklı formülasyonlarına ait karışım oranları ve ürün kodları

Table 1. Mixing ratios and product codes of different formulations of apple juices enriched with plant extracts

Ürün Kodu	Elma Suyu (mL)	İhlamur Çiçeği Ekstraktı (mL)	Kekik Ekstraktı (mL)	Kasnı Otu Ekstraktı (mL)	Yarpuz Ekstraktı (mL)
Kontrol	1000	-	-	-	-
ES-1	1000	10	10	10	10
ES-2	1000	15	15	15	15
ES-3	1000	20	20	20	20

### Suda çözünür kuru madde analizi

Farklı formülasyonlar ile hazırlanmış elma suyu örneklerinin suda çözünür kuru madde (SÇKM) içeriği dijital refraktometre (RFM 330 Bellingham Stanley Limited, İngiltere) kullanılarak belirlenmiştir (Cemeroğlu, 2013; Ghinea et al., 2022).

### pH değeri analizi

Farklı formülasyonlar ile hazırlanmış elma suyu örneklerinin pH değerleri pH metre (Inolab WTW, Almanya) kullanılarak belirlenmiştir (Cemeroğlu, 2013; Ghinea et al., 2022).

### Renk analizi

Hunterlab Colorflex CFLX 45-2, VA (Managment Company, ABD) renk cihazı kullanılarak elma suyu örneklerinin renk değerleri belirlenmiştir. Örneklerin CIELAB renk değerleri  $L^*$ ,  $a^*$  ve  $b^*$  olarak ölçülmüştür.  $L^*$  değeri aydınlık,  $a^*$  değeri kırmızılık-yeşillik ve  $b^*$  değeri sarılık-mavilik değerlerini ifade etmektedir (Tekin et al., 2023).

Örneklerin spektrofotometrik renk değerleri ise Peak Instruments, C-7200 (Houston, ABD) spektrofotometrik ölçüm cihazı kullanılarak ölçülmüştür. 440 nm'de ölçümler gerçekleştirilerek sonuçlar  $\%T_{440}$  olarak ifade edilmiştir (Kaya, 2010).

### Berraklık analizi

Elma suyu örneklerinin berraklık değerleri Peak Instruments, C-7200 (Houston, ABD) spektrofotometrik ölçüm cihazı kullanılarak ölçülmüştür. 625 nm'de ölçümler gerçekleştirilerek sonuçlar  $\%T_{625}$  olarak ifade edilmiştir (Kaya, 2010).

### Hidroksimetil furfural analizi

Elma sularının hidroksimetil furfural (HMF) içeriği TS 6178/ISO 7466 Türk Standardına (Türk Standartları Enstitüsü (TSE), 2002) göre belirlenmiştir. 2 mL meyve suyu örneği üzerine 5 mL p-toluidin çözeltisi ve 1 mL barbitürik asit çözeltisi eklenerek şahit numuneye karşı 550 nm'de absorbans değerleri spektrofotometrede ölçülmüştür. Örneklerin HMF içeriği mg/L olarak ifade edilmiştir (Ersus et al., 2019).

### Toplam şeker analizi

Fenol-sülfürik asit yöntemi (Nielsen, 2017), elma sularının içerdiği toplam şeker miktarını (polisakkaritler, oligosakkaritler, basit şekerler ve türevleri) belirlemek için kullanılmıştır. 0,5 mL elma suyu örneği, 1 mL %5 fenol ve 5 mL %98 sülfürik asit ile karıştırıldıktan sonra spektrofotometre ile 490 nm'de absorbans değerleri okunmuştur. D-Glukoz (40-200 µg/mL) standardıyla hazırlanan kalibrasyon eğrisine karşılık örneklerin toplam şeker miktarları hesaplanarak g/100 mL olarak ifade edilmiştir (Öztürk & Kuşçu, 2019).

### Toplam fenolik madde miktarı analizi

Elma sularının içerdiği toplam fenolik madde miktarı Folin Ciocalteau (FC) reaktifi kullanılarak spektrofotometrik yöntemle belirlenmiştir. Belirli miktar örnek (5 mL) %80'lik 50 mL etanol kullanılarak homojenize edildikten sonra santrifüj edilmiştir. Santrifüj sonucu elde edilen ekstraktan 0,5 mL alınarak üzerine 2,5 mL FC (%10) eklenmiştir. Hazırlanan karışım 4 dk boyunca karanlık bir ortamda ve oda sıcaklığında (25 °C) inkübe edildikten sonra 2 mL  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (75 g/L) çözeltisi eklenmiştir. Örnekler 50 °C su banyosunda 5 dk bekletilip akan suyun altında oda sıcaklığına (25 °C) getirildikten sonra 760 nm'de absorbans değerleri okunmuştur. Örneklerin fenolik madde miktarı mg GAE/100 mL olarak ifade edilmiştir (Akyüz et al., 2022; Metiner & Ersus, 2023).

### Toplam antioksidan kapasite analizi

Elma sularının antioksidan kapasite yüzdesi (%AK), 2,2-difenil-1-pikrilhidrazil (DPPH) serbest radikal analizi ile değerlendirilmiştir. 5 mL örnek %80 konsantrasyonda hazırlanan 50 mL etanol ile karıştırılmıştır. Elde edilen karışım 2 dk süreyle homojenize edildikten sonra santrifüjlenmiş ve ekstrakt elde edilmiştir. Ekstrakt (0,5 mL), etanol (3 mL) ve DPPH (0,3 mL) ile elde edilen karışımın 517 nm'deki absorbans değeri kör (etanol + ekstrakt) ve kontrol (etanol + DPPH) numunesine karşılık spektrofotometre ile (Peak Instruments, C-7200, Houston, ABD) belirlenmiştir. Toplam antioksidan kapasite yüzdesi (%AK) Denklem 1 kullanılarak hesaplanmıştır ve % olarak ifade edilmiştir (Akyüz et al., 2022; Tekin et al., 2023).

$$\%AK = 100 - \left[ \frac{Abs_{örnek} - Abs_{kör}}{Abs_{kontrol}} \times 100 \right] \quad (\text{Denklem 1})$$



### Askorbik asit analizi

Farklı formülasyonlarla hazırlanmış elma suyu örneklerinin askorbik asit (AA) miktarları, 2,6-dikloroindofenol titrimetik yöntemi (AOAC Yöntemi 967.21, 2016) kullanılarak belirlenmiştir (AOAC, 2016).

### İstatistiksel analiz

Üretimler 2 tekerrür, analizler 3 paralel olacak şekilde yapılarak sonuçlar ortalama ve standart hata olarak kaydedilmiştir. Elde edilen deneysel veriler IBM SPSS Statistics V20.0 programı (SPSS Inc., Chicago, IL, ABD) kullanılarak %95 güven aralığında istatistiksel olarak test edilmiştir ( $P < 0,05$ ). Farklı formülasyonlara sahip elma sularının ortalama analiz sonuçları arasındaki farkların önemi tek yönlü varyans analizi (One-way ANOVA) ile değerlendirilmiştir. Ayrıca gruplar arası farklılığın belirlenmesi için Duncan çoklu karşılaştırma testi kullanılmış ve sonuçlar istatistiksel harfler ile ifade edilmiştir.

## ARAŞTIRMA SONUÇLARI ve TARTIŞMA

### Bitkisel Ekstraktlarla Zenginleştirilmiş Elma Sularının Suda Çözünür Kuru Madde ve pH Değeri Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Bitkisel ekstraktlarla zenginleştirilmiş elma sularının ve kontrol örneğinin suda çözünür kuru madde (SÇKM) ve pH değerleri Çizelge 2'de gösterilmiştir. SÇKM, sıvı veya yarı sıvı haldeki ürünlerde kıvam, yoğunluk ve kalite kontrolünde °Briks cinsinden ifade edilen temel bir parametre olarak kabul edilir. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde kontrol örneğinin SÇKM değeri  $12,03 \pm 0,03$  °Briks olarak bulunurken, farklı formülasyonlara ait ES-1, ES-2 ve ES-3 ürün kodlu bitkisel ekstraktlarla zenginleştirilmiş meyve sularının SÇKM değerleri sırasıyla  $11,23 \pm 0,03$ ;  $9,53 \pm 0,06$ ;  $7,37 \pm 0,09$  °Briks bulunmuştur. Bitkisel ekstrakt konsantrasyonunun artmasına bağlı olarak örneklerin SÇKM değerlerinde bir azalma belirlenmiştir. Türk Gıda Kodeksi Meyve Suyu ve Benzeri Ürünler Tebliği'ne (TEBLİĞ NO: 2014/34) göre elma sularında minimum SÇKM değeri  $11,2$  °Briks olarak belirlenmiştir. Bu standart ile karşılaştırıldığında ES-1 ürün kodlu meyve suyunun standart ile uyumlu olduğu belirlenmiştir. Diğer örneklerde bitkisel ekstraktların elma suyuna kıyasla daha az suda çözünür kuru madde içermesinin bu duruma neden olduğu düşünülmektedir. Literatür incelendiğinde farklı elma türlerinden elde edilen meyve sularının SÇKM değerleri  $7,5-21,62$  °Briks gibi geniş bir aralıkta yer almaktadır (Kowalczyk, 2004; Eisele & Drake, 2005; Siguemoto, 2018; Ghinea et al., 2022). Farklı ülkelerin yasal düzenlemeleri doğrultusunda ticari elma suyu üretiminde belirlenen değerler ise üretimler konusunda sınırlamalar getirmektedir. Depolama sırasındaki ürün güvenliği ve karakteristik lezzet açısından önemli olan bir diğer parametre ise pH değeridir. Türk Gıda Kodeksi Meyve Suyu ve Benzeri Ürünler Tebliği'nde pH değeri için bir şart bulunmamakla birlikte kontrol örneğinin pH değeri  $4,33 \pm 0,01$  olarak bulunurken farklı formülasyonlara ait ES-1, ES-2 ve ES-3 ürün kodlu bitkisel ekstraktlarla zenginleştirilmiş meyve sularının pH değerleri sırasıyla  $4,34 \pm 0,01$ ;  $4,42 \pm 0,00$ ;  $4,40 \pm 0,00$  olarak belirlenmiştir. ES-1 kodlu örnek ve kontrol grubu arasında istatistiksel anlamda bir fark bulunmazken, ES-2 ve ES-3 kodlu örnekler arasında da anlamlı bir farklılık belirlenmemiştir.

**Çizelge 2.** Suda çözünür kuru madde ve pH değerleri

**Table 2.** Water-soluble dry matter and pH values

Ürün Kodu	SÇKM (°Briks)	pH Değeri
<b>Kontrol</b>	$12,03 \pm 0,03^a$	$4,33 \pm 0,01^b$
<b>ES-1</b>	$11,23 \pm 0,03^b$	$4,34 \pm 0,01^b$
<b>ES-2</b>	$9,53 \pm 0,06^c$	$4,42 \pm 0,00^a$
<b>ES-3</b>	$7,37 \pm 0,09^d$	$4,40 \pm 0,00^a$

Veriler ortalama değerleri ve standart hataları temsil eder.

Her bir analizdeki değişen harfler, istatistiksel olarak önemli farklılıkları yansıtmaktadır ( $P < 0,05$ ).

### Bitkisel Ekstraktlarla Zenginleştirilmiş Elma Sularının Renk ve Berraklık Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Bitkisel ekstraktlarla zenginleştirilmiş elma sularının ve kontrol örneğinin renk ( $L^*$ ,  $b^*$ ,  $a^*$ ,  $\%T_{440}$ ) ve berraklık ( $\%T_{625}$ ) değerleri Çizelge 3'te gösterilmektedir. Renk, kalite ve özellikle tüketici kabulü için meyve sularında önemli parametrelerdendir. Yapılan bu çalışmada elde edilen renk değerleri incelendiğinde artan bitkisel ekstrakt miktarı  $L^*$ ,  $a^*$  ve  $b^*$  renk değerlerinde azalma olmasına neden olurken berraklık değerleri üzerinde olumlu etkiler gösterdiği görülmektedir. En yüksek  $L^*$  değeri ( $15,61\pm 0,00$ ) kontrol örneklerinde tespit edilirken en düşük değer ( $4,13\pm 0,02$ ) ES-3 ürün kodlu elma suyunda tespit edilmiştir. Benzer şekilde  $a^*$  ve  $b^*$  değerleri için en yüksek değerler kontrol örneğinde tespit edilirken en düşük değerler ES-3 ürün kodlu elma suyunda tespit edilmiştir. Berraklık değerleri incelendiğinde ise artan bitkisel ekstrakt miktarının berraklığı olumlu yönde etkilediği belirlenmiştir. Bu durum elde edilen bitkisel ekstraktların elma suyuna kıyasla daha berrak olması ve elma suyu ile homojen bir şekilde karışması ile açıklanabilir. Yapılan bir çalışmada reishi mantarı ekstraktı ile zenginleştirilen portakal sularında da artan ekstrakt miktarının renk değerlerini azaltma yönünde etki gösterdiği belirtilmiştir (Kuşçu & Öztürk, 2019).

Çizelge 3. Renk ve berraklık değerleri

Table 3. Color and clarity values

Ürün Kodu	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$\%T_{440}$	$\%T_{625}$
<b>Kontrol</b>	$15,61\pm 0,00^a$	$-1,65\pm 0,01^a$	$13,06\pm 0,12^a$	$20,06\pm 0,10^d$	$60,08\pm 0,14^b$
<b>ES-1</b>	$14,68\pm 0,00^b$	$-1,08\pm 0,03^b$	$11,16\pm 0,19^b$	$24,27\pm 0,06^c$	$64,02\pm 0,21^d$
<b>ES-2</b>	$7,09\pm 0,02^c$	$-0,89\pm 0,06^c$	$4,05\pm 0,14^c$	$40,99\pm 0,08^b$	$67,14\pm 0,18^c$
<b>ES-3</b>	$4,13\pm 0,02^d$	$-0,57\pm 0,02^d$	$1,56\pm 0,03^d$	$50,78\pm 0,27^a$	$76,85\pm 0,06^a$

Veriler ortalama değerleri ve standart hataları temsil eder.

Her bir analizdeki değişen harfler, istatistiksel olarak önemli farklılıkları yansıtmaktadır ( $P<0,05$ ).

### Bitkisel Ekstraktlarla Zenginleştirilmiş Elma Sularının Hidroksimetil Furfural ve Toplam Şeker Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Hidroksimetil furfural (HMF), meyve sularında önemli bir kalite göstergesi olarak kabul edilir. Bu bileşik, şeker içeren gıdalardaki şekerin asitli ortamda parçalanması ile veya Maillard reaksiyonu esnasında bir ara ürün olarak ortaya çıkmaktadır. Meyve sularında yüksek HMF değerleri, ürünün işleme sırasında aşırı ısınması veya depolama süreçlerinde olumsuz şartlar altında bulunması durumunda ortaya çıkabilir. Yüksek HMF seviyeleri, meyve suyu kalitesini düşürebilir ve ürünün tazeliğini etkileyebilir. Ayrıca, HMF'nin bazı sağlık endişeleri de bulunmaktadır. Bu nedenle, meyve suyu üretimi sırasında ve depolama aşamalarında HMF seviyeleri düzenli olarak kontrol edilir. HMF'nin düşük seviyelerde tutulması, meyve sularının taze, doğal ve yüksek kaliteli olmasını sağlamak için önemlidir. Ayrıca ülkemizde yürürlükte olan Türk Gıda Kodeksine göre HMF meyve sularında 5 ppm değerinin altında olmalıdır (Batu vd., 2014; Ersus et al., 2019).

Meyve sularının tat profili genellikle içerdikleri doğal şeker miktarına bağlı olarak şekillenir. Doğal olarak meyvede bulunan şeker, ürüne doğal bir tat ve lezzet katar. Ancak, aşırı miktarda ilave şeker içeren meyve suları, potansiyel olarak sağlık sorunlarına neden olabilir. Yüksek şeker içeriği, obezite, diyabet ve diğer sağlık sorunlarıyla ilişkilendirilebilir. Bu nedenle, birçok üretici, tüketicilere sağlıklı bir seçenek sunmak adına şeker içeriğini azaltmaya ve doğal meyve tatlarına vurgu yapmaya yönelik çabalarını artırmaktadır. Düşük şeker içeriğine sahip meyve suları, sağlıklı yaşam tarzını benimseyen tüketiciler arasında popülerlik kazanmaktadır (Batu vd., 2014; Muslu & Kermen 2020).

Bu kapsamda kontrol örneği ve farklı formülasyonlara sahip elma sularına ait HMF ve toplam şeker içerikleri Çizelge 4'te belirtilmektedir. Sonuçlar değerlendirildiğinde her bir örnek için HMF değerlerinin yasal sınırlar altında olduğu dikkat çekmektedir. Kontrol, ES-1, ES-2 ve ES-3 ürün kodlu örneklerin HMF içerikleri sırasıyla 4,81; 4,59; 2,43 ve 1,84 mg/L olarak belirlenmiştir. Artan bitkisel ekstrakt miktarının ürün üzerinde HMF değerlerini azaltacak şekilde etki gösterdiği belirlenmiştir. Bu durumun, bitkisel ekstraktların şeker içermemesi nedeniyle uygulanan ısıl işlem sırasında HMF oluşumunu katalize edecek şeker miktarının oransal olarak azalmasıyla ilişkilendirildiği düşünülmektedir. Ayrıca artan bitkisel ekstrakt miktarına bağlı olarak üretimi yapılan elma sularının fenolik ve antioksidan maddelerce zengin hale gelmesinin de HMF oluşumu engelleyecek şekilde etki ettiği düşünülmektedir. Örneklerin toplam şeker içerikleri ise HMF değerlerine benzer şekilde bitkisel ekstrakt miktarının artışına bağlı olarak azalma eğilimi göstermiştir. Sonuçlar arasındaki farklılıklar istatistiksel anlamda önemli bulunmuştur ( $P<0,05$ ). Bitkisel ekstraktların ilave ve doğal şeker içermemesinden dolayı bu beklenen bir sonuçtur.

**Çizelge 4.** HMF ve toplam şeker değerleri

**Table 4.** HMF and total sugar values

Ürün Kodu	HMF (mg/L)	Toplam Şeker (g/100 mL)
Kontrol	4,81±0,00 <sup>a</sup>	11,02±0,03 <sup>a</sup>
ES-1	4,59±0,05 <sup>b</sup>	8,81±0,05 <sup>b</sup>
ES-2	2,43±0,16 <sup>c</sup>	6,98±0,12 <sup>c</sup>
ES-3	1,84±0,12 <sup>d</sup>	6,19±0,10 <sup>d</sup>

Veriler ortalama değerleri ve standart hataları temsil eder.

Her bir analizdeki değişen harfler, istatistiksel olarak önemli farklılıkları yansıtmaktadır ( $P<0,05$ ).

### Bitkisel Ekstraktlarla Zenginleştirilmiş Elma Sularının Toplam Fenolik, Antioksidan Kapasite ve Askorbik Asit Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Elma suyu, doğal olarak içerdiği biyoaktif bileşenlerle sağlık açısından faydalı bir içecek olarak bilinir. Özellikle içerdikleri fenolik bileşikler antioksidan etkileriyle de dikkat çekmektedir. Biyoaktif bileşenlerce zengin olmasına rağmen meyve suyu üretimi sırasında uygulanan işlemler sebebiyle taze meyve ile kıyaslandığında daha az oranda biyoaktif bileşen içerdiği bilinmektedir. Bu çalışma kapsamında bitkisel ekstraktlarla zenginleştirilmiş elma sularının toplam fenolik madde, antioksidan kapasite ve askorbik asit içerikleri Çizelge 5'te gösterilmektedir. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde artan bitkisel ekstrakt miktarına bağlı olarak toplam fenolik miktarda kontrole kıyasla artış sağlandığı belirlenmiştir. En fazla bitkisel ekstrakt içeren ES-3 ürün kodlu elma suyunda kontrole kıyasla yaklaşık olarak 2,3 katlık bir artış sağlanmıştır. Benzer şekilde toplam antioksidan kapasite ve askorbik asit miktarı içinde artan bitkisel ekstrakt miktarı değerleri olumlu yönde etkilemiştir. Yapılan bir çalışmada yeşil çay ekstraktı ile zenginleştirilen elma suları 240 gün süreyle depolanmış ve süre sonunda yeşil çay ekstraktından gelen fenolik bileşenlerin hala varlığını sürdürdüğü tespit edilmiştir. Portakal suyuyla yapılan bir başka fonksiyonel içecek üretiminde ise reishi mantarı ekstraktı kullanılmış ve fenolik bileşenler açısından zengin olan bu ekstrakt miktarı meyve suyunda arttıkça beklenen bir sonuç olarak biyoaktif bileşenlerce zengin bir ürün üretildiği belirlenmiştir (Öztürk & Kuşçu, 2019; Samaei et al., 2022).

**Çizelge 5.** Toplam fenolik madde, antioksidan kapasite ve askorbik asit değerleri

**Table 5.** Total phenolic substance, antioxidant capacity and ascorbic acid values

Ürün Kodu	Toplam Fenolik Madde (mg GAE/100 mL)	Toplam Antioksidan Kapasite (%)	Askorbik Asit (mg/100 mL)
Kontrol	161,10±0,25 <sup>d</sup>	18,17±0,12 <sup>d</sup>	0,98±0,00 <sup>d</sup>
ES-1	176,94±0,42 <sup>c</sup>	21,44±0,13 <sup>c</sup>	1,39±0,00 <sup>c</sup>
ES-2	228,19±0,55 <sup>b</sup>	24,58±0,06 <sup>b</sup>	1,52±0,00 <sup>b</sup>
ES-3	366,31±0,42 <sup>a</sup>	36,73±0,13 <sup>a</sup>	1,71±0,00 <sup>a</sup>

Veriler ortalama değerleri ve standart hataları temsil eder.

Her analize ilişkin farklı harfler istatistiksel olarak anlamlı farklılıkları temsil etmektedir ( $P<0,05$ ).

## SONUÇ

Bu çalışma, aromatik bitkilerden infüzyon tekniği ile elde edilen ekstraktların elma suyuyla kombinasyonunu içeren fonksiyonel içeceklerin üretimini ve analizini kapsamaktadır. Ihlamur çiçeği, kekik, kasnı otu ve yarpuz bitkilerinden elde edilen ekstraktlar farklı oranlarda elma suyuna eklenerek ürünler geliştirilmiştir. Elde edilen meyve sularının çeşitli fiziksel ve kimyasal özellikleri incelenmiş ve sonuçlar istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde artan bitkisel ekstrakt miktarına bağlı olarak HMF ve toplam şeker miktarlarında azalma belirlenirken, ekstraktlardaki biyoaktif bileşenler nedeniyle toplam fenolik madde, antioksidan kapasite ve askorbik asit miktarlarında artış tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, bitkisel ekstraktların elma suyu içeriklerini zenginleştirmek ve fonksiyonel özelliklerini artırmak için etkili bir şekilde kullanılabileceğini göstermektedir. Gıda endüstrisinde yeni ürün geliştirme ve fonksiyonel içeceklerin formülasyonunda potansiyel bir yol açabileceği düşünülmektedir. Ayrıca, tüketicilerin sağlık açısından faydalı bileşenlerle zenginleştirilmiş içeceklere olan talebini karşılamak için yenilikçi çözümler sunabilir. Yapılan bu çalışmanın bitkisel ekstraktların farklı meyve sularıyla kombinasyonunun sağlık yararlarını anlamak ve ürünlerin ticari potansiyelini değerlendirmek için gelecekteki araştırmalara ilham olacağı düşünülmektedir.

### Veri kullanılabilirliği

Veriler makul talep üzerine sağlanabilmektedir.

### Yazar Katkıları

Çalışmanın konsepti ve tasarımı: SE, ZA, örnek toplama: ZA, RV, IA, AH, RK, DA, verilerin analizi ve yorumlanması: İT, SE, istatistiksel analiz: İT, SE, görselleştirme: İT, SE, makalenin yazımı: İT, SE, ZA, RV, IA, AH, RK, DA.

### Çıkar çatışması

Bu çalışmada yazarlar arasında çıkar çatışması bulunmamaktadır.

### Etik Beyan

Bu araştırma için etik kurula ihtiyaç olmadığını beyan ederiz.

### Finansal Destek

Bu çalışma herhangi bir kurum tarafından finansal olarak desteklenmemiştir.

### Makale Açıklaması

Bu makale Editör Prof. Dr. Cem KARAGÖZLÜ tarafından düzenlenmiştir.

## KAYNAKLAR

- Abd Rashed, A. & D.N.G. Rathi, 2021. Bioactive components of Salvia and their potential antidiabetic properties: A review. *Molecules*, 26 (10): 3042.
- Akyüz, A., İ. Tekin & S. Ersus, 2022. Comparison of different methods in the extraction of phenolic compounds from bay leaf (*Laurus nobilis* L.). *Journal Of Apitherapy and Nature*, 5 (1): 27-34.
- Atamov, V., M. Musayev & M. Cabbarov, 2017. Azerbaycan'ın sucul orman birlikleri. *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences*, 2 (2): 23-28.
- Barauskaite, D., J. Gineikiene, B.M. Fennis, V. Auruskeviciene, M. Yamaguchi & N. Kondo, 2018. Eating healthy to impress: How conspicuous consumption, perceived self-control motivation, and descriptive normative influence determine functional food choices. *Appetite*, 131: 59-67.
- Batu, A., R.E. Aydoymuş & H.S. Batu, 2014. Gıdalarda hidroksimetilfurfural (HMF) oluşumu ve insan sağlığı üzerine etkisi. *Electronic Journal of Food Technologies*, 9 (1): 40-55.

- Carović-Stanko, K., M. Petek, M. Grdiša, J. Pintar, D. Bedeković & Z. Satovic, 2016. Medicinal plants of the family Lamiaceae as functional foods—a review. *Czech Journal of Food Sciences*, 34 (5): 377-390.
- Cebeci, B. K. & E. Mankan, 2022. COVID-19 pandemi sürecinde tüketicilerin fonksiyonel gıdalara yönelik tutumları. *Journal of Humanities and Tourism Research*, 12 (2): 405-416.
- Cemeroğlu, B. S., 2013. Meyve ve Sebze İşleme Teknolojisi Cilt II Nobel Akademik, Ankara, 658 s.
- Eisele, T.A. & S.R. Drake, 2005. The partial compositional characteristics of apple juice from 175 apple varieties. *Journal of Food Composition and Analysis*, 18: 213-221.
- Ersus, S., A. Akyüz & İ. Tekin, 2019. "Hydroxymethyl furfural formation in grape and pomegranate juices over heating treatments, 211-215". 1st International/11th National Food Engineering Congress (7–9 December), UCTEA Chamber of Food Engineers, Book of Proceedings, Antalya, Turkey.
- Ghinea, C., A.E. Prisacaru & A. Leahu, 2022. Physico-chemical and sensory quality of pasteurized apple juices extracted by blender and cold pressing juicer. *Ovidius University Annals of Chemistry*, 33 (1): 84-93.
- Kaya, D., 2010. Elma Suyu Konsantresi Üretiminde Renk Stabilizasyonu. Uludağ Üniversitesi, (Basılmamış) Yüksek Lisans Tezi, Bursa, 50 s.
- Kowalczyk, R., 2004. Pressing efficiency and apple consumption index in the production of apple juice concentrate. *Problemy Inżynierii Spożywczej*, 12: 20-30.
- Maleš, I., A. Dobrinčić, Z. Zorić, S. Vladimir-Knežević, I. Elez Garofulić, M. Repajić & V. Dragović-Uzelac, 2023. Phenolic, headspace and sensory profile, and antioxidant capacity of fruit juice enriched with *Salvia officinalis* L. and *Thymus serpyllum* L. Extract: a potential for a novel herbal-based functional beverages. *Molecules*, 28 (9): 3656.
- Metiner, E. E. & S. Ersus, 2023. Farklı kurutma tekniklerinin kuru aronya (*Aronia melanocarpa*) meyvesi ve tozunun kalitesine etkisi. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 60 (2): 353-362.
- Muslu, M. & S. Kermen, 2020. Çocuk ve adölesanlarda şeker ilaveli içeceklerin tüketimi ve sağlık üzerine etkileri. *Celal Bayar Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 7 (2): 225-230.
- Nielsen, S. S., 2017. Total carbohydrate by phenol-sulfuric acid method. *Food analysis laboratory manual*, 137-141.
- Öztürk, B. & G. Kuşçu, 2019. Physical, chemical and sensory properties of fresh orange juice fortified with reishi (*Ganoderma lucidum*) extract. *Gıda*, 45 (1): 81-91.
- Raudone, L., K. Zymone, R. Raudonis, R. Vainoriene, V. Motiekaityte & V. Janulis, 2017. Phenological changes in triterpenic and phenolic composition of *Thymus* L. species. *Industrial Crops and Products*, 109: 445-451.
- Rubio-Perez, J. M., M.L. Vidal-Guevara, P. Zafrilla & J.M. Morillas-Ruiz, 2014. A new antioxidant beverage produced with green tea and apple. *International journal of food sciences and nutrition*, 65 (5): 552-557.
- Samaei, S. P., M. Ghorbani, D. Tagliazucchi, S. Martini, R. Gotti, T. Themelis & Babini, E., 2020. Functional, nutritional, antioxidant, sensory properties and comparative peptidomic profile of faba bean (*Vicia faba*, L.) seed protein hydrolysates and fortified apple juice. *Food Chemistry*, 330: 127120.
- Seyddahmedov, A. & V. Atamov, 2008. The beneficial plants of mountainous regions in Azerbaijan. *Biological Diversity and Conservation*, 1 (1): 13-27.
- Siguemoto, E.S., 2018. Continuous-Flow Microwave Thermal Processing of Cloudy Apple Juice. Polytechnic School of the University of São Paulo, (Unpublished) PhD Thesis, São Paulo, Brazil, 234 pp.
- Tekin, İ., K. Özcan & S. Ersus, 2023. Optimization of ionic gelling encapsulation of red beet (*Beta vulgaris* L.) juice concentrate and stability of betalains. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 102774.
- Törrönen, R., G.J. McDougall, G. Dobson, D. Stewart, J. Hellström, P. Mattila & R. Karjalainen, 2012. Fortification of blackcurrant juice with crowberry: Impact on polyphenol composition, urinary phenolic metabolites, and postprandial glycemic response in healthy subjects. *Journal of functional foods*, 4 (4): 746-756.



## Araştırma Makalesi (Research Article)

Ege Üniv. Ziraat Fak. Derg., 2024, 61 (1):113-124  
<https://doi.org/10.20289/zfdergi.1432800>

Esmâ TOPUZ<sup>1</sup>

Yüksel TÜZEL<sup>2\*</sup>

Mahmut TEPECİK<sup>3</sup>

Tunç DURDU<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,  
Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı, 35100,  
Bornova, İzmir, Türkiye

<sup>1</sup> Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe  
Bitkileri Bölümü, 35100, Bornova, İzmir,  
Türkiye

<sup>2</sup> Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak  
Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, 35100,  
Bornova, İzmir, Türkiye

\* Sorumlu yazar (Corresponding author):

[yuksel.tuzel@ege.edu.tr](mailto:yuksel.tuzel@ege.edu.tr)

**Anahtar sözcükler:** Bitki besin elementi,  
gübre, meyve kalitesi, verim, *Capsicum  
annum* L.

**Keywords:** Plant nutrients, fertilizer, fruit  
quality, yield, *Capsicum annum* L.

## Sera biber yetiştiriciliğinde etkin mikroorganizma ve kompost kullanımı\*

### Effective microorganisms and compost use in greenhouse pepper cultivation

\* Bu makalede Esmâ Topuz'un yüksek lisans tezinden de yararlanılmış ve çalışma Ege Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından 28490 Numaralı proje olarak desteklenmiştir.

Received (Alınış): 06.02.2024

Accepted (Kabul Tarihi): 03.04.2024

### ÖZ

**Amaç:** Bu çalışmada etkin mikroorganizmaların ve kompostun ayrı ve birlikte uygulanmasının ısıtmasız sera koşullarında biber (cv. Pusula F1) yetiştiriciliğinde verim, meyve kalitesi ve yaprak besin elementi içeriği üzerine etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

**Materyal ve Yöntem:** Araştırmada 5 konu denemeye alınmıştır: (1) Kontrol, (2) Ecorec kompost uygulaması (KMP), (3) Etkin Mikroorganizma (EM) uygulaması (dikimde ve 15 günde bir sürekli) (EM), (4) Dikimde EM uygulaması +kompost (EM+KMP) ve (5) EM uygulaması (15 günde bir sürekli) +kompost (15EM+KMP). Kontrol dahil olmak üzere tüm uygulamalara toprak analiz sonuçlarına göre mineral gübre uygulaması yapılmıştır.

**Araştırma Bulguları:** Uygulamaların üst aksam ve kök yaş ağırlığına etkileri önemli bulunmuştur. Üst aksam yaş ağırlığı EM uygulamasında en yüksek olmuştur. Kompost uygulamasından en yüksek verim değerleri alınmıştır. Kompost uygulaması ile toplam ve pazarlanabilir verim değerleri sırasıyla %60.4 ve %61.4 artmıştır.

**Sonuç:** KMP ve EM+KMP uygulamalarının verim ve bitki besin elementi alımına etkileri nedeniyle ön plana çıktığı ve yüksek verim ve toprak verimliliğinin sürdürülebilirliği açısından tavsiye edilebilecek uygulamalar olduğu sonucuna varılmıştır.

### ABSTRACT

**Objective:** The aim of this study was to determine the effects of separate and combined application of effective microorganisms and compost on yield, fruit quality and leaf nutrient content in pepper (cv. Pusula F1) cultivation under unheated greenhouse conditions.

**Material and Methods:** In the research, 5 treatments were included in the experiment: (1) Control, (2) Ecorec compost application (KMP), (3) Effective Microorganism (EM) application (at planting and continuously every 15 days) (EM), (4) EM application + compost at planting (EM+KMP) and (5) EM application (continuously every 15 days) + compost (15EM+KMP). Mineral fertilizer was applied to all treatments, including the control, according to the results of soil analysis.

**Results:** The effects of the treatments on shoot and root fresh weight were found to be significant. Fresh weight of the shoot was the highest in EM treatment. The highest yield values were obtained from compost treatment. Total and marketable yield values increased by 60.4% and 61.4% with compost treatment, respectively.

**Conclusion:** It was concluded that KMP and KMP+EM applications stand out due to their effects on yield and nutrient uptake. They can be recommended for the sustainability of high yield and soil fertility.

## GİRİŞ

Ülkemizde seracılık, genel olarak iklim avantajından yararlanılarak gerçekleştirildiğinden verim ve kalite kayıpları yaşanmakta, bu kayıpları azaltmak amacıyla üreticiler yoğun olarak gübre, pestisit gibi girdiler kullanmaktadır. Bu uygulamalar zaman içerisinde toprak verimliliğini azaltmakta, hastalık ve zararlılara dayanıklılığı artırmakta, çevre kirliliğine yol açmakta ve insan sağlığını da tehdit etmektedir (Tüzel vd., 2020). Diğer taraftan hızla artan nüfusun gıda gereksiniminin karşılanabilmesi ve iklim değişikliğinin neden olduğu etkilerin azaltılabilmesi için tarımsal üretimin iyi yönetilmesi çok önemli bir konu haline gelmiş ve tarımda sürdürülebilir tekniklerin ve teknolojilerin kullanımı yaygınlık kazanmıştır (Pakdemirli vd., 2021).

Toprak verimliliği açısından en hayati parametre toprak organik maddesidir ve toprakta organik maddenin artırılması C'un tutulması, dengeli ve entegre besin yönetimi için önemlidir. Organik madde miktarının artırılması, kompost, çiftlik gübresi, solucan gübresi, yeşil gübre gibi uygulamalar, malçlama, ürün atıklarının geri dönüşümü, biyolojik inokulasyon gibi farklı teknolojik seçeneklerle yapılabilir (Biswas & Kole, 2017). Organik gübreleme doza bağlı olarak verim ve kalite özelliklerini de iyileştirmektedir (Bozokalfa vd., 2017).

Son yıllarda toprak verimliliğini artırmak, bitki gelişimini teşvik etmek, strese dayanıklılığı artırmak ve biyolojik savaş ajanı olarak da fayda sağlamak amacıyla biyogübre, biyopestisit veya biyostimulant gibi gruplar adı altında biyolojik preparatlar geliştirilmiştir. Bu amaçla bitki gelişimini teşvik eden funguslar ve bakteriler (Pérez-Álvarez et al., 2022), fosfat çözücü bakteriler (Bhardwaj et al., 2022), azot fikse edici bakteriler, mikorizalar (Külahtaş & Çokuysal, 2016), selüloz ayrıştırıcı mikroorganizmalar (Yi et al., 2022), endofit funguslar (Shelke et al., 2022), Trichoderma'lar (Aydın, 2015) ve etkin mikroorganizmalar (Javaid, 2010) gibi pek çok yararlı mikroorganizma kullanılmaktadır.

Etkin Mikroorganizmalar (EM), toprakların mikrobiyal çeşitliliğini artıran, bitki gelişimini, verimliliği ve ürün kalitesini artırmak amacıyla kök bölgesine aşıl原因an faydalı mikroorganizmaların karışık bir kültürüdür. EM'lar doğal ortamlardan izole edilmiş ve faydalı etkileri ile karışık kültürlerdeki uyumlulukları nedeniyle seçilmiş türlerdir (Singh et al., 2011). EM kavramı ve kullanımıyla ilgili araştırmalar 1960'ların sonlarında başlamıştır. Topraklardaki bozulmalar, verimdeki azalmalar, monokültür ile ortaya çıkan yoğun tarımsal kimyasal kullanımının ortaya çıkardığı sorunlara yönelik olarak ortaya çıkan EM'lar 1980'li yıllarda pazarlanabilir bir ürün haline gelmiştir (Higa, 1998).

EM'lar sadece toprak kaynaklı patojenleri baskılamakla kalmaz, organik materyalin parçalanmasını sağlar ve bunun sonucu olarak da besin elementlerini ve önemli organik bileşiklerini bitki için elverişli hale getirir (Singh et al., 2003). Ürün rotasyonu, organik düzenleyicilerin/iyileştiricilerin kullanımı, koruyucu toprak işleme, ürün kalıntısının geri dönüşümü ve zararlıların biyolojik kontrolü gibi en iyi toprak ve ürün yönetimi uygulamaları ile sağlanacak etkiyi önemli ölçüde artırabilir (Javaid, 2010).

EM'in içindeki ana mikroorganizma grupları fotosentetik bakteriler (*Rhodopseudomonas* spp.), laktik asit bakterileri (*Lactobacillus* spp.) ve mayalardır (*Saccharomyces* spp.) (Zuraini et al., 2010). Fotosentetik bakteriler bağımsız, kendi kendine yeten mikroorganizmalardır. Enerjilerini güneşten ve toprak ısısından sağlarlar ve kök sistemlerinden salınan maddeleri, toprak organik fraksiyonunu ve amonyak gibi gazları amino asitler, nükleik asitler ve şekerler gibi hücre yapı malzemelerine dönüştürmek için kullanırlar. EM'daki laktik asit bakterilerinin, EM'daki fotosentetik bakteri ve mayaların ürettiği şeker ve karbonhidratlardan laktik asit ürettiği bilinmektedir. Laktik asit sterilize edici etkiye sahiptir ve topraktaki varlığı nematod popülasyonunun çoğalmasını kontrol eder ve bitki hastalıklarına karşı koruma sağlar. EM'daki laktik asit bakterileri ayrıca topraktaki selüloolitik ve odunsu organik maddelerin parçalanmasında da rol oynar (Ouweland, 1998; Towett, 2016).

EM ilk olarak tarımda pestisitlere bir alternatif olarak ortaya çıkmış, ancak yoğun araştırmalar ve saha çalışmaları, organik atıkları kompostlaştırma, hayvan gübresi kullanımını azaltma ve kirliliği su arıtma gibi çeşitli alanlarda da etkili kullanımlarını ortaya koymuştur (Mohamed et al., 2021). Mikroorganizmaların ilavesi toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini iyileştirir; toprağın organik maddesini, katyon

değişim kapasitesini ve mevcut mineral besin maddelerini artırır ve ayrıca pahalı kimyasal gübrelerin yoğun kullanımını azaltır (Idris & Yusof, 2018).

Organik atıkların değerlendirilmesine olanak sağlayan kompost değerli bir organik materyaldir ve organik gübre ya da toprak iyileştirici olarak kullanılmaktadır (Chang et al., 2006). Kompostlama işleminde EM kullanımı çalışmalarının (Sharma et al., 2014; Fan et al., 2018; Panisson et al., 2021) yanında, kompostun EM'lar ile birlikte kullanılmasının olumlu etkilerinin görülebileceği bildirilmektedir (Hu & Qi, 2015). Bununla birlikte yapılan çalışmalar, organik ve mineral gübre kombinasyonunun iklim değişikliği çerçevesinde geliştirilen akıllı tarımda tekil olarak kullanımlarına göre daha iyi sonuçlar verebileceği konusunda fikir birliği içindedir (Sileshi, 2019; Zerssa et al., 2021). Bu çalışmada da mineral gübreleme ile birlikte etkin mikroorganizmaların ve kompostun ayrı ve birlikte uygulanmasının ısıtmasız sera koşullarında biber yetiştiriciliğinde verime, meyve kalitesine ve yaprak besin elementi içeriğine etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

## MATERYAL ve YÖNTEM

Araştırma, 2022-2023 yıllarında Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümüne ait 12x44 m ölçülerinde polietilen örtü materyali ile örtülmüş, yay çatılı, yan ve çatı havalandırması bulunan araştırma serasında (38°27'17.03"N, 27°14'17.71"E; Bornova-İzmir) gerçekleştirilmiştir.

Denemeye başlamadan önce toprakta bulunan yabancı ot tohumlarını, hastalık etmenlerini ve zararlıları etkisiz hale getirmek için 4 Ağustos 2022 tarihinde 4 hafta süre ile solarizasyon uygulaması yapılmıştır. Bitkisel materyal olarak Pusula 22 F1 (AG Tohum) biber (*Capsicum annum* L.) çeşidi kullanılmıştır ve fideler 'Maki Fide' fide üretim tesisinden temin edilmiştir. Etkin mikroorganizma (EM) olarak bir mikrobiyal kültür karışımı olan Herasim mikrobiyal gübre kullanılmıştır. Bu ürün Herasim Tarım Ürünleri Hayvancılık ve Çevre Bilimleri firmasından (Gebze/Kocaeli) temin edilmiştir. Herasim mikrobiyal gübre, fotosentetik bakteriler (*Rhodopseudomonas palustris*), *Lactobacillus* spp. (*L. lactis*, *L. rhamnosus*, *L. plantarum*, *L. acidophilus*, *L. casei*), mayalar (*Kluyveromyces lactis*, *Saccharomyces cerevisiae*), *Bacillus subtilis*, organik keçiyoynuzu melası, aktif karbon ve kum filtresinden geçmiş su içermektedir ve mikroorganizma sayısı  $1 \times 10^7$ 'dir. Kompost Ecorec Çevre ve Enerji Teknolojileri San. Tic. A.Ş. firmasından temin edilmiştir. Uygulama yapılan kompostun ve toprağın analiz sonuçları Çizelge 1'de verilmiştir.

**Çizelge 1.** Ecorec gübresinin ve sera toprağının bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri

**Table 1.** Some physical and chemical properties of Ecorec fertilizer and greenhouse soil

Analiz	Birim	Toprak (0-30 cm)	Analiz	Birim	Kompost (Ecorec)
pH		8.03			7.30
Toplam Tuz	(dS/m)	1.52			6.35
Kireç	(%)	1.36	KDK	cmol/kg	133.00
Kum	(%)	62.72	C/N	-	12.36
Mil	(%)	22.00	Solvita testi	-	7.00
Kil	(%)	15.28	CO <sub>2</sub> Oluşum Oranı	mg CO <sub>2</sub> -C/g . OM.gün	0.07
Bünye		Kumlu tın	OUR Testi (O <sub>2</sub> Tüketim Hızı)	mg/g.h. OM	0.02
Organik Madde	(%)	1.28			35.70
Toplam N	(%)	0.07	NH <sub>3</sub> -N	%	0.30
Alınabilir P	(mg/kg)	57.70	Toplam P	%	1.60
Alınabilir K	(mg/kg)	246.40	Toplam K <sub>2</sub> O	%	1.80
Alınabilir Ca	(mg/kg)	4561.30	Ca	%	8.90
Alınabilir Mg	(mg/kg)	616.20	Al	%	0.80
Alınabilir Na	(mg/kg)	201.70	Mg	%	1.00
Alınabilir Fe	(mg/kg)	6.63	Fe	%	1.00
Alınabilir Zn	(mg/kg)	3.92	Mn	%	0.02
Alınabilir Cu	(mg/kg)	5.18	Pb	mg/kg %	3.10
Alınabilir Mn	(mg/kg)	14.02	Kararlılık (Dewar Test)	-	Sınıf:V



Araştırmada 5 konu denemeye alınmıştır: (1) Kontrol, (2) Ecorec kompost uygulaması (KMP), (3) EM uygulaması (dikimde ve 15 günde bir sürekli) (EM), (4) Dikimde EM uygulaması +kompost (EM+KMP) ve (5) EM uygulaması (15 günde bir sürekli) +kompost (15EM+KMP). Kontrol dahil olmak üzere tüm uygulamalara toprak analiz sonuçlarına göre 15 gün ara ile fertigasyon şeklinde gübre uygulaması yapılmıştır (Kacar & Katkat, 1999). EM 10 litre suya 100 ml olacak şekilde solüsyon olarak hazırlanmış ve EM uygulanmış tüm parseller için fideler 30 dakika EM solüsyonunda bekletilmiştir. Dikim yerlerine, hazırlanan etkin mikroorganizmadan bitki başına 30 ml dikim öncesi ve 30 ml dikim sonrası uygulama yapılmıştır. 3 ve 5 no'lu uygulamalarda 15 gün aralıkla aynı dozda uygulamalara devam edilmiştir. Kompost dikimden hemen önce ilgili parsellere 200 kg/da olacak şekilde karıştırılmıştır (Memeli, 2023).

Biber fidelerinin dikimi sıra arası ve sıra üzeri mesafeler 60x50 cm (3.33/bitki/m<sup>2</sup>) olacak şekilde 16 Eylül 2022 tarihinde yapılmıştır. Araştırma tesadüf parselleri deneme desenine göre 3 tekerrürlü olarak kurulmuş ve her tekerrürde 11 bitki yer almıştır. Bakım işlemleri Öztekin (2019)'e göre yapılmış ve üretim 21 Haziran 2023 tarihinde sonlandırılmıştır.

Üretim dönemi sonunda her parselden tesadüfi olarak seçilen 3'er bitkide üst aksam yaş ağırlığı ve 65°C'lik sıcaklıkta sabit ağırlığa kadar kurutulan örneklerde kuru ağırlık belirlenmiştir. Bitki kökleri yıkandıktan sonra yaş ve kuru ağırlıkları ölçülmüş ve kuru madde (KM) içerikleri (%) hesaplanmıştır. İlk hasattan son hasada kadar her tekerrürden toplanan meyveler ayrı ayrı tartılıp sayılarak toplam verim ve toplam meyve sayısı belirlenmiştir. Ortalama meyve ağırlığı, toplam verim değerinin toplam meyve sayısına bölünmesiyle elde edilmiştir. Pazarlanamaz olan meyveler ayrıldıktan sonra pazarlanabilir verim değeri ve meyve sayısı bulunmuştur. Üretim döneminde 19 Ocak 2023 tarihinde hasat edilen meyvelerden tesadüfi olarak seçilen 10 meyvenin cetvel yardımıyla boyu, kumpas ile meyve eti kalınlığı ve Minolta CR-300 renk ölçer ile L, a ve b olarak meyve rengi ölçülmüş, a ve b değerlerinden hue ve chroma hesaplanmıştır. Bu meyvelerden blender ile elde edilen süzüklerde Abbe dijital el refraktometresi ile suda çözünebilir kuru madde miktarı ölçülmüş (Karaçalı, 2002), Mettler Toledo SG serisi ile pH ve EC değerleri okunmuş, titre edilebilir asitlik değeri (Karaçalı, 2002) ve okzalik asit ile parçalanarak süzülen örneklerde C vitamini içeriği (Pearson, 1970) belirlenmiştir. Bitkinin büyüme ucundan itibaren 4. ve 5. yapraklarından yaprak örnekleri alınmış, kurutulmuş ve öğütülmüştür. Öğütülen örneklerde makro (N, P, K, Ca, Mg) ve mikro (Fe, Zn, Mn, Cu) besin element içerikleri belirlenmiştir. Toplam azot Bremner (1996)'e göre Kjeldahl yöntemine göre hesaplanmıştır. Diğer besin elementleri örneklerde yaş yakma (HNO<sub>3</sub>+HClO<sub>4</sub>; 4:1) sonrası P, vanadomolibdo fosforik sarı renk yöntemi ile spektrofotometrik olarak (Lott et al., 1956), K, Ca ve Na alev flame (alev) fotometre ile Mg, Fe, Zn, Mn ve Cu ise Atomik Absorbsiyon Spektrofotometrede ölçülmüştür (Kacar & İnal, 2008).

Elde edilen bulgular JMP istatistik programında varyans analizi yapılarak değerlendirilmiştir. Ortalamalar p≤0,05 önem seviyesinde asgari önemli fark testi (LSD) ile karşılaştırılmıştır. Uygulamaların bitki gelişimi, verim, meyve kalitesi ve yapraktaki besin madde içeriğine etkileri, korelasyon mesafesi benzerlik ölçüsü ve hiyerarşik kümeleme için averaj bağlantı metodu ile <https://biit.cs.ut.ee/clustvis/> online paket programı kullanılarak ısı haritası (heatmap) ile görselleştirilmiştir (Carillo et al., 2019). Veriler, kırmızı değerlerin arttığını ve mavi değerlerin azaldığını gösteren yapay bir renk ölçeği kullanılarak derecelendirilmiştir.

## ARAŞTIRMA SONUÇLARI ve TARTIŞMA

### Bitki gelişimi

Bu araştırmada etkin mikroorganizmalar ve kompost sera biber yetiştiriciliğinde ayrı ve birlikte uygulanmış ve biber gelişimi ile ilgili ölçülen parametrelerden toprak üstü aksam ve kök yaş ağırlıklarının uygulamalara göre değişimi istatistik olarak önemli bulunmuştur. Üst aksam yaş ağırlığı EM uygulamasında en yüksek bulunmuş, bunu 15EM+KMP, KMP ve EM+KMP uygulamaları izlemiştir. EM uygulaması kontrol ile karşılaştırıldığında üst aksam yaş ağırlığının %17.9 oranında arttığı belirlenmiştir.

KMP, EM+KMP ve 15EM+KMP uygulamalarında artış sırasıyla %5.08, 5.05 ve 16.58 oranlarında gerçekleşmiştir. Kök yaş ağırlığı ise kompost uygulamasında yüksek bulunmuştur. Uygulamaların toprak üstü aksam ve kök kuru ağırlığı ile kuru madde (biyomas) değerlerine etkileri istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır (Çizelge 2).

**Çizelge 2.** Uygulamaların bitki üst aksam yaş ve kuru ağırlığına etkisi

**Table 2.** Effect of treatments on fresh and dry weight of plant shoot

Uygulama	Yaş ağırlık (g/bitki)		Kuru ağırlık (g/bitki)		Kuru madde (%)	
	Üst aksam	Kök	Üst aksam	Kök	Üst aksam	Kök
Kontrol	977.33±27.32 b	120.00±0.01 b	198.00±14.00	29.33±1.53	20.29±1.90	22.10±2.08
KMP	1027±102.27 ab	142.33±2.52 a	215.00±19.00	27.33±1.53	20.97±1.16	19.25±1.31
EM	1152.33±54.50 a	115.33±1.53 b	250.33±39.50	29±4.58	21.65±2.41	25.14±3.96
EM+KMP	1026.67±67.10 ab	106.00±3.00 c	200.33±22.50	27±2.00	19.48±1.10	25.45±1.17
15EM+KMP	1139.33±34.50 ab	116.00±1.00 b	234±5.0	28.33±2.52	20.56±1.06	24.41±1.96
LSD <sub>0.05</sub>	*	**	ö.d.	ö.d.	ö.d.	ö.d.
<i>Ortalama</i>	<i>1064.53</i>	<i>119.93</i>	<i>219.53</i>	<i>28.20</i>	<i>20.59</i>	<i>23.26</i>

(1) Kontrol (sadece mineral gübreleme), (2) KMP, Ecorec organik kompost gübre uygulaması, (3) EM uygulaması (dikimde ve 15 günde bir sürekli), (4) EM+KMP, dikimde EM uygulaması +kompost ve (5) 15EM+KMP, EM uygulaması (15 günde bir sürekli) +kompost. \*\*P≤0.01, \*P≤0.05 önem düzeyi, ö.d.: önemsiz değer.

Toprağa ilave edilen uygulamaların kullanılması ile bitki gelişim parametrelerinde ortaya çıkan artışların, bu tür uygulamaların doğal toprak düzenleyici/iyileştirici özelliklerinden, toprağın su tutma ve verimlilik artırma gibi temel rollerinden kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir. Bu uygulamalar besin elementlerini şelatlayarak bitki kökleri tarafından alınmaya daha uygun hale getirir, kök büyümesini teşvik eder. Ayrıca sitokininler, gibberellinler ve oksinler gibi büyüme düzenleyicileri için bir kaynak sağlar ve Na'nın toprak parçacıklarının yüzeyinde Ca ve Mg ile yer değiştirmesine neden olur (Mohamed et al., 2021). Siyah mercimekte etkin mikroorganizmalar tarafından meyve atıklarının parçalanması ile elde edilen kompostun vegetatif gelişmeyi artırdığı (Namasivayam & Bharani, 2012), biber fidelerine uygulanan EM ve biyostimulant (FitoMas-E®) uygulamasının bitki boyu, yaprak sayısı, gövde çapı, kök uzunluğu ve üst aksam ve kök yaş ve kuru ağırlıkları gibi morfolojik özellikleri artırdığı (González et al., 2021) bildirilmektedir.

## Verim

Uygulamaların toplam ve pazarlanabilir verim, toplam ve pazarlanabilir meyve sayısı ve ortalama meyve ağırlığı üzerine etkileri istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (Çizelge 3).

**Çizelge 3.** Uygulamaların verim özelliklerine etkisi

**Table 3.** Effect of treatments on yield characteristics

Uygulama	Toplam verim (kg/m <sup>2</sup> )	Pazarlanabilir verim (kg/m <sup>2</sup> )	Toplam meyve sayısı (adet/m <sup>2</sup> )	Pazarlanabilir mey. sayısı (adet/m <sup>2</sup> )	Ort. meyve ağırl. (g/adet)
Kontrol	3.39±0.15 c	3.34±0.17 c	625.00±54.84 b	616.33±56.80 b	18.54±1.86 c
KMP	5.44±0.55 a	5.39±0.51 a	709.00±5.00 ab	705.50±5.50 ab	24.61±2.28 ab
EM	4.63±0.18 b	4.57±0.17 b	675.67±33.50 ab	666.00±29.46 ab	22.62±0.51 a-c
EM+KMP	5.24±0.22 ab	5.2±0.22 ab	720.00±46.00 ab	716.00±47.00 a	25.38±1.20 a
15EM+KMP	4.51±0.06 b	4.48±0.06 b	755.33±20.13 a	751.67±19.22 a	19.70±0.40 bc
LSD <sub>0.05</sub>	**	**	*	*	**
<i>Ortalama</i>	<i>4.64</i>	<i>4.60</i>	<i>697.00</i>	<i>691.10</i>	<i>22.17</i>

(1) Kontrol (sadece mineral gübreleme), (2) KMP, Ecorec organik kompost gübre uygulaması, (3) EM uygulaması (dikimde ve 15 günde bir sürekli), (4) EM+KMP, dikimde EM uygulaması +kompost ve (5) 15EM+KMP, EM uygulaması (15 günde bir sürekli) +kompost. \*\*P≤0.01, \*P≤0.05 önem düzeyi, ö.d.: önemsiz değer.

En yüksek verim değerleri kompost uygulamasından alınmıştır. Kompost uygulaması ile toplam ve pazarlanabilir verim değerleri sırasıyla %60.4 ve %61.4 artmıştır. Kompost uygulamasından sonra 2. grupta yer alan EM+KMP uygulaması ile %54.6 ve %55.69 oranlarında kontrole göre verim artışı sağlanmıştır. Bu artış değerleri önceki çalışmalarla uyumludur (Kodippili & Nimalan, 2018; Yu et al., 2019). Toplam meyve sayısı 625.00 ile 755.33 adet arasında değişmiştir. 15EM+KMP uygulamasında en fazla meyve sayısı elde edilmiştir. Uygulamalar arasındaki farklılıkta özellikle ortalama meyve ağırlığının da etkili olduğu dikkat çekmiştir. En yüksek ortalama meyve ağırlığı EM+KMP uygulamasında belirlenmiş, bunu KMP ve EM uygulamaları izlemiştir (Çizelge 3).

### Meyve kalitesi

Uygulamaların meyve çapı haricinde meyve kalite özelliklerine etkisi, istatistiki olarak önemli bulunmamıştır. Meyve boyu 19.90 ile 21.13 cm, meyve et kalınlığı 3.15 ile 3.63 mm, SÇKM değerleri %4.07 ile 4.37, TA 1.39 ile 1.68 mval/100 ml, kuru madde içeriği %5.98 ile 6.56 arasında değişmiştir. Meyve çapının özellikle EM, EM+KMP ve 15EM+KMP uygulamalarında yüksek olduğu belirlenmiştir. Meyve suyunun ortalama EC ve pH değerleri sırasıyla 4.13 dS/m ve 6.02 dS/m olmuştur (Çizelge 4). Uygulamaların L, Hue ve Croma değerlerine etkisi de istatistiki olarak önemli bulunmamıştır (Çizelge 5).

**Çizelge 4.** Uygulamaların meyve kalite özelliklerine etkisi

**Table 4.** Effect of treatments on fruit quality characteristics

Uygulama	Boy (cm)	Çap (cm)	Et Kalınlığı (mm)	SÇKM (%)	TA (mval/100 ml)	KM (%)	EC (dS/m)	pH
Kontrol	20.15±0.48	21.79±0.51 b	3.15±0.19	4.20±0.01	1.39±0.07	6.36±0.25	3.79±0.96	6.13±0.06
KMP	20.37±0.66	23.31±0.40 ab	3.32±0.47	4.17±0.21	1.55±0.21	6.15±0.30	4.27±0.19	6.03±0.14
EM	21.13±1.24	24.17±0.54 a	3.63±0.37	4.37±0.15	1.68±0.43	6.01±0.04	3.88±0.41	5.96±0.03
EM+KMP	20.14±0.58	23.89±1.01 a	3.29±0.29	4.20±0.17	1.52±0.27	6.56±0.24	4.39±0.03	5.94±0.04
15EM+KMP	19.90±0.52	24.68±0.41 a	3.22±0.25	4.07±0.06	1.43±0.25	5.98±0.17	4.32±0.21	6.06±0.13
LSD <sub>0.05</sub>	ö.d.	**	ö.d.	ö.d.	ö.d.	ö.d.	ö.d.	ö.d.
<i>Ortalama</i>	<i>20.35</i>	<i>23.57</i>	<i>3.32</i>	<i>4.20</i>	<i>1.51</i>	<i>6.21</i>	<i>4.13</i>	<i>6.03</i>

(1) Kontrol (sadece mineral gübreleme), (2) KMP, Ecorec organik kompost gübre uygulaması, (3) EM uygulaması (dikimde ve 15 günde bir sürekli), (4) EM+KMP, dikimde EM uygulaması +kompost ve (5) 15EM+KMP, EM uygulaması (15 günde bir sürekli) +kompost. \*\*P≤0.01, \*P≤0.05 önem düzeyi, ö.d.: önemsiz değer.

**Çizelge 5.** Uygulamaların meyve rengine etkisi

**Table 5.** Effect of treatments on fruit color

Uygulama	L	Hue	Chroma
Kontrol	37.74±1.70	55.07±0.94	25.61±1.00
KMP	37.63±0.17	54.82±0.50	24.32±1.00
EM	37.66±0.32	55.06±1.77	24.23±1.46
EM+KMP	38.39±0.45	54.54±0.25	25.31±0.36
15EM+KMP	37.70±0.65	54.60±0.40	24.61±0.55
LSD <sub>0.05</sub>	ö.d.	ö.d.	ö.d.
<i>Ortalama</i>	<i>37.82</i>	<i>54.82</i>	<i>24.82</i>

(1) Kontrol (sadece mineral gübreleme), (2) KMP, Ecorec organik kompost gübre uygulaması, (3) EM uygulaması (dikimde ve 15 günde bir sürekli), (4) EM+KMP, dikimde EM uygulaması +kompost ve (5) 15EM+KMP, EM uygulaması (15 günde bir sürekli) +kompost. \*\*P≤0.01, \*P≤0.05 önem düzeyi, ö.d.: önemsiz değer.

### Yaprak besin elementi içeriği

Makro element içeriği olarak, uygulamaların toplam N, P ve Mg değerlerini istatistiki olarak etkilediği görülmüştür. Toplam N ve P içeriği en düşük olarak kontrol uygulamasından sırasıyla %3.70 ve

0.31 ve en yüksek değer olarak toplam N değeri % 4.44 ile EM+KMP uygulamasında ve P değeri ise 15EM+KMP, EM+KMP ve KMP uygulamalarında sırasıyla %0.46, 0.40 ve 0.45 olarak saptanmıştır. Potasyum ve Ca elementlerinde uygulamaların önemli bir etkisi olmamış ve K elementi değeri %4.19-4.94, Ca ise %4.37-5.46 aralığında saptanmıştır. Mg içeriğinin de 15EM+KMP uygulamasında % 0.55 ile en yüksek değeri ve % 0.39 ile kontrol uygulamasında en küçük değeri aldığı belirlenmiş, diğer uygulamalar ikinci grupta yer almıştır (Çizelge 6).

**Çizelge 6.** Uygulamaların yaprak makro besin elementleri üzerine etkisi

**Table 6.** Effect of treatments on leaf macronutrients

Uygulama	Toplam N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)
Kontrol	3.70±0.41 b	0.31±0.02 b	4.19±0.14	4.83±0.65	0.39±0.03 b
KMP	4.30±0.17 ab	0.45±0.03 a	4.94±0.38	4.37±0.17	0.40±0.03 b
EM	4.30±0.17 ab	0.38±0.03 ab	4.54±0.47	4.59±0.41	0.41±0.02 b
EM+KMP	4.44±0.18 a	0.40±0.05 a	4.54±0.18	4.50±0.31	0.45±0.04 b
15EM+KMP	4.16±0.09 ab	0.46±0.03 a	4.66±0.08	5.46±0.19	0.55±0.04 a
LSD <sub>0.05</sub>	*	**	ö.d.	ö.d.	**
<i>Ortalama</i>	<i>4.18</i>	<i>0.40</i>	<i>4.58</i>	<i>4.71</i>	<i>0.44</i>

(1) Kontrol (sadece mineral gübreleme), (2) KMP, Ecorec organik kompost gübre uygulaması, (3) EM uygulaması (dikimde ve 15 günde bir sürekli), (4) EM+KMP, dikimde EM uygulaması +kompost ve (5) 15EM+KMP, EM uygulaması (15 günde bir sürekli) +kompost. \*\*P≤0.01, \*P≤0.05 önem düzeyi, ö.d.: önemsiz değer.

Mikro elementlerden Fe ve Cu'nun değişimi istatistiki olarak önemli bulunmuştur. Fe içeriği bakımından en yüksek değer 15EM+KMP (235.31 mg/kg) ve Kontrol (213.86 mg/kg) uygulamalarından, en düşük değer ise diğer uygulamalardan alınmıştır. Bakır değeri KMP uygulamasında 43.40 mg/kg ile en yüksek değer olarak bulunmuştur (Çizelge 7). Mangan 144.06-172.88 mg/kg ve Zn ise 65.16-77.06 mg/kg değerleri arasında saptanmıştır.

**Çizelge 7.** Uygulamaların yaprak mikro besin elementleri üzerine etkisi

**Table 7.** Effect of treatments on leaf micronutrients

Uygulama	Mn (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Cu (mg/kg)
Kontrol	144.06±3.84	213.86±10.12 a	65.16±2.28	37.21±0.01 bc
KMP	156.15±14.21	163.84±0.85 b	72.96±2.04	43.40±2.91 a
EM	144.41±10.70	150.76±6.45 b	66.71±7.54	34.12±0.59 c
EM+KMP	149.18±13.11	160.87±10.68 b	67.53±5.73	33.11±3.23 c
15EM+KMP	172.88±12.68	235.31±20.60 a	77.06±2.94	41.56±1.59 ab
LSD <sub>0.05</sub>	ö.d.	**	ö.d.	**
<i>Ortalama</i>	<i>153.34</i>	<i>184.93</i>	<i>69.88</i>	<i>37.88</i>

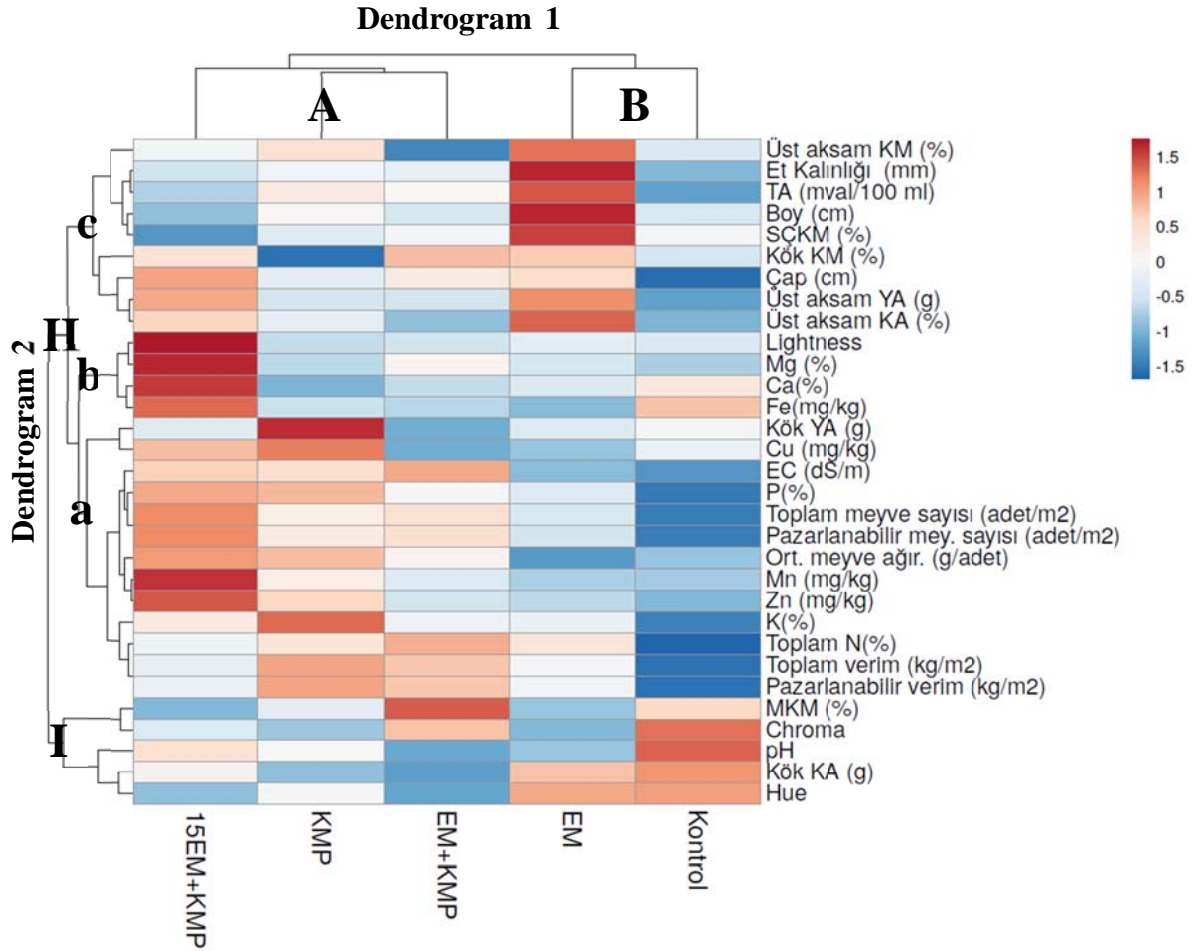
(1) Kontrol (sadece mineral gübreleme), (2) KMP, Ecorec organik kompost gübre uygulaması, (3) EM uygulaması (dikimde ve 15 günde bir sürekli), (4) EM+KMP, dikimde EM uygulaması +kompost ve (5) 15EM+KMP, EM uygulaması (15 günde bir sürekli) +kompost. \*\*P≤0.01, \*P≤0.05 önem düzeyi, ö.d.: önemsiz değer.

Biber bitkilerinin yeterli beslendiği koşullarda yapraklarda bulunması gereken bitki besin elementi içerikleri Jones et al. (1991) tarafından gelişme dönemi ortasındaki yapraklardaki optimum element değerleri olarak N (% 3.50-5.00), P (%0.22-0.70), K (%3.50-4.50), Ca (% 1.30-2.80), Mg (% 0.30-1.00), Mn (50-250 mg/kg), Fe (60-300 mg/kg), Zn (20-200 mg/kg) ve Cu (6-25 mg/kg) elementleri değerlerine göre değerlendirildiğinde biberde beslenme düzeyi açısından yeterli düzeyde olduğu görülmüştür. EM+KMP uygulamasında yaprakların özellikle toplam N ve fosfor içeriğinin arttığı belirlenmiştir. Önceki çalışmalarda da kompostun bitki gelişimini teşvik ettiği (Özenç & Hut, 2018), kompost uygulamasının biber de verimi, toprakta toplam N, kullanılabilir P, K, Ca, Mg ve Na içeriğini (Çerçioğlu, 2019) arttırdığı bildirilmektedir. Bitki gelişimini teşvik eden kök bakterilerinin kompost ile

karıştırıldıktan sonra kullanımının biber verimini (Yu et al., 2019), çok özelliikli bakteri konsorsiyumu (*Azospirillum*, *Arthrobacter*, and *Pseudomonas* spp.) ve mikro elementlerce zenginleştirilmiş kompostun Şili biberi ve domateste biyokütleyi, verimi, N ve P içeriğini artırdığı bildirilmektedir (Imran et al., 2022) ve sonuçlarımızla uyum içindedir.

### Ölçümü yapılan parametrelerin ısı haritası

Araştırmada denemeye alınan uygulamaların ısıtmasız sera koşullarındaki biber yetiştiriciliğine etkilerinin görsel bir karşılaştırmasını yapmak amacıyla ölçümü yapılan parametrelerde toplu bir veri kümeleme ısı harita analizi yapılmıştır (Şekil 1).



**Şekil 1.** Deneme konularının biber yetiştiriciliğine etkilerini özetleyen ısı harita analizi.

**Figure 1.** Figure 1. Heat map analysis summarizing the effects of treatments on pepper cultivation.

Isı haritası analizi 2 dendrogram ortaya çıkarmıştır. Dendrogram 1, deneme konularını, dendrogram 2'de dağılımı etkileyen parametreleri göstermektedir. Dendrogram 1'de iki ana grup oluşmuş, soldaki küme (A) KMP ve KMP ile EM uygulamalarını, sağdaki küme (B) EM ve kontrol uygulamalarını kapsamıştır. Dendrogram 1 altındaki 15EM+KMP konusu L değeri, yaprak Mg, Ca, Mn, Zn Fe, Cu içeriği, toplam ve pazarlanabilir meyve sayısı, KMP kök yaş ağırlığı, K içeriği, toplam ve pazarlanabilir verim, EM+KMP meyve kuru madde içeriği, toplam N, toplam ve pazarlanabilir verim, kök kuru maddesi ve chroma değeri, EM uygulaması bazı meyve kalite (SÇKM, TA, et kalınlığı, Hue) ve bitki gelişim (üst aksam yaş ve kuru ağırlığı, kök yaş ağırlığı) ve kontrol meyve suyu pH'sı, chroma, hue ve kök yaş ağırlığı parametrelerini etkilediğinden gruplara ayrılmıştır. Dendrogram 2'de deneme konularının etkilerini açık

olarak ortaya koyacak şekilde ölçümü yapılan parametreleri gruplamıştır. Dendrogram 2'nin ilk salkımında (I) kontrolde yüksek değerler veren meyve kuru maddesi, chroma, hue değeri, meyve suyu pH'sı ve kök kuru ağırlığı toplanmışken, diğer salkımlarda (II) verim ve yaprak element içerikleri ikinci salkım altında alt salkımlar oluşturmuştur. Alt salkımlar kendi içerisinde incelendiğinde II-a verim parametreleri ile birlikte bazı besin elementi parametreleri ve Cu içeriği ve kök yaş ağırlığı değerlerini bir araya getirmiştir. II-b salkımında ise Mg, Ca ve Fe değerleri ve L değeri toplanmışken II-c salkımında bitki gelişimi ile ilgili veriler meyve et kalınlığı, boy ve çapı, SÇKM ve TA değerleri gruplanmıştır. Özellikle EM+KMP ve KMP uygulamalarında yaprak makro ve mikro element içeriklerinin yüksek olduğu dikkati çekmektedir (Mohamed et al., 2021; Imran et al., 2022; Memeli, 2023).

Toprak ekosistemi, sinerji içinde birlikte çalışan patojenik ve çok sayıda yararlı mikroorganizma arasındaki ilişkiyi dengelemektedir. Yararlı saprobik mikroflora, toprağın organik materyalini fermente ederek ayrıştırmakta ve bitkiler için besin havuzuna katkı sağlarken, ilave olarak toprağın nem ve besin maddesi tutma kapasitelerine yardımcı olan toprak parçacıklarını da arttırmaktadır (Naik et al., 2020). Organik gübreler ve yararlı mikroorganizmalar toprak kalitesini iyileştirmek, bitki büyümesini teşvik etmek ve bitkileri patojenlerden korumak için kullanılabilir (Kasmaei et al., 2019; Kucuk, 2019).

Elde edilen veriler değerlendirildiğinde KMP ve EM+KMP uygulamalarının verim ve bitki besin elementi alımına etkileri nedeniyle ön plana çıktığı, yüksek verim ve toprak verimliliğinin sürdürülebilirliği açısından tavsiye edilebilecek uygulamalar olduğu sonucuna varılmıştır.

### **Veri kullanılabilirliği**

Veriler makul talep üzerine sağlanabilmektedir.

### **Yazar Katkıları**

Çalışmanın konsepti ve tasarımı: YT; örnek toplama: ET; verilerin analizi ve yorumlanması: ET, YT, MT, TD; istatistiksel analiz: ET, TD; görselleştirme: YT, TD; makalenin yazımı: ET, YT, MT.

### **Çıkar çatışması**

Bu çalışmada yazarlar arasında çıkar çatışması bulunmamaktadır.

### **Etik Beyan**

Bu araştırma için etik kurula ihtiyaç olmadığını beyan ederiz.

### **Finansal destek**

Bu çalışma Ege Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından finansal olarak desteklenmiştir (BAP-YLT, Proje No; 28490). Yazarlar finansal destek için teşekkür eder.

### **Makale Açıklaması**

Bu makale Editör Dr. Emrah ZEYBEKOĞLU tarafından düzenlenmiştir.

## **KAYNAKLAR**

- Aydın, M.H., 2015. Bitki fungal hastalıklarıyla biyolojik savaşta Trichoderma'lar. Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi, 2: 135-148. <https://doi.org/10.19159/tutad.10042>.
- Bhardwaj, S., R. Kaushal, P. Jhila, A. Rana & B. Dipta, 2022. "Phosphate Solubilizing Microorganisms: Potential Bioinoculants for Sustainable Agriculture." In: Beneficial Microorganisms in Agriculture - Environmental and Microbial Biotechnology. (Eds. R. Prasad & S.H. Zhang), Springer, Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-19-0733-3\\_5](https://doi.org/10.1007/978-981-19-0733-3_5)
- Biswas, T. & S.C. Kole, 2017. "Soil Organic Matter and Microbial Role in Plant Productivity and Soil Fertility, 219-238". In: Advances in Soil Microbiology: Recent Trends and Future Prospects - Microorganisms for Sustainability, Vol 4 (Eds. T. Adhya, B. Mishra, K. Annapurna, D. Verma & U. Kumar), Springer, Singapore, 238 pp. [https://doi.org/10.1007/978-981-10-7380-9\\_10](https://doi.org/10.1007/978-981-10-7380-9_10)

- Bozokalfa, M.K., T. Kaygısız Aşçıoğu, D. Eşiyok & M. Tepecik, 2017. Çiftlik gübresi uygulamalarının lahanada (*Brassica oleraceae* L. var. capitata) kök kereviz (*Apium graveolens* L. var. rapaceum) ve pırasa (*Allium ampeloprasum*) yetiştiriciliğinde verim ve kalite özellikleri üzerine etkisi. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 54 (2): 239-247. <https://doi.org/10.20289/zfdergi.387379>
- Bremner, J.M., 1996. "Nitrogen Total, 1085-1122". In: Methods of Soil Analysis Part 3: Chemical Methods, SSSA Book Series 5 (Eds. D.L. Sparks), Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, 1390 pp.
- Carillo, P., G. Colla, C. El-Nakhel, P. Bonini, L. D'Amelia, E. Dell'Aversana, A. Pannico, M. Giordano, M.I. Sifola & M.C. Kyriacou, 2019. Biostimulant application with a tropical plant extract enhances *Corchorus olitorius* adaptation to sub-optimal nutrient regimens by improving physiological parameters. *Agronomy*, 9: 249. <https://doi.org/10.3390/agronomy9050249>
- Çerçioğlu, M., 2019. Compost effects on soil nutritional quality and pepper (*Capsicum annuum* L.) yield. *Tarım Bilimleri Dergisi-Journal of Agricultural Sciences*, 25: 155-162. <https://doi.org/10.15832/ankutbd.396547>
- Chang, J., J. Tsai, J & K. Wu, 2006. Composting of vegetable waste. *Waste Management & Research: the Journal of the International Solid Wastes and Public Cleansing Association, ISWA*. 24: 354-62. <https://doi.org/10.1177/0734242X06065727>
- Fan, Y.V., C.T. Lee, J.J. Klemeš, L.S. Chua, M.R. Sarmidi & C.W. Leow, 2018. Evaluation of effective microorganisms on home scale organic waste composting. *Journal of Environmental Management*, 216: 41-48. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.04.019>
- González, R., J. Ramos, Y. Pérez Hernández, I. Placeres-Espinosa, S. Jardines González & S.L. Jiménez, 2021. Use of effective microorganisms and FitoMas-E® to increase the growth and quality of pepper (*Capsicum annuum* L.) seedlings. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 74: 9699-9706. <https://doi.org/10.15446/rfnam.v74n3.90588>
- Higa, T., 1998. *Effective Micro-organisms - For Sustainable Agriculture and Healthy Environment*. Jan van Arkel, Utrecht, 191 pp.
- Hu, C. & Y. Qi, 2013. Effective microorganisms and compost favor nematodes in wheat crops. *Agronomy for Sustainable Development*, 33 (3): 573-579. <https://doi.org/10.1007/s13593-012-0130-9ff>
- Idris, I.H.M. & N.Z Yusof, 2018. Development of low thermal mass cement-sand block utilizing peat soil and effective microorganism. *Case Studies in Construction Materials*, 8: 8-15. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2017.11.004>
- Imran, A, F. Sardar, Z. Khaliq, M.S. Nawaz, A. Shehzad, M. Ahmad, S. Yasmin, S. Hakim, B.S. Mirza, F. Mubeen & M.S. Mirza, 2022. Tailored bioactive compost from agri-waste improves the growth and yield of chili pepper and tomato. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 24 (9): 787-764. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2021.787764>
- Javid, A., 2010. "Beneficial Microorganisms for Sustainable Agriculture, 347-369". In: *Genetic Engineering, Biofertilisation, Soil Quality and Organic Farming. Sustainable Agriculture Reviews*, vol 4. (Ed: E. Lichtfouse), Springer, Dordrecht, 414 pp. [https://doi.org/10.1007/978-90-481-8741-6\\_12](https://doi.org/10.1007/978-90-481-8741-6_12)
- Jones, Jr., J.B., B. Wolf & H.A Mills, 1991. *Plant Analysis Handbook. A Practical Sampling, Preparation, Analysis, and Interpretation Guide*. Micro-Macro Inc., Athens, 213 pp.
- Kacar, B. & A. İnal, 2008. *Bitki Analizleri*. Nobel Yayın Dağıtım Ltd. Şti. Yayınları No: 1241, Fen Bilimleri: 63, (I. Basım), 892 s, Ankara.
- Kacar, B. & A.V. Katkat, 1999. *Gübreler ve Gübreleme Tekniği*. Uludağ Üniv. Güçlendirme Vakfı Yayın No:144, VİPAŞ Yayın No:20. Bursa, 531 s.
- Karaçalı, İ., 2002. *Bahçe Ürünlerinin Muhafaza ve Pazarlanması*. Ege Üniversitesi Basımevi, Bornova/İzmir, 486 s.
- Kasmaei, L.S., J. Yasrebi, M. Zarei, A. Ronaghi, R. Ghasemi, M.J. Saharkhiz, Z. Ahmadabadi & E. Schnug, 2019. Influence of plant growth promoting rhizobacteria, compost, and biochar of azolla on rosemary (*Rosmarinus Officinalis* L.) growth and some soil quality indicators in a calcareous soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 50 (2): 119-131. <https://doi.org/10.1080/00103624.2018.1554669>
- Kodippili, K. & J. Nimalan, 2018. Effect of Homemade Effective microorganisms on the growth and yield of chilli (*Capsicum annuum*) MI-2. *AGRIEAST: Journal of Agricultural Sciences*. 12: 27. <https://doi.org/10.4038/agrieast.v12i2.57>
- Kucuk, C., 2019. Bitki probiyotik bakteriler: bitkiler üzerindeki rolleri ve uygulamalar. *International Journal of Life Sciences and Biotechnology*. 2 (1): 1-15. <https://doi.org/10.38001/ijlsb.492415>



- Külahtaş, B. & B. Çokuysal, 2016. Biyostimulantların sınıflandırılması ve Türkiye'deki durumu. Çukurova Tarım Gıda Bilimleri Dergisi, 31 (3): 185-200.
- Lott, W.L., J.P. Nery, J.R. Gall & J.C. Medcoff, 1956. Leaf Analysis Techniques in Coffee Research. IBEC Research Institute Publication, 9: 21-24.
- Memeli, I., 2023. Sera Hıyar Yetiştiriciliğinde Kompost ve Yararlı Kök Bakterisi Kullanımının Etkileri. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (Basılmamış) Yüksek Lisans Tezi. Bornova, İzmir, 92 s.
- Mohamed, M.H.M., R. Sami, A.A.M. Al-Mushhin, M.M.E. Ali, H.S. El-Desouky, K.A. Ismail, R. Khalil & R.M.Y. Zewail, 2021. Impacts of effective microorganisms, compost Tea, fulvic Acid, yeast extract, and foliar spray with seaweed extract on sweet pepper plants under greenhouse conditions. Plants 10: 1927. <https://doi.org/10.3390/plants10091927>
- Naik, K., S. Mishra, H. Srichandan, P.K. Singh & A. Choudhary, 2020. Microbial formulation and growth of cereals, pulses, oilseeds and vegetable crops. Sustainable Environment Research. 30: 10. <https://doi.org/10.1186/s42834-020-00051-x>
- Namasivayam, S.K.R. & R.S.A. Bharani, 2012. Effect of compost derived from decomposed fruit wastes by effective microorganism (EM) technology on plant growth parameters of *Vigna mungo*. Journal of Bioremediation & Biodegradation, 3: 167. <https://doi.org/10.4172/2155-6199.1000167>
- Ouwehand, A.C., 1998. "Antimicrobial Components from Lactic Acid Bacteria, 139-159". In: Lactic Acid Bacteria: Microbiology and Functional Aspects (Eds. S. Salminen & A.V. Wright AV), 2nd Ed., Marcel Dekker Inc., New York, USA, 656 pp.
- Özenç, D.B. & D. Hut, 2018. Çay çöpü kompostu ve tuz uygulamalarının biber bitkisinin gelişimine etkileri. Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi 6 (2): 86-94.
- Öztekin, G.B., 2019. Serada Biber Yetiştiriciliği. Nobel Akademik Yayıncılık, Ankara, 127 s, 978-605-033-131-8.
- Pakdemirli, B., N. Birişik, İ. Aslan, B. Sönmez & M. Gezici, 2021. Türk tarımında dijital teknolojilerin kullanımı ve tarım-gıda zincirinde tarım 4.0. Toprak Su Dergisi 10 (1): 78-87. <https://doi.org/10.21657/topraksu.898774>
- Panisson, R., F. Paiva Muscope, C. Müller, H. Treichel & E.P. Korf, 2021. Increased quality of small-scale organic compost with the addition of efficient microorganisms. Brazilian Journal of Environmental Sciences, 56 (3): 531-540. <https://doi.org/10.5327/Z21769478949>
- Pearson, D., 1970. The Chemical Analysis of Foods. Chemical Publishing Co Inc, New York, USA, 604 pp.
- Pérez-Álvarez, S., E.F. Hector Ardisana, M.A. Magallanes-Tapia, C.M. Escobedo Bonilla, C. Urias Garcia, M. Magana Gonzalez, M.A. Flores-Cordova & S. Guerra-Morales, 2022. "Microorganisms Used as Growth Regulators in Modern Agriculture, 37-84". In: Beneficial Microorganisms in Agriculture. Environmental and Microbial Biotechnology (Eds. R. Prasad & S.H. Zhang), Springer, Singapore, 348 pp. [https://doi.org/10.1007/978-981-19-0733-3\\_2](https://doi.org/10.1007/978-981-19-0733-3_2)
- Sharma, A., R. Sharma & A. Arora, 2014. Insights into rapid composting of paddy straw augmented with efficient microorganism consortium. International Journal of Recycling Organic Waste in Agriculture, 3: 54. <https://doi.org/10.1007/s40093-014-0054-2>
- Shelke, D.B., M.R. Chambhare & H. Sonawane, 2022. "Fungal Endophytes: Potential Benefits of Their Future Use in Plant Stress Tolerance and Agriculture, 177-209". In: Beneficial Microorganisms in Agriculture. Environmental and Microbial Biotechnology (Eds. R. Prasad & S.H. Zhang), Springer, Singapore, 348 pp. [https://doi.org/10.1007/978-981-19-0733-3\\_7](https://doi.org/10.1007/978-981-19-0733-3_7)
- Sileshi, G.W., 2019. Nutrient Use Efficiency and crop yield response to the combined application of cattle manure and inorganic fertilizer in Sub-Saharan Africa. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 113: 181-199.
- Singh, D.S., S. Chand, M. Anvar & D.D. Patra, 2003. Effect of organic and inorganic amendment on growth and nutrient accumulation by Isabgol (*Plantago ovata*) in sodic soil under greenhouse conditions. Journal of Medicinal and Aromatic Plant Sciences, 25: 414-419.
- Singh, J.S., V.C. Pandey & D.P. Singh, 2011. Efficient soil microorganisms: A new dimension for sustainable agriculture and environmental development. Agriculture, Ecosystems & Environment 140 (3-4): 339-353. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.01.017>
- Towett, G., 2016. What are effective microorganisms? Permaculture Research Institute, 10pp.



- Tüzel, Y., A. Gül, G.B. Öztekin, S. Engindeniz, F. Boyacı, H. Duyar, E. Cebeci & T. Durdu, 2020. "Türkiye'de Örtüaltı Yetiştiriciliği ve Yeni Gelişmeler, Cilt 2, 725-750". Türkiye Ziraat Mühendisliği IX. Teknik Kongresi, 895 s.
- Yi, W., Z. Ziyu, Y. Shujun, L. Hao, A. Noman & S.H. Zhang, 2022. "Cellulose Degradation Microorganisms and Environmental-Friendly Solution to the Agricultural Waste Management, 307-328". In: Beneficial Microorganisms in Agriculture - Environmental and Microbial Biotechnology (Eds. R. Prasad & S.H. Zhang), Springer, Singapore, 348 pp. [https://doi.org/10.1007/978-981-19-0733-3\\_13](https://doi.org/10.1007/978-981-19-0733-3_13)
- Yu, Y.Y., S.M. Li, J.P. Qui, J.G. Li, Y.M. Luo & J.H. Guo, 2019. Combination of agricultural waste compost and biofertilizer improves yield and enhances the sustainability of a pepper field. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 182: 560-569. <https://doi.org/10.1002/jpln.201800223>
- Zerssa G.W., D-G. Kim, P. Koal & B. Eichler-Löbermann, 2021. Combination of compost and mineral fertilizers as an option for enhancing maize (*Zea mays* L.) Yields and Mitigating Greenhouse Gas Emissions from a Nitisol in Ethiopia. Agronomy 11 (11): 2097. <https://doi.org/10.3390/agronomy11112097>
- Zuraini, Z., G. Sanjay & M. Noresah, 2010. "Effective microorganism (EM) technology for water quality restoration and potential for sustainable water resources and management, 155-192". Proceedings of the 5<sup>th</sup> International Congress on Environmental Modelling and Software Modelling for Environment's Sake (5th- 8th July 2010, Ontario Canada), 2682 pp.



## Derleme (Review)

Ege Üniv. Ziraat Fak. Derg., 2024, 61 (1):125-142  
<https://doi.org/10.20289/zfdergi.1388506>

İbrahim DURMUŞ<sup>1\*</sup>

İlknur GÜCÜYETER<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Bayburt Üniversitesi, Sosyal Bilimler Meslek Yüksekokulu, Ulaştırma Hizmetleri Bölümü, 69000, Baberti Külliyesi, Bayburt, Türkiye

<sup>2</sup> Atatürk Üniversitesi, Horasan Meslek Yüksekokulu, Ulaştırma Hizmetleri Bölümü, 25800, Horasan, Erzurum, Türkiye

\* Sorumlu yazar (Corresponding author):

[ibrahimdurmus@bayburt.edu.tr](mailto:ibrahimdurmus@bayburt.edu.tr)

**Anahtar sözcükler:** Bibliyometrik analiz, çevre, organizasyonlar, sera gazları

**Keywords:** Bibliometric analysis, environment, organizations, greenhouse gases

# Karbon ayak izi ve yeşil organizasyon kavramlarına yönelik bibliyometrik araştırmalar

## Bibliometric research on carbon footprint and green organization concepts

Received (Alınış): 09.11.2023

Accepted (Kabul Tarihi): 08.03.2024

### ÖZ

**Amaç:** Karbon ayak izi ve yeşil organizasyon araştırmaları; yazarların vurguladığı kavramlara, kavramların birbirleri ile ilişkilerine, yıllar itibari ile popüler olan kelimelere, ülkeler açısından yazarlara ilişkin araştırma oranlarına açıklık getirmektir.

**Materyal ve Yöntem:** Scopus ve WoS veri tabanlarındaki araştırmaların incelenmesinde R programı ve bibliyometrik analizlerden faydalanılmıştır.

**Araştırma Bulguları:** Karbon ayak izi ve yeşil organizasyon araştırmalarının son yıllarda yoğun araştırıldığı; karbon ayak izinde sürdürülebilirlik ve iklim değişikliği kavramlarının sıklıkla vurgulandığı ve güçlü ilişkilere sahip olduğu gözlemlenmiştir. Son yıllarda, karbon ayak izi, çevresel sürdürülebilirlik, karbon, sürdürülebilirlik, yeşil tedarik zinciri yönetimi, yeşillendirme, çevre, çevreci bilişim, enerji, yeşil teknoloji, yenilikler, iklim değişikliği ve döngüsel ekonomi kelimelerinin oldukça popüler olduğu anlaşılmıştır.

**Sonuç:** Günümüzde organizasyonların faaliyetleri, birçok çevreci yaklaşımdan etkilenmektedir. Günden güne daha fazla kirlenen dünyada, yeşil organizasyonlara oldukça fazla ihtiyaç vardır. Ülkelerin öncelikleri arasında yer alan ekonomik kazanımlar, karbon salınımlarının artmasına ve bütün canlıların yaşam alanlarının daralmasına sebep olmaktadır.

### ABSTRACT

**Objective:** Carbon footprint and green organization research clarify the concepts emphasized by the authors, the relations between the concepts, the words that have been popular over the years, and the research rates of the authors in terms of countries.

**Material and Methods:** R program and bibliometric analyses were used to analyze the studies in Scopus and WoS databases.

**Results:** Carbon footprint and green organization research have intensively been researched in recent years, the concepts of sustainability observed, climate change in the carbon footprint frequently emphasized, and the strong relationship among them observed. In recent years, it has been understood that the words carbon footprint, environmental sustainability, carbon, sustainability, green supply chain management, greening, environment, green informatics, energy, green technology, innovations, climate change, and circular economy are very popular.

**Conclusion:** Today, the activities of organizations are influenced by many environmental approaches. In a world that is getting more polluted day by day, there is a great need for green organizations. Economic gains, which are among the priorities of countries, cause an increase in carbon emissions and a narrowing of the habitat of all living things.

## GİRİŞ

Dünyada iklim değişikliklerine ilişkin endişeler, belirli bir ürünün, hizmetin veya organizasyonun toplam sera gazı miktarının hesaplanmasına olan ilgiyi artırmıştır. Bu durum karbon ayak izini, iklim değişikliğine uyum sağlama ve sera gazı etkilerini hafifletme konusunda toplum tarafından yaygın kullanılan bir terim haline getirmiştir (Grosbois & Fennell, 2011). Dünyada birçok organizasyonun iş faaliyeti, karbon salınımlarını tetikleyebilmektedir. Bu durum yeşil organizasyon algısının oluşmasını zorunluluk haline getirmiştir. Literatürde karbon ayak izi ve yeşil organizasyonların birlikte incelendiği araştırmalar oldukça sınırlıdır. Bu durum karbon ayak izi ve yeşil organizasyonların birlikte değerlendirilebilmesi ihtiyacını doğurmuştur.

Endüstriyel toplumların kullandığı on binlerce kimyasalın çevreye ne derecede salındıklarını tespit edebilmek oldukça zordur. Çünkü her bir kimyasalın emisyonlarının tutarlı bir şekilde belirlemek için çok çabalar gerekmektedir (Laurent et al., 2012). Karbondioksit emisyonlarının büyük bir kısmı; enerji santralleri, petrol rafineri, gaz işleme tesisleri, gübre, petrokimya, çelik, çimento ve kâğıt fabrikaları gibi organizasyonlardan kaynaklanmaktadır (Balat et al., 2003). Organizasyonların çoğu bu kaynaklar ile faaliyetlerini yürütebilmektedir. Gerçekleştirilen faaliyetlerde oluşan karbon salınımı, çevreye ciddi zararlar verebilir. Özellikle bilinçsizce yapılan iş faaliyetleri, daha fazla kazanç elde etmek için gerekli tedbirlerin alınmaması gibi birçok sebep karbon salınımının yoğunluğunu artırmakta ve çevresel kirliliğe sebep olmaktadır.

Organizasyonlarda gerçekleştirilen faaliyetler ışığında, kurumsal karbon ayak izleri ile bir yıl boyunca iklim değişikliklerine olan etkiler incelenir. Sera gazı emisyonlarının etkilerini ölçmek için elektrik tüketimi, fosil yakıt kullanımı veya iş faaliyetleri uçuşları gibi faaliyetlerin kullanım oranları dikkate alınır. Organizasyonlarda kurumsal ayak izleri, bireylerin karbon ayak izlerinden farklı olarak belirli kurallara, standartlara ve karşılaştırmalara bağlı gerçekleştirilir (Walenta, 2021). Organizasyonlar tüketicilerinin daha çevreci ürünler talep edebileceklerini tahmin ettikleri için yeşil üretim açısından birçok yenilik gerçekleştirir (Green et al., 2000). Bu durum karbon ayak izi oluşumu ile yeşil organizasyon faaliyetlerinin ilişkisini ortaya koyar. Yani organizasyon ne kadar çevreci bir üretim anlayışına sahip olur ise karbon salınımı o derece az olacaktır. Bu anlayış hem yerel ölçekte hem küresel ölçekte çevreci veya yeşil organizasyonlara karşı pozitif algının oluşumuna katkıda bulunacaktır.

OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development / Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü) ülkelerindeki ekonomik gerilemelerin organizasyonlardaki yeşil ve sürdürülebilir teknolojik yenilikleri olumsuz etkilediğini, bu durumun dolaylı olarak CO<sub>2</sub>'de artışa sebep olduğu vurgulanmaktadır (Khattak & Ahmad, 2022). Dünyadaki nüfus artışına bağlı olarak enerji talebi birçok alanda artmaktadır. Enerji taleplerindeki bu artış, daha yoğun teknoloji kullanımı ve daha fazla kaynak tüketimini beraberinde getirmektedir. Bu açıdan teknolojik gelişmelere ve değişimlere bağlı olarak son yıllarda çevresel problemler ülkelerin ve dünyanın en ciddi problemleri içerisinde yer almaktadır. Küresel iklim değişiklikleri birçok bölgenin doğal yapısını (kuraklık, yangın ve sel gibi) değiştirebilmektedir. Bu durum birçok organizasyonun iş faaliyetlerinde gerçekleştirdikleri karbondioksit salınımları ile ilişkili olabilmektedir.

Bibliyometrik analiz tekniğinde, bilimsel haritalar ve performans analizleri yer almaktadır. Bilimsel haritalar, araştırma bileşenlerinin ilişkilerini, performans analizleri ise araştırma bileşenlerinin katkılarını ortaya koymaktadır (Donthu et al., 2021). Araştırmalarda bileşenlerin, üretkenliklerin ve sosyal ilişkilerin ortaya koyulabilmesi açısından ülke, yazar, anahtar kelime, kavramsal ilişkiler ve tematik haritalara ilişkin bilgilere yer verilmektedir (Mukherjee et al., 2022). Bu açıdan karbon ayak izi ve yeşil organizasyonlar incelemesinde, bilimsel haritalar ile performans analizlerinin yer aldığı bibliyometrik uygulamada WoS ve Scopus literatüründe yer alan araştırmalar incelenmiştir. Araştırmada her iki veri tabanında yer alan araştırmalarda yazarlara, ülke adreslerine, vurgulanan ana kavramlara, tematik süreçlere ilişkin bileşenlere, vurgulanan anahtar kelimelerin birlikte ilişkilerine, tanımlamalara ve açıklamalara yer verilmiştir. Araştırmada bibliyometrik analiz yardımı ile uygulamaya karbon ayak izi ve yeşil organizasyonlar açısından bir çerçeve çizilmiştir.

Karbon ayak izi ve yeşil organizasyon süreçlerinin sistematik bir şekilde işlevsellik kazanabilmesi için çeşitli önerilerde bulunulmuştur. Uygulamanın literatür destekli sonuçları dikkate alınarak yeşil organizasyon aktivitelerinin güçlendirilmesine yönelik çıkarımlar ortaya koyulmuştur.

### **Karbon ayak izi**

Ayak izi, terim olarak bir ölçümü ifade etmektedir. Karbon ayak izi ise, doğrudan ve dolaylı bir şekilde bir faaliyetin sebep olduğu ya da bir ürünün yaşam evreleri süresince biriken toplam karbondioksit (CO<sub>2</sub>) emisyon miktarının bir ölçüsü olarak tanımlanmaktadır (Wiedmann & Minx, 2008). Karbon ayak izi herhangi bir ürün ya da faaliyetin yaşam döngüsü aşamaları boyunca oluşan kapsamlı sera gazı hesaplamaları ile eş anlamlı olarak kullanılmaktadır (Pandey et al., 2011). Karbon ayak izi, genellikle günlük faaliyetler sırasında fosil yakıtların yanması ile yayılan karbondioksit miktarı olarak da ifade edilmektedir. Bu karbondioksit miktarının herhangi bir organizasyonda söz konusu olması, doğrudan ve dolaylı olarak günlük işlemlerinin bir sonucudur (Recker et al., 2012). Bu açıdan karbon ayak izi, fosil yakıtların sıklıkla kullanıldığı alanlarda enerjiye bağlı bir şekilde artmaktadır. Enerji kullanımlarının optimal seviyelere getirilmesi ve yenilenebilir enerjiye öncelik verilmesi karbon salınımını azaltabilir (Danışman & Özalp, 2016). Dünyada sanayileşmiş ülkeler ve yüksek gelire sahip olan bireyler tarihsel olarak karbon emisyonlarının oluşumuna en fazla katkıyı sağlamaktadır (Ayoungman et al., 2023). Bu durum özellikle ekonomik açıdan gelişmişlik ile karbon emisyonlarının oluşması arasında doğru bir orantının olabileceğini göstermektedir. Ayrıca karbon emisyonlarının çevreye birçok açıdan (bireysel ve örgütsel çıktılar açısından) etkisinin olabileceğini ortaya koymaktadır.

Küresel sera gazı emisyonlarının azaltılma çabası, insanlığın en büyük zorluklarından biridir. Karbondioksit ticaretinin olumlu ve olumsuz argümanları oldukça karmaşıktır. Bu durum ekonomik, sosyal, politik ve çevresel konuları içerisine almaktadır (Paulsson & Malmberg, 2004). Karbon ayak izinde kurumsal ekolojik sürdürülebilirlik açısından sera gazı emisyonlarının etkilerini azaltmak için; çalışanlara, tedarikçilere müşterilere, yatırım topluluklarına STK'lara, politikacılar ile yetkili kişilere ve genel olarak topluma önemli görevler düşmektedir (Penz & Polska, 2018). Karbon ayak izi insanların farkındalığını artırmaya yardımcı olabilir (Weidema et al., 2008). Bu sonuçlar karbon ayak izi oluşumunda birçok organizasyonun çeşitli sorumluluklara sahip olması gerektiğini göstermektedir. Sorumlulukların bazıları; uzun vadeli sürdürülebilir ürün veya hizmet üretmek, daha çevreci bir bilinç ile kaynakları kullanmak, organizasyon çıktılarının çevresel veya toplumsal zararlarını minimize etmek ve toplumsal kalkınma için ilgili tüm paydaşlara örnek olabilmek gibi uygulamalar olabilir.

Yeşil organizasyon anlayışı birçok alanın (özellikle enerji üretimi yapan organizasyonlarda) temel hedefleri içerisinde yer almalıdır. Çevresel yaşam alanının tüm insanlığın ortak kullanım alanı olduğu düşünüldüğünde; üretici, tüketici, tedarikçi veya yetkili herkes bilinçli bir yaklaşımla hareket etmelidir. Sera gazı emisyonlarının oluşumunun azaltılması için hem bireysel hem de organizasyonel düzeyde yeşil atılımlara ihtiyaç vardır. Balat et al. (2003) insan kaynaklı karbondioksit emisyonlarının, dünyanın karbon döngüsünde karmaşık değişimlere yol açtığını belirtmişlerdir. Atmosferde oluşan net karbondioksit birikiminin yarısının insan kaynaklı emisyonlardan oluştuğunu ifade etmişlerdir. Galli et al. (2012) ise karbon ayak izi ile tüketicilerin yaşam tarzlarından kaynaklanan sera gazı emisyonları hakkında bilinçlendirmeleri gerektiği, hükümetlerde ve organizasyonlarda dolaylı emisyonlar konusunda farkındalık oluşturulmasının kıymetli olacağı vurgulanmıştır.

### **Yeşil organizasyonlar**

Yeşil organizasyonlar ve işbirlikleri, uzun vadeli stratejiler ile oluşmaktadır. Yeşil organizasyonlar, kullandıkları cihaz, ekip ve araçları gözden geçirir, karbon emisyonunu yönetir ve optimize ederler. Yeşil organizasyonlar başarı için yeşil bir vizyon, strateji ve değerler uygulamaya gayret ederler (Raja, 2021). Bowen (2000) yeşil organizasyonlarda, çevresel görünürlüğün destekleyici özelliği olduğunu ve çevresel performansı iyileştirmek için zayıf yönlerin ifade edilmesi gerektiğini belirtmiştir. Ayrıca organizasyonlardaki

güzel uygulamaların ödüllendirilerek doğruluğu test edilmiş çevre raporlarının hazırlanabileceğini vurgulamıştır. Yıldız (2023) ise organizasyonlarda çöp ve atıkların ayrıştırılarak atıkların tekrardan kullanılması, iş dışı faaliyetlerde bilgisayarların ve diğer cihazların fişlerinin çıkarılması gibi faaliyetlerin yeşil organizasyon davranışlarına örnek olabileceğini ifade edilmiştir. Bu durum yeşil organizasyon olarak nitelendirilen organizasyonların iş faaliyetlerinde, karbon emisyonlarının oluşmaması için çaba sarf ettiklerini gösterir. Ayrıca organizasyonlarda yeşil bir politika anlayışının hakimiyeti, çevresel çıktılarının, değerli bir imaj (veya görünürlük) oluşturabileceğini ortaya koyar.

Yeşil organizasyonlara ilişkin başarılı organizasyonel eko-değişimlerin, teknoloji ve yönetim sisteminin çevresel uygunluğu benimsemesi ile gerçekleştirilebileceği belirtilmektedir (Newton & Harte, 1997). Bu açıdan organizasyonlarda yeşil değerlerin vurgulanması, iş faaliyetlerine ilişkin politikaların, uygulamaların ve prosedürlerin bu değerlere göre yerine getirilmesi, çevreci bir organizasyon kültürünü ve iklimini oluşturabileceği vurgulanmaktadır (Zacher et al., 2023). Bu durum yeşil organizasyonları oluşturmada, yönetim mekanizmasının ve organizasyon politikalarının etkili olduğunu göstermektedir.

Organizasyonlarda çevreye ilişkin AR-GE'ye sürekli yatırım yapmak, yeni yeşil teknolojiler üretmeye ya da mevcut yeşil teknolojileri iyileştirmeye yardımcı olur. Daha sonra yeşil teknolojilerin uygulanması, ticarileştirilmesi ve üretim sürecinde çevre ile ilgili teknolojinin kullanılması söz konusudur (Xin et al., 2021). Organizasyonlarda yöneticiler yeşil inovasyon stratejilerine dikkat etmeli, kurumsal kimlik geliştirmek için en uygun yaklaşımları dikkate almalıdır. Bu durum yeşil organizasyonlarda performansın artmasına ve çevre korumaya yönelik gereksinimlerinin karşılanmasına katkıda bulunur (Song & Yu, 2018). Yeşil organizasyonlar çevreci tutumları ile birçok faaliyetinde toplumun beğenisini kazanır. Bu durum yeşil teknoloji kullanımını iş faaliyetlerine adapte edebilen organizasyonların kurumsallık yaklaşımları ile ilişkilidir. Choi et al. (2013) karbon emisyonlarının kapsamını belirlemede; karbon emisyon seviyelerinin, organizasyonların büyüklüğünün ve kurumsal yönetim kalitesinin etkili olduğunu vurgulamışlardır. Bu açıdan Hermawan et al. (2018) organizasyon büyüklüğünün ve karlılığın karbon emisyonları beyanları üzerinde etkili olduğunu; zayıf finansal performansla sahip organizasyonların, finansal hedeflerine ve performanslarını iyileştirmeye odaklandıklarını, dolayısı ile karbon emisyonlarını önleme ve raporlama yeteneklerinin sınırlı olduğunu vurgulamışlardır.

Organizasyonlar mal ve hizmet üretirken kullandıkları teknolojinin yanında hammadde, yakıt veya enerji gibi birçok etken karbondioksit oluşumunu tetiklemektedir. Bu açıdan karbon ayak izi ve yeşil organizasyonlar çerçevesinde, toplumsal olarak daha bilinçli bir yapının oluşmasına katkıda bulunulabilir. Organizasyonlarda bilinçsizce daha çok kazanç elde etme hırsı, çevresel problemlerin oluşumunu daha fazla hızlandırmaktadır. Araştırmada küçük ya da büyük organizasyonlardaki çevreci tutumlar ile gündün güne teknolojik değişimlere bağlı karbon salınımlarının etkileri incelenmektedir. Karbon ayak izi ve yeşil organizasyon algısının, daha çevreci bir yaklaşım için tüm paydaşların ilgisini çekebileceği düşünülmektedir. Araştırmada karbon ayak izi ve yeşil organizasyon araştırmalarında; yazarların vurguladığı kavramlara, kavramların birbirleri ile ilişkilerine, yıllar itibari ile popüler olan kelimelere, ülkeler açısından yazarlara ilişkin araştırma oranlarına açıklık getirilmesi amaçlanmıştır. Araştırmada ayrıca organizasyonel açıdan karbon ayak izi ve yeşil organizasyon anlayışı için yeni çıkarımlar oluşturulmuştur. Erişilen sonuçlar ile literatürde önemli bir boşluğun doldurulabileceği düşünülmektedir.

## **MATERYAL ve YÖNTEM**

Araştırmanın uygulaması etik kurul izni gerektirmemektedir. Araştırma Scopus ve Web of Science (WoS) veri tabanlarında karbon ayak izi ve yeşil organizasyonlar (Carbon Footprint and Green Organizations) konusunda yer alan araştırmalardan oluşmaktadır. Literatürde bibliyometrik analizlerde veri analizi için bir ya da daha fazla bibliyometrik veya istatistiksel yazılımların kullanılabileceği belirtilmektedir (Aria & Cuccurullo, 2017). Araştırma uygulaması R programı ve R Studio kullanılarak bibliyometrik analizler yardımı ile 20.06.2023 tarihinde gerçekleştirilmiştir. Analizlerde herhangi bir yıl

veya dil sınırlaması yapılmamıştır. Bu açıdan her iki veri tabanında yer alan bütün araştırmaları kapsamaktadır. Araştırmada erişilen sonuçlara literatür yardımı ile yeni yorumlar ve bakış açıları kazandırılmaya çalışılmıştır. Donthu et al. (2021) bibliyometrik analizlere ilişkin araçlar içerisinde ana ve zenginleştirilmiş tekniklerin olduğunu vurgulamışlardır. Araştırmacılar bu ana teknikler içerisinde performans analizlerinin ve bilim haritalarının, zenginleştirilmiş tekniklerde ise ağ analizlerinin yer aldığını belirtmişlerdir. Araştırmanın analizlerinde bu tekniklerden faydalanılmıştır. Bibliyometrik analiz yönteminin ilk aşamasında, karbon ayak izi ve yeşil organizasyonlara ilişkin Scopus ve WoS veri tabanlarında yer alan araştırmalar incelenmiştir. Daha sonra konu üzerinde araştırma yürüten en üretken yazarlara, araştırma yıllarına, konunun içerik olarak gelişme oranlarına, ülkelere, vurgulanan anahtar kelimelere, kelimelerin birbirleri ile ilişkilerine ve vurgulanan kavramların popüler oldukları zamanlara yer verilmiştir. Analizler Scopus ve WoS veri tabanları kıyaslaması ile gerçekleştirilmiştir. Bu açıdan literatüre farklı bakış açıları kazandırabileceği düşünülmektedir. Özellikle veri tabanlarında karbon ayak izi ve yeşil organizasyon araştırmalarında, vurgulanan anahtar kelimeler, ilişkiler, tematik gelişim süreçleri, yazarlar ve ülke adresleri gibi sonuçların benzerlikler ya da farklılıkları ortaya koyulabilecektir. Uygulamada anahtar kelimelere ilişkin taramalarda yıl sınırlandırması yapılmamıştır. Analiz sonuçlarında WoS veri tabanında 2007-2023 yılları Scopus veri tabanında ise 2006-2023 yılı yayınları dikkate alınmıştır. Araştırmada aşağıda ifade edilen değişkenlere ilişkin problemlere cevap aranmaktadır.

- Karbon ayak izi ve yeşil organizasyon araştırmalarının Scopus ve WoS veri tabanlarındaki yıllara göre genel araştırma, kaynak, yazar, büyüme ve alıntı oranları nedir?
- Karbon ayak izi ve yeşil organizasyon araştırmalarına ilişkin yayın yapan yazarlar, ülkeler ve anahtar kelime eşleşmesi hangi düzeydedir?
- Karbon ayak izi ve yeşil organizasyon araştırmalarında yazarların sıklıkla vurguladığı anahtar kelimeler ve en yoğun araştırıldığı zamanlar nelerdir?
- Karbon ayak izi ve yeşil organizasyon araştırmalarında ilişkiler açısından vurgulanan anahtar kelimelerin birlikte oluşum açığı nasıl şekillenmiştir?
- Karbon ayak izi ve yeşil organizasyon araştırmalarının tematik haritasında hangi kavramlar oldukça popüler olmuştur?
- Karbon ayak izi ve yeşil organizasyon araştırmalarının tematik gelişim süreçleri nasıldır?
- Karbon ayak izi ve yeşil organizasyon araştırmalarından elde edilen sonuçlar nelerdir, geleceğe yönelik ne gibi tedbirler alınabilir?

## ARAŞTIRMA BULGULARI

Bibliyometrik analizler yardımı ile literatürde karbon ayak izi ve yeşil organizasyonlara ilişkin WoS ve Scopus veri tabanlarında yer alan araştırmalar Çizelge 1'de özetlenmiştir.

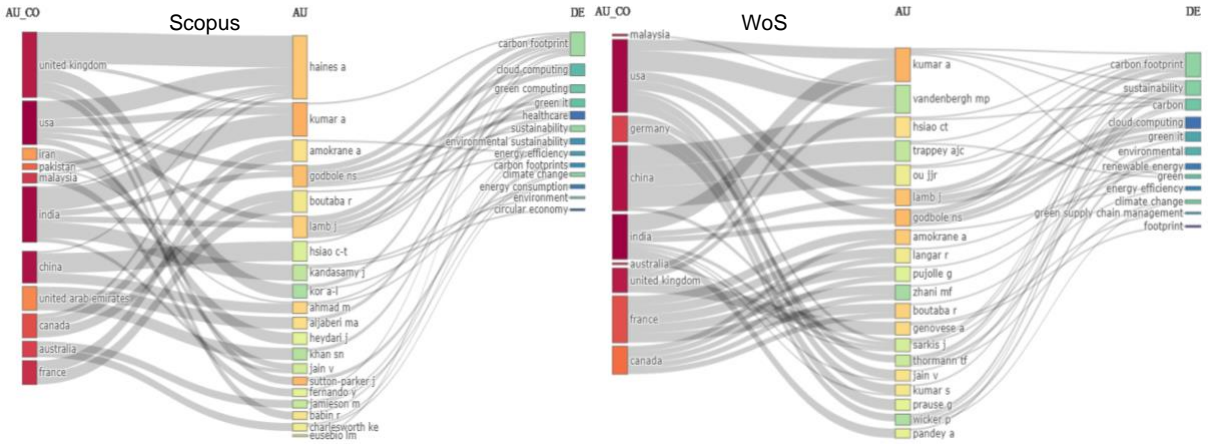
**Çizelge 1.** Karbon ayak izi ve yeşil organizasyonlar araştırmaları genel sonuçlar

**Table 1.** General results of carbon footprint and green organizations research

Veriler	Yıllar	Kaynak	Araştırma	Yıllık Büyüme Oranı	Yazarlar	Tek Yazar
WoS	2007-2023	142	182	%17,39	578	23
Scopus	2006-2023	238	290	%20,25	876	47
	Ortak Yazar	Ortak Yazar Oranı	Anahtar Kelimeler	Referans	Ortalama Yıl	Alıntı
WoS	%33,52	3,31	782	9835	4,77	17,28
Scopus	%23,45	3,17	916	12029	5,32	18,08

Erişilen sonuçlar Scopus veri tabanında yer alan araştırmaların, WoS'a göre bir yıl önce (2006) başladığı, Scopus'da daha fazla kaynağın (238) ve araştırmanın (290) yer aldığı gözlemlenmektedir. Karbon ayak izi ve yeşil organizasyonlara ilişkin araştırmaların yıllık büyüme oranları her iki veri tabanında (%17,39-%20,25) oldukça yüksektir. Konuya ilişkin tek yazarlı araştırmalar Scopus'ta (47) daha fazladır. Uluslararası ortak yazar ve araştırma başına ortak yazar oranlarının WoS'ta (%33,52-3,31) daha fazla olduğu görülmektedir. Yazarların kullandığı anahtar kelimelerin, referansların, araştırmaların ortalama yılları ve araştırma başına ortalama alıntılarının Scopus veri tabanında daha yüksek oranlara sahip olduğu anlaşılmaktadır.

Karbon ayak izi ve yeşil organizasyonlar literatür araştırmaları dikkate alındığında hem Scopus hem de WoS'da 2022 yılında en yoğun araştırmaların gerçekleştirildiği gözlemlenmektedir. Ayrıca araştırmaların yıllara göre gelişme düzeyleri birbirine oldukça yakındır. Bu durum literatürde genel olarak yazarların karbon ayak izi ve yeşil organizasyonlar araştırmalarına günden güne daha fazla önem verdiklerini göstermektedir. Ayrıca araştırma analizi 2023 yılı haziran (20.06.2023) ayını kapsadığı için aralık ayı sonunda 2023 yılı araştırmalarının daha da fazla olabileceğini göstermektedir. Bu açıdan karbon ayak izi ve yeşil organizasyonlara ilişkin araştırmaların gelecek yıllarda daha da yoğun bir araştırma ağına sahip olabileceğini ortaya koymaktadır.



Şekil 1. Konuya ilişkin ülke, yazar ve anahtar kelime eşleşmesi.

Figure 1. Country, author and keyword match related to the topic.

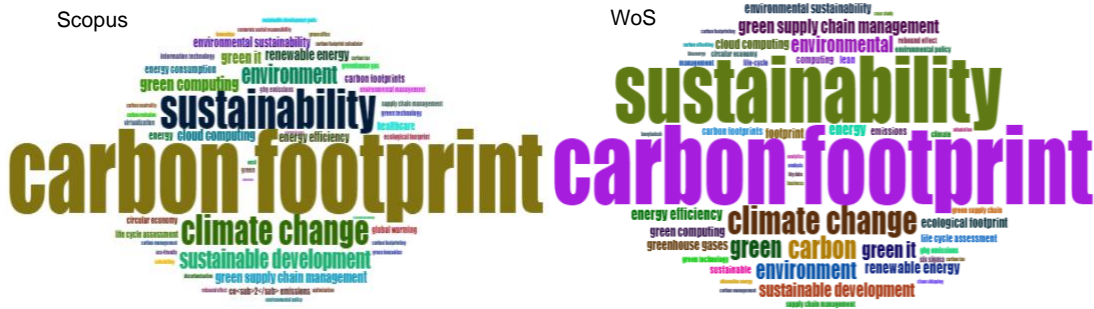
Araştırmada karbon ayak izi ve yeşil organizasyonlar açısından ülke yazar ve vurgulanan anahtar kelimeler karşılaştırması yapılmıştır. Şekil 1'de Scopus analiz sonucunda taranan yayınlar ülkelere göre sıralanmış ve bu sıralamanın; Birleşik Krallıklar, ABD, İran, Pakistan, Malezya, Hindistan, Çin, Birleşik Arap Emirlikleri, Kanada, Avustralya ve Fransa şeklinde olduğu belirlenmiştir. Konu üzerinde en yoğun araştırma gerçekleştiren yazarlar ise Haines, A., Kumar, A., Amokrane, A., Godbole, NS., Boutaba, R., Lamb, J., Hsiao, C-T., Kandsamy, J., Kor, A-I., Ahmad, M., Aljaberi, MA., Heydari, J., Khan, SN., Jain, V., Sutton-Parker, J., Fernando, Y., Jamieson, M., Babin, R., Charlesworth, KE. ve Eusebio LM. şeklinde sıralanmıştır. Yazarların vurguladığı anahtar kelimeler; karbon ayak izi, bulut bilişim, çevreci bilişim, yeşillendirme, sağlık hizmeti, sürdürülebilirlik, çevresel sürdürülebilirlik, enerji verimliliği, karbon ayak izleri, iklim değişikliği, enerji tüketimi, çevre ve döngüsel ekonomi kavramlarından oluşmuştur.

Şekil 1 WoS analizi sonucunda taranan yayınlar ülkelere göre sıralanmış ve bu sıralamanın; Malezya, ABD, Almanya, Çin, Hindistan, Avustralya, Birleşik Krallık, Fransa ve Kanada şeklinde olduğu belirlenmiştir. Konu üzerinde en fazla araştırma gerçekleştiren yazarlar; Kumar, A., Vandenberg, MP., Hsiao, CT., Trappey, AJC. Ou, JJR. Lamb, J., Godbole, NS., Amokrane, A., Langar, R., Pujolle, G., Zhani, MF., Boutaba, R., Genovese, A., Sarkis, J., Thormann, TF., Jain, V., Kumar, S., Prause, G., Wicker, P. ve Pandey, A. olarak sıralanmıştır. Yazarların en fazla vurgu yaptıkları kelime listesinde; karbon ayak izi, sürdürülebilirlik, karbon,

bulut bilişim, yeşillendirme, çevresel, yenilenebilir enerji, yeşil, enerji verimliliği, iklim değişikliği, yeşil tedarik zinciri yönetimi ve ayak izi kavramları yer almıştır.

Scopus ve WoS araştırmalarında karbon ayak izi ve yeşil organizasyonlar araştırmalarında ABD, Birleşik Krallıklar, Malezya, Hindistan, Çin, Kanada, Avustralya ve Fransa'dan yazarların araştırmalar yürüttüğü anlaşılmaktadır. Analizlerde Kumar, Amokrane, Godbole, Boutaba, Lamb, Hsiao ve Jain her iki alanda da konu üzerinde yoğun araştırmalar yürüttüğü gözlemlenmiştir. Yazarların en fazla vurguladığı anahtar kelimeler içerisinde karbon ayak izi, bulut bilişim, yeşillendirme, sürdürülebilirlik, enerji verimliliği ve iklim değişikliği kavramlarının her iki alanda araştırmalarda vurgulandığı görülmüştür.

Araştırmada karbon ayak izi ve yeşil organizasyonlara ilişkin yazarların tek ülke yayınlarına ve birden fazla ülke yayınlarına yer verilmiştir. Scopus araştırmalarında yazarlar açısından en fazla araştırma gerçekleştiren ülke yazarlarının; Hindistan, ABD, Çin, Birleşik Krallık, Avustralya, İtalya, Malezya, İspanya, Kanada, Fransa, Almanya, İran, Hollanda, Norveç, Polonya, Tayland, Birleşik Arap Emirlikleri, Kıbrıs Türk Cumhuriyeti ve Danimarka olarak sıralanmaktadır. WoS araştırmalarında ise ülke yazarları; Hindistan, Amerika Birleşik Devletleri, Çin, Birleşik Krallık, Malezya, Avustralya, İspanya, Almanya, İtalya, Hollanda, Tayland, Kanada, Fransa, Norveç, Pakistan, Birleşik Arap Emirlikleri, Hırvatistan, Danimarka ve Finlandiya şeklinde sıralandığı gözlemlenmektedir. Karbon ayak izi ve yeşil organizasyonlara ilişkin Scopus ve WoS'da yer alan araştırma yazarlarının ülkeleri birbirine oldukça benzer sonuçlar ortaya koymaktadır. Konu üzerinde en fazla araştırma gerçekleştiren yazarların ülkeleri dikkate alındığında Hindistan, ABD, Çin ve Birleşik Krallık ilk sıralarda yer aldığı gözlemlenmektedir. Sonuçlar konu üzerinde Türkiye ölçeğinde araştırmalara oldukça fazla ihtiyaç olduğunu göstermektedir.



**Şekil 2.** Konuya ilişkin araştırmalarda en fazla vurgulanan anahtar kelimeler.

**Figure 2.** The most emphasized keywords in researchs on the subject.

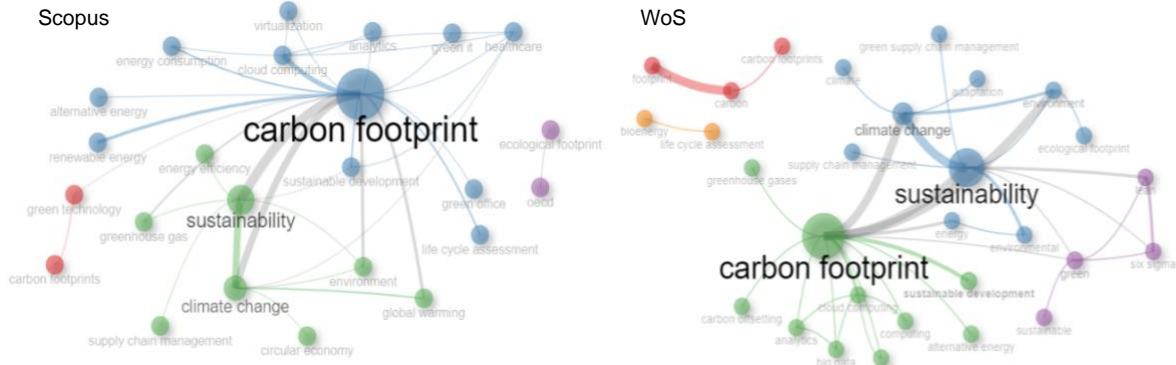
Şekil 2'de Scopus veri tabanı araştırmaları sonucu dikkate alındığında, yazarların en fazla vurguladığı anahtar kelimelerin; karbon ayak izi, sürdürülebilirlik, iklim değişikliği, çevre, sürdürülebilir kalkınma, yeşil bilgi işlem, yeşillendirmek, bulut bilişim, yeşil tedarik zinciri yönetimi, yenilenebilir enerji, enerji verimliliği, çevresel sürdürülebilirlik, karbon ayak izleri, enerji, enerji tüketimi, sağlık hizmeti, döngüsel ekonomi, CO<sub>2</sub> emisyonu, küresel ısınma, yaşam döngüsü değerlendirmesi, yeşil, yeşil teknoloji, sera gazı, bilişim teknolojisi, tedarik zinciri yönetimi, sanallaştırma, karbon salınımı, ekolojik ayak izi, karbon yönetimi, çevre dostu, çevre yönetimi, sera gazı emisyonu, yeşil inovasyon, karbon vergisi, yeşil ofis, yenilik, OECD, planlama ve optimizasyon olarak sıralanmıştır.

Şekil 2'ye ilişkin WoS veri tabanı araştırma sonucunda ise yazarların en fazla vurguladığı anahtar kelimeler; karbon ayak izi, sürdürülebilirlik, iklim değişikliği, karbon, yeşil, çevre, yeşillendirmek, yeşil tedarik zinciri yönetimi, sürdürülebilir kalkınma, enerji, enerji verimliliği, yenilenebilir enerji, bulut bilişim, ekolojik ayak izi, sera gazları, çevresel sürdürülebilirlik, ayak izi, yaşam döngüsü değerlendirmesi, sürdürülebilir, karbon ayak izleri, bilgi işlem, emisyonlar, verimsiz, çevre politikası, döngüsel ekonomi, iklim, yaşam döngüsü, sera gazı emisyonları, tedarik zinciri, altı sigma, adaptasyon, karbon etkisi, biyoenerji, büyük veri ve analiz şeklinde sıralanmıştır.



Karbon ayak izi ve yeşil organizasyonlar araştırmalarında vurgulanan anahtar kelimelerin en popüler oldukları (yoğun araştırıldıkları) zamanlar dikkate alındığında, Scopus araştırmalarında; döngüsel ekonominin 2022-2023, sağlık hizmetinin 2016-2022, enerji tüketiminin 2021-2023, iklim değişikliğinin 2019-2022, emisyonların 2020-2021, karbon ayak izinin 2015-2022, sürdürülebilirliğin 2017-2022, bulut bilişimin 2018-2021, çevrenin 2016-2021, çevreci bilişimin 2018-2021, çevresel sürdürülebilirliğin, 2018-2022, sürdürülebilir kalkınmanın 2014-2022, yeşil tedarik zinciri yönetiminin 2016-2019, yaşam döngüsü değerlendirmesinin 2016-2021, yeşillendirmenin 2010-2020 ve enerji verimliliğinin 2012-2020 yılları arasında oldukça popüler oldukları anlaşılmaktadır.

WoS'ta yer alan araştırmalarda; yenilenebilir enerjinin 2016-2022, ekolojik ayak izinin 2022, ayak izinin 2014-2021, iklim değişikliklerinin 2018-2022, yeşilin 2017-2022, enerjinin 2018-2022, sürdürülebilirliğin 2016-2022, karbonun 2014-2021, çevrenin 2018-2022, karbon ayak izinin 2015-2022, yeşillendirmenin 2015-2018, çevreselin 2016-2022, yeşil tedarik zinciri yönetiminin 2016-2022 ve enerji verimliliğinin 2014-2019 yıllarında oldukça yoğun araştırıldığı gözlemlenmektedir.

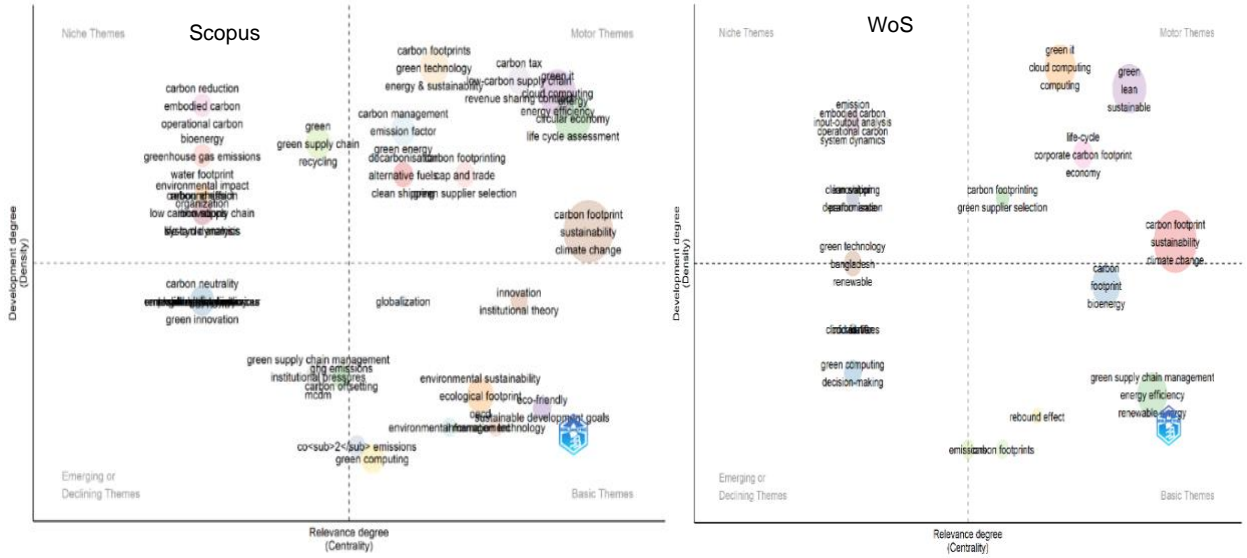


Şekil 3. Yazarların vurguladığı anahtar kelimelerin birlikte oluşum ağı.

Figure 3. Co-occurrence network of keywords highlighted by authors.

Analizde birlikte oluşum ağında, yazarların araştırmalarında birbirleri ile güçlü ilişkilere sahip olan kavramları vurgulamaları söz konusudur. Bu durum karbon ayak izi ve yeşil organizasyonlara ilişkin incelemelerde, birbirleri ile güçlü ilişkilere sahip kelimelere yer verilmektedir. İlgili sonuçlar Şekil 3'te ifade edilmiştir. Scopus'ta yer alan araştırmalarda karbon ayak izinin; sürdürülebilirlik, iklim değişiklikleri, bulut bilişim, yenilenebilir enerji, küresel ısınma, çevre ve enerji tüketimi kelimeleri ile güçlü ilişkilere sahip olduğu görülmektedir. Analizde ayrıca karbon ayak izinin; yeşil ofis, yaşam döngüsü değerlendirmesi, sağlık hizmeti, yeşillendirme, analitik, sanallaştırma, alternatif enerji ve sürdürülebilir kalkınma kelimeleri ile ilişkili olduğu anlaşılmaktadır. Analizde sürdürülebilirliğin; iklim değişikliği, enerji verimliliği, sera gazı, döngüsel ekonomi, çevre, küresel ısınma ve tedarik zinciri yönetimi kelimeleri ile güçlü ilişkilere sahip olduğu gözlemlenmektedir. Araştırmada karbon ayak izinin yeşil teknoloji ilişkili olduğu görülmektedir. Ayrıca ekolojik ayak izi ile OECD'nin ilişkili olduğu anlaşılmaktadır. Karbon ayak izi ve yeşil organizasyonlara ilişkin WoS'ta yer alan araştırmalarda karbon ayak izinin; sürdürülebilirlik, iklim değişiklikleri, çevre, sürdürülebilir kalkınma ve enerji kelimeleri ile güçlü ilişkilere sahip olduğu anlaşılmaktadır. Analizde karbon ayak izi ile sürdürülebilir kalkınma, alternatif enerji, bulut bilişim, tüketim, yeşillendirme, büyük veri, analitik, karbon dengelemesi ve sera gazlarının ilişkilerle sahip olduğu görülmektedir. Araştırmada sürdürülebilirliğin, iklim değişikliği, çevre, yeşil, altı sigma, verimsizlik, yeşil tedarik zinciri yönetimi ve tedarik zinciri yönetimi ile ilişkili olduğu gözlemlenmektedir. Analizde iklim değişikliğinin sürdürülebilirliğin yanında adaptasyon, iklim ve çevre ile ilişkilere sahip olduğu görülmektedir. Analizde karbon ve ayak ile karbon ayak izlerinin ilişkili olduğu, analitik, büyük veri, yeşillendirme, tüketim ve bulut bilişimin birlikte ilişkili olduğu anlaşılmaktadır. Karbon ayak izi ve yeşil organizasyonlar analizi sonucu her iki veri tabanı araştırmalarında da karbon ayak izi, sürdürülebilirlik ve iklim değişikliklerinin en güçlü ilişkilere sahip olduğunu göstermektedir.

Tematik haritada karbon ayak izi ve yeşil organizasyonlara ilişkin merkezileşme ve yoğunluğun (veya yaygınlığın) düzeyleri verilmiştir. Motor temalar kısmında hem yoğunluk hem de merkezileşme düzeyi yüksektir. Yani yazarların vurguladığı anahtar kelimeler literatürde hem yoğun bir şekilde incelenmekte hem de merkezi veya popüler bir niteliğe sahip olmaktadır. Niş temalarda merkezileşme düzeyi düşük, yoğunluğun yüksek olduğu kelimelere yer verilmektedir. Kaybolan ya da yeni oluşan temalarda ise hem yoğunluk hem merkezileşme derecesi düşüktür. Şekil 4'te sunulan temel temalarda ise merkezileşmenin yüksek, yoğunluğun düşük olduğu kelimeler yer almaktadır.



Şekil 4. Merkezileşme ve yoğunluk açısından tematik harita.

Figure 4. Thematic map in terms of centralization and density.

Araştırma kapsamında, Scopus veri tabanında yer alan araştırmalarda yazarların vurguladığı anahtar kelimelerin merkezileşme ve yoğunluğunun yüksek olduğu motor temalar kısmı incelenmiştir. Her grupta kelimelerin hem yoğun kullanıldığı hem de konuya ilişkin merkezi bir konuma sahip olduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca her grup içerisinde yer alan kelimeler birbirleri ile güçlü bağlantılara sahiptir. İlgili sonuçlar Şekil 4'te belirtilmiştir. Bu açıdan birinci grupta; karbon ayak izi, sürdürülebilirlik, iklim değişikliği, çevre, sürdürülebilir kalkınma, yenilenebilir enerji, enerji tüketimi, küresel ısınma, sera gazı ve tedarik zinciri yönetimi kelimeleri yer alınmıştır. İkinci grup içerisinde; yeşillendirme, bulut bilişim, enerji verimliliği, sağlık hizmeti, analitik, büyük veri, karbon salınımı, yeşil binalar, yeşil bilgi sistemleri ve isabet kelimeleri yer almıştır. Üçüncü grup; enerji, döngüsel ekonomi, yaşam döngüsü değerlendirmesi, sanallaştırma, optimizasyon, planlama, veri merkezleri, e-atık, emisyon ve enerji yıldız kelimelerinden oluşmuştur. Dördüncü grup; karbon vergisi, düşük karbonlu tedarik zinciri, gelir paylaşımı sözleşmesi ve tedarik zinciri koordinasyonu kelimelerinden oluşmuştur. Beşinci grupta; karbon ayak izi, sınır ve ticaret, ile yeşil tedarikçi seçimi kelimeleri yer almıştır. Altıncı grup; karbondan arındırma, alternatif yakıtlar ve temiz sevkiyat kelimelerinden oluşmuştur. Yedinci grupta, karbon yönetimi, emisyon faktörü, yeşil enerji, endüstriyel ekoloji ve yaşam döngüsü değerlendirmesi kelimeleri yer almıştır. Sekizinci grup; karbon ayak izleri, yeşil teknoloji, enerji ve sürdürülebilirlik, enerji tasarrufu sağlayan ürünler, yeşil iş uygulamaları ve karbon emisyonunu azaltmak için kullanmak kelimelerinden oluşmuştur. Şekil 4'te WoS'ta yer alan araştırmalar incelendiğinde, motor temalar birinci grubunda; karbon ayak izi, sürdürülebilirlik, iklim değişikliği, çevre, çevresel, sürdürülebilir kalkınma, enerji, sera gazları, yaşam döngüsü değerlendirmesi ve iklim kelimeleri yer almıştır. İkinci grup; yeşil, verimsiz, sürdürülebilir, döngüsel ekonomi, altı sigma, tedarik zinciri yönetimi, işletme, karbon vergisi, yeşil ve yeşil yalın altı sigma kelimelerinden oluşmuştur. Üçüncü grupta; yeşillendir, bulut bilişim, bilgi işlem, sera gazı emisyonları, analitik, büyük veri, karbon dengelemesi, yeterli enerji tüketimi ve enerji yıldız kelimeleri

yer almıştır. Dördüncü grup; yaşam döngüsü, kurumsal karbon ayak izi, ekonomi ve etki kelimelerinden oluşmuştur. Beşinci grupta kelimelerde; karbon ayak izi ve yeşil tedarik seçimi yer almıştır.

Analizde Scopus'ta yer alan araştırmalar açısından merkezleşmenin düşük, araştırma yoğunluğunun yüksek olduğu niş temalar kısmı dikkate alındığında, birinci grupta; yeşil, yeşil tedarik zinciri, geri dönüşüm, tersine lojistik ve sürdürülebilir kelimeleri yer almıştır. İkinci grup; karbon azaltma, şekillenmiş karbon ve operasyonel karbon kelimelerinden oluşmuştur. Üçüncü grup içerisinde; biyoenerji, sera gazı emisyonu ve su ayak izi kelimeleri yer almıştır. Dördüncü grupta; karbon emisyonu, düşük karbonlu tedarik zinciri ve sistem dinamikleri kelimeleri yer almıştır. Beşinci grup; çevresel etki ve organizasyon kelimelerinden oluşmuştur. WoS niş temalar da yer alan birinci grup kelimeler; emisyon, girdi-çıkı analiz ve sistem dinamiklerinden oluşmuştur. İkinci grup; şekillenmiş karbon ve operasyonel karbon kelimelerinden oluşmuştur. Üçüncü grupta; temiz sevkiyat ve karbondan arındırma kelimeleri yer almıştır. Dördüncü grup kelimeler; yeşil teknoloji, Bangladeş ve yenilenebilir kavramlarından oluşmuştur.

Araştırmada Scopus araştırmalarında hem merkezleşme hem de yoğunluğun düşük olduğu, yeni ortaya çıkan veya kaybolan kelime listesi dikkate alındığında birinci grup; karbon tarafsızlığı (nötr), çevre politikası, yeşil inovasyon ve çevresel performans kelimelerinden oluşmuştur. İkinci grupta; yeşil tedarik zinciri yönetimi ve kurumsal baskılar kelimeleri yer almıştır. Üçüncü grup; sera gazı emisyonları ve karbon dengelemesi kelimelerinden oluşmuştur. Dördüncü grupta ise yenilenebilir enerji kaynakları kelimesi yer almıştır. WoS araştırmaları yeni ortaya çıkan veya kaybolan kelime listesi dikkate alındığında birinci grup; çevreci bilişim ve karar verme kelimelerinden oluşmuştur. İkinci grupta ise bilgi kelimesi yer almıştır.

Scopus araştırmaları açısından analizde merkezleşme derecesinin yüksek, yoğunluğun düşük olduğu temel temalar kısmı birinci grubunda; çevresel sürdürülebilirlik, ekolojik ayak izi, OECD ve ayrıştırma kelimeleri yer almıştır. İkinci grup; yenilik ve kurumsal teori kelimelerinden oluşmuştur. Üçüncü grupta; çevresel yönetim kelimesi yer almıştır. Dördüncü grup; bilgi teknolojileri kelimesinden oluşmuştur. Beşinci grupta; çevre dostu ve sürdürülebilir kalkınma hedefleri yer almıştır. Altıncı grup; CO<sub>2</sub> emisyonları yer almıştır. Yedinci grup; küreselleşme kelimesinden oluşmuştur. WoS araştırmaları temel temalar kısmı birinci grupta; karbon, ayak izi, biyoenerji, çevre yönetimi, yeşil ofis, yenilikler ve su ayak izi kelimelerinden oluşmuştur. İkinci grup; yeşil tedarik zinciri yönetimi, enerji verimliliği, yenilenebilir enerji, ekolojik ayak izi, çevresel sürdürülebilirlik ve analiz kelimelerinden oluşmuştur. Üçüncü grupta; emisyonlar yer almıştır. Dördüncü grup; karbon ayak izlerinden oluşmuştur. Beşinci grupta; geri tepme etkisi kelimesi yer almıştır.

Karbon ayak izi ve yeşil organizasyon araştırmalarının tematik gelişimi dikkate alındığında, Scopus araştırmalarında 2006-2019 yıllarında en yoğun vurgulanan kelimeler; alternatif enerji, çevre, enerji verimliliği, yenilenebilir enerji, çevreci bilişim, karbon ayak izi, enerji, karbon ayak izleri, çevresel sürdürülebilirlik ve yeşil tedarik zinciri yönetimi kavramlarında oluşmuştur. 2020-2023 yıllarında ise karbon ayak izi, çevresel sürdürülebilirlik, yeşil tedarik zinciri yönetimi, yeşillendirme, çevre, yeşil teknoloji ve döngüsel ekonomi kelimeleri vurgulanmıştır. WoS araştırmalarında ise 2007-2019 yıllarında; ayak izi, karbon, enerji verimliliği, enerji yıldızı, karbon ayak izi, yeşil tedarik zinciri yönetimi, yeşil, çevreci bilişim ve yeşillendirme kelimelerinden oluşmuştur. 2020-2023 yıllarında ise karbon ayak izi, karbon, sürdürülebilirlik, çevresel sürdürülebilirlik, çevreci bilişim, yeşillendirme, enerji, yenilikler ve iklim değişikliği kelimelerine vurgu yapıldığı gözlemlenmektedir. Analiz sonuçları her iki veri tabanında da vurgulanan birçok ortak kelimenin olduğunu göstermektedir. Özellikle son yıllarda (2020-2023); karbon ayak izi, çevresel sürdürülebilirlik ve yeşillendirme kavramlarının sıklıkla vurgulandığı anlaşılmaktadır.

## TARTIŞMA ve SONUÇ

Karbon ayak izi ve yeşil organizasyonlar araştırmaları sonucunda Scopus ve WoS veri tabanlarında benzer kavramlara vurgu yapıldığı gözlemlenmiştir. Yazarlar araştırmalarında en fazla karbon ayak izi, sürdürülebilirlik, iklim değişikliği, yeşil, çevre, yeşil tedarik zinciri yönetimi, enerji ve enerji verimliliği kavramlarına vurgu yapmışlardır. Kavramların birlikte oluşum ağları dikkate alındığında; karbon ayak izi, sürdürülebilirlik ve iklim değişikliklerinin en güçlü ilişkilere sahip olduğu görülmüştür. Analizlerde merkezleşme ve yoğunluğun yüksek olduğu anahtar kelimeler içerisinde karbon ayak izi, sürdürülebilirlik, iklim değişikliği, çevre, çevresel, sürdürülebilir kalkınma, sera gazları, yenilenebilir enerji, enerji tüketimi, küresel ısınma, sera gazı, tedarik zinciri yönetimi, yaşam döngüsü değerlendirmesi ve iklim kelimeleri yer

almıştır. Araştırma sonuçları daha temiz ve yaşanabilir bir çevre (dünya) için yeşil organizasyonlara daha fazla ihtiyaç olduğunu göstermiştir.

Hem ürün düzeyinde hem organizasyonel düzeyde sera gazı emisyonlarının izlenmesi ve raporlanması, çevresel sürdürülebilirlik performansına pozitif katkı sağlar (Scipioni et al., 2012). Araştırmada sera gazı emisyonları ve sürdürülebilirlik anahtar kelimeleri arasında bir ilişki olduğu gözlemlenmektedir. Organizasyonlar iş faaliyetlerinde; yeşil ürün, yeşil inovasyon, yenilenebilir enerji ve sürdürülebilir çevresel faaliyetleri dikkate almaları gerekir. Ayrıca ülkelerin ve uluslararası örgütlerin uymak zorunda olduğu kurallar göz önüne alınmalıdır. Organizasyonların ticari hedeflerinin sürekliliği için karbon ayak izi ve yeşil organizasyon algısı uzun vadeli hedefleri içerisinde yer almalıdır. Sürdürülebilirlik faaliyetlerinin yeşil üretimle anlayışı ile desteklenmesi, organizasyonların katma değerli ürün veya hizmet çıktıklarına önemli katkılar sağlar. Kanemoto et al. (2016) sera gazı emisyonlarının azaltılmasını küresel bir zorluk olarak ifade etmişlerdir. Araştırmacılar özellikle gelişmiş ülkelerde karbon ayak izlerinin sürekli büyüdüğünü ve dünyanın diğer bölgelerine yayıldığını belirtmişlerdir. Mustard et al. (2022) ise yüksek gelire sahip ülkelerin sınırsız ekonomik büyümeleri ile refahlarını artırmakta olduğunu ancak toplumsal sağlık açısından sera gazı emisyonlarından ötürü kaynak kullanımının sınırlandırılabilirdiğini vurgulamışlardır.

Analizde CO<sub>2</sub> emisyonlarının karbon ayak izi ve yeşil organizasyonlar ilişkisinde oldukça etkili olduğu görülmektedir. Literatürde bu emisyonların karbon ayak izinin oluşumunda ve organizasyonların faaliyetlerinde etkili olduğu anlaşılmaktadır. Türkiye açısından değerlendirildiğinde; Türkiye'nin karbon salınımı, enerji tüketimine paralel bir şekilde artmaktadır (Demirbas et al., 2004). Sera gazı emisyonları açısından TÜİK'in en güncel verilerine göre Türkiye'de 2021 yılında toplam emisyonlar içerisinde en yüksek oranın CO<sub>2</sub> emisyonlarına ait olduğu anlaşılmaktadır. Bu açıdan CO<sub>2</sub> %85.2'sinin enerji sektöründen, %32.7'sinin elektrik ve ısı üretiminden, %14.5'inin endüstriyel işlemler ve ürün kullanımına ilişkin sektörlerden ve %0.3'ünün tarım ve atık sektörlerden oluştuğu gözlemlenmektedir (TÜİK, 2023). İnsan faaliyetlerinin dünya iklimi üzerinde etkili olduğu ve en önemli etkinin CO<sub>2</sub> ve insan kaynaklı sera gazlarının atmosfer emisyonlarındaki artıştan kaynaklandığı vurgulanmıştır (Krishnan et al., 2023). Ayrıca mekanik üretim yapan organizasyonlarda karbon emisyonları açısından enerjideki yanma miktarının azaltılması ve karbon yakalama cihazlarının artırılması gerektiği belirtilmiştir (He et al., 2023). Araştırma sonuçlarında karbon ayak izi ve yeşil organizasyonlar ilişkisinde CO<sub>2</sub>, enerji, enerji verimliliği, enerji tüketimi, yenilenebilir enerji, yeşil enerji, alternatif enerji, enerji yıldızı, enerji tasarrufu sağlayan ürünler ve biyoenerji kavramlarının oldukça etkili olduğu görülmektedir. Bu açıdan Türkiye'de enerji sektöründe faaliyette bulunan organizasyonların enerji kullanımlarında sera gazı emisyonlarını minimal düzeyde tutabilmeleri yeşil organizasyon davranışına uygun bir hareket olacaktır.

Analizde ekonomi ve döngüsel ekonominin karbon ayak izi ve yeşil organizasyon araştırmalarında etkili olduğu görülmüştür. Bu durum ülkelerin ekonomik gelişmişlik düzeyleri ile karbon salınımalarının ilişkili olduğunu göstermektedir. Ayrıca ekonomik yeterliliğe sahip ülkelerde yeşil organizasyon oluşumunun desteklenmesi daha kolay olabilir. Shandra et al. (2004) ekonomik değişkenlerin gelişmekte olan ülkelerde karbondioksit emisyonlarını etkileyen tek güç olmadığını vurgulamışlardır. Uluslararası sivil toplum kuruluşlarının, çok uluslu organizasyonların, hükümetlerin ve uluslararası kredi kuruluşlarının çevresel sorunları azaltmaya yardımcı oldukları belirtilmiştir.

Araştırmada iklim değişikliğinin karbon ayak izi ve yeşil organizasyon araştırmalarında etkili olduğu görülmüştür. Günümüz çevresel veya iklimsel değişikliklerin oluşumunda, organizasyonların iş faaliyetlerinde (üretim, tüketim ve dönüşüm gibi) kullandıkları hammadde, mamul veya enerji gibi kaynaklar etkili olabilmektedir. Organizasyonların mal veya hizmet üretiminde oluşan çıktıları (karbondioksit emisyonları gibi) birçok çevresel probleme sebep olabilmektedir. Matthews et al. (2008) ayak izlerinin iklim değişikliği politikalarını izleyebilmede etkili olduğunu, karbon ayak izinin bir organizasyonun tedarikçilerini etkileyebileceğini ve organizasyonlarda etkili kurumsal iklim değişikliği politikalarını motive edebileceğini belirtmişlerdir.

Analizde karbon ayak izi, ticaret, sınır ve yeşil tedarikçi seçiminin ilişkilere sahip olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum tedarikçilerin organizasyon faaliyetlerinde etkili bir konuma sahip olduklarını gösterir. Tedarikçiler yeşil organizasyon oluşumuna katkıda bulunabilir. Kumar & Jain (2010) organizasyonların tedarikçiler ile karbon farkındalığı oluşturmaları ve çevre dostu yaklaşımları teşvik etmeleri gerektiğini vurgulamışlardır. Ayrıca araştırmacılar, karbon ayak izlerinin, tedarikçi seçiminde çevresel etki kriteri açısından doğru bir ölçüm sağladığını belirtmişlerdir. Lee & Cheong (2011) organizasyonda üretim sürecinde tedarikçilerin karbon emisyonlarını kontrol etmeleri gerektiğini, risklerin erken tespitinin, karbon emisyonları ve enerji tüketimlerinin azaltılmasında sürekli iyileştirmelerin yapılması gerektiğini vurgulamışlardır.

Ülkelerin karbondioksit emisyonları ihracat ve ithalat rakamlarına göre şekil alabilir. Ayrıca ülkelerin enerji kullanım yerlerindeki farklılıklar da emisyonların oluşumunda etkili olabilir. Wiedmann et al. (2010) Birleşik Krallık'ta ithalata bağlı karbondioksit emisyonlarının yıllara göre (1992-2004) güçlü bir artış (%60) oluşturduğunu, ihracatla ilgili emisyonların daha az artış (%28) sergilediğini ortaya koymuşlardır. Araştırmacılar tüketici emisyonlarının ise yıllara göre sabit kaldığını ifade etmişlerdir.

Analizde karbon ayak izi ve yeşil organizasyonlarda su ayak izinin de etkili olduğu görülmüştür. Dünya genelindeki karbon salınımlarının yoğunluğu birçok bölgede susuzluğa (veya kuraklığa) sebep olabilmektedir. Bu durum özellikle iklimsel değişikliklere neden olmakta, insan ve diğer canlıların yaşam alanlarında değişikliklere sebep olabilmektedir. Galli et al. (2012) karbon ayak izinin AB iklim hedeflerine hitap edebildiğini, su ayak izinin; doğrudan veya dolaylı olarak tatlı su gereksinimleri ile ilişkili olduğunu, sınırlı bir uygulama alanına sahip olduğunu ve AB su politikaları için bilgilendirici bir niteliğe sahip olduğunu belirtmişlerdir. Öztaş Karlı & Artar (2021) su döngüsünün sürdürülebilirliğinde su ayak izinin azaltılması için kentlerin, kaynakları ve kaliteyi iyi yönetmesi gerektiğini belirtmişlerdir.

Analizde tedarik zinciri yönetimi, yeşil tedarik zinciri yönetimi, karbon yönetimi, çevre yönetimi ve çevresel yönetim kelimelerinin karbon ayak izi ve yeşil organizasyon araştırmalarında etkili olduğu görülmüştür. Yönetim mekanizması hem ulusal hem uluslararası ticari faaliyetlerde ülkeler bazında oldukça etkili bir kavramdır. Özellikle güce sahip ülkeler birçok faaliyetinde yönetim mekanizmasının rolünden faydalanabilmektedir. Hukuki ve politik kararlar karbon ayak izi ve yeşil organizasyon algısını etkileyebilir. Gani (2012) gelişmekte olan ülkelerde karbondioksit emisyonlarının kontrol edilmesinde (politika, hukuk ve yolsuzluk açısından) iyi yönetişimin etkili olduğunu, ticari açıklık ve sanayi sektörünün de emisyonların oluşumunda etkili olduğunu vurgulamıştır. Scipioni et al. (2012) organizasyon düzeyinde alınan kararların; ürünlerin karbon ayak izlerini nasıl etkilediğini ortaya koyabileceğini, ürünlerin karbon ayak izine katkılarını anlamalarında ve karbon salınımını azaltmak için tedarik zincirinde nereye müdahale edilmesi gerektiğini belirleyebileceğini vurgulamışlardır. Araştırmalarında sera gazı emisyonlarının izlenmesi ve raporlanması sayesinde, herhangi bir ürünün iklim değişikliği üzerindeki etkilerini araştıran yönetim stratejilerinin hazırlanmasının kolaylaşabileceğini belirtmişlerdir. Ayrıca yönetim ve çevresel etkiler açısından, organizasyonların operasyonlarını ve tedarik zinciri yönetimlerini daha iyi yapabilmelerine, iklim değişikliği üzerindeki etkilerin azalmasına katkı sağlayabileceğini vurgulamışlardır.

Araştırmada karbon vergisi, karbon emisyonu, küresel ısınma ve iklim değişikliği kavramlarının oldukça etkili olduğu gözlemlenmiştir. Ülkelerin ihracat ve ithalatlarına bağlı olarak karbon emisyonlarına ilişkin birçok ticari faaliyet gerçekleştirilmektedir. Özellikle uluslararası ticari sözleşmeler karbon oluşumunda etkili olabilmektedir. Hraskey (2012) Kyoto Protokolü'nün birçok hükümet tarafından onaylanması ile birlikte emisyon ticaretindeki büyümeler, karbon vergisi, karbon denkleştirme planları, gönüllü girişimler, karbon emisyonları, iklim değişiklikleri ve küresel ısınma gibi birçok etkenin politikacıların ve tüketicilerin endişelerini artırdığını belirtmiştir.

Analizde ilgili ülke araştırmacılarının karbon ayak izi ve yeşil organizasyonlara ilişkin araştırmalar yürüttüğü gözlemlenmiştir. Ülkeler karbon salınımını azaltmak için çeşitli anlaşmalar gerçekleştirebilmektedir. Bu durum yeşil organizasyonun yanında yeşil ürün algısının oluşmasına katkıda bulunabilir. Trappey et al.

(2012) Avrupa Birliği, Avustralya, Japonya, Kaliforniya, Tayland, Kore ve Tayvan'ın karbon etiketine yönelik standartlar için düzenlemeler gerçekleştirdiğini belirtmişlerdir. Organizasyonların karbon ayak izini azaltma konusunda ilerleme kaydetmeleri durumunda, çevre dostu ürünlerin itibarının, markasının ve satışlarının daha olumlu karşılanacağını vurgulamışlardır.

Organizasyonlardaki ticari faaliyetlerin süreklilik arz edebilmesi, tüketici memnuniyetinin oluşturulması ile ilgili olabilir. Bu memnuniyetin oluşumunda organizasyonların yeşil veya çevreci faaliyetleri etkili olmaktadır. Bu açıdan gerek özel gerekse kamusal faaliyetlerde yeşil organizasyon algısının oluşturulması, güçlü bir ekonomik yapının oluşturulmasına katkıda bulunabilir. Alvarez & Rubio (2015) karbon ayak izinin yeşil kamu alımlarında, güçlü ekonomik bir inovasyonu teşvik edebileceğini belirtmişlerdir. Karbon ayak izi uygulama yöntemlerinin, tüketim kalıplarındaki değişimleri değerlendirebilme ve organizasyonlar için karşılanabilir olması gerektiğini vurgulamışlardır.

Analizde karbon ayak izi ve yeşil organizasyon araştırmalarının sürdürülebilirlik ile çok güçlü ilişkiye sahip olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca sürdürülebilirliğin yanında sürdürülebilir kalkınma ve çevresel sürdürülebilirliğin de birçok kavram ile ilişkili olduğu görülmüştür. Bu durum sürdürülebilir bir çevre için yeşil organizasyon faaliyetlerinin değerli olduğunu ortaya koymaktadır. Ayrıca karbon oluşumunun önlenmesinde sürdürülebilirliğin etkili olduğu anlaşılmaktadır. Gallego-Alvarez et al. (2015) sera gazı emisyonları, iklim değişikliği, çevresel proaktivite ve kurumsal performans kavramlarının organizasyonların imajını (veya itibarını) şekillendirdiğini, yöneticilerin sürdürülebilir yatırımları daha fazla performans çıktısı olarak değerlendirmeleri gerektiğini vurgulamışlardır. Demiral et al. (2021) enerji tüketimi ile oluşan sera etkisinin; sıcaklıkları artırdığını, ekosistemi, insan ve diğer canlıların sağlığını etkilediğini, sosyoekonomik sürdürülebilir kalkınma açısından tehdit oluşturduğunu belirtmişlerdir.

Araştırmada ABD'li ve Çin'li yazarların konu üzerinde birçok araştırma yürüttüğü gözlemlenmiştir. Ülkelerin büyüklüğü, tüketim ihtiyaçları, gelişmişlik düzeyleri, toplumsal beklentileri ve üretim ihtiyaçları gibi birçok faktör karbon ayak izi ve yeşil organizasyon oluşumunda etkili olabilir. Ayrıca ülkelerin güç savaşı ve daha fazla kazanma isteği (veya ekonomik ve politik güce sahip olma arzusu) enerji kullanımına bağlı olarak birçok organizasyonun faaliyetini etkiler. Wu et al. (2016) Çin'in ekonomik büyümesine bağlı olarak enerji tüketiminin ve karbondioksit emisyonlarının önemli derecede arttığını belirtmişlerdir. 2007 yılından beri Çin'in ABD'yi geride bırakarak dünyanın en büyük karbondioksit yayıcı ülkesi olduğunu vurgulamışlardır. Grant & Vasi (2017) ABD'de enerji tesislerinin emisyon yoğunluklarını azaltmaya öncelik vermediklerini, çalışanlarda karbon salınım miktarının azaltılmayacağına yönelik bir algının olduğunu vurgulamışlardır.

Araştırmada yeşil tedarik zinciri yönetiminin, karbon ayak izi ve yeşil organizasyonlar açısından oldukça etkili bir rolü olduğu anlaşılmıştır. Bu durum yeşil tedarik zinciri yönetiminde organizasyonların faaliyetleri ile etkili bir mal ve hizmet üretimi anlayışına sahip olabilmelerinin önemine dikkat çekmektedir. Burada yeşil organizasyonların daha pozitif, çevreci bir izlenim uyandırabilmeleri söz konusudur. Yu & Su (2017) yeşil tedarik zinciri yönetimi çağında, sürdürülebilir yeşil yönetime sahip olabilmek için uygun tedarikçi seçiminin önemli olduğunu, çevreyi korumaya yönelik değerlendirme kriterlerinin dikkate alınması gerektiğini vurgulamışlardır.

Analizde OECD'nin karbon ayak izi ve yeşil organizasyonlar araştırmalarında etkili olduğu gözlemlenmiştir. OECD gibi örgütler dünyada birçok organizasyonun faaliyetine etki edebilmektedir. Özellikle ülkelerin belirli konulardaki politikalarına önerileri ile yön verebilmektedir. Bu durum birçok faaliyette ülkelerin oluşturduğu birliklerin, çevreci amaçlara da sahip olmasının önemini ortaya koyar. Alvarez et al. (2019) OECD ülkelerinin (34 ülke) kentleşme düzeyindeki artış ile kişi başına düşen CO<sub>2</sub> emisyonlarındaki artış oranının doğrusal olduğunu ortaya koymuşlardır.

Araştırmada iklim değişikliğinin karbon ayak izi ve yeşil organizasyon araştırmalarında oldukça çok vurgulandığı gözlemlenmiştir. İklimsel olarak meydana gelen düzensiz değişimler birçok çevresel felakete

yol açabilmektedir. Özellikle aşırı sıcaklığın sebep olduğu kuraklık veya aşırı yağmurların oluşturduğu seller, dünyada ülkeleri etkilemektedir. Organizasyonların sağladığı çıktılar ile çevrelerine verdikleri zararlar bu duruma sebep olan bir etken olabilir. İklim değişikliklerine yol açabilecek uygulamalar, birçok organizasyonun faaliyetlerinde sorumluluk bilinci ile hareket etmesini gerektirir. Du et al. (2019) iklim değişikliği ile mücadele etmenin tüm ekonomilerin ortak sorumlulukları olduğunu, yeşil teknolojik inovasyonların ekonomik büyümeyi teşvik ederken karbondioksit emisyonlarını azaltacağını ve gelişmekte olan ekonomilerin yeşil inovasyon kapasitelerini güçlendirmelerine ihtiyaçları olduğunu belirtmişlerdir. Steg (2023) iklim değişikliğinde, insanların iklim değişikliğini algılama derecesinin, insan kaynaklı olma derecesinin ve olumlu ya da olumsuz sonuçlara sahip olma anlayışlarının etkili olduğunu vurgulamıştır. Bu açıdan iklim değişikliğine sebep olabilecek faktörler organizasyonlar düzeyinde etkili olabilir.

Karbon ayak izinin oluşmasını önlemek için gerçekleştirilen her adım, tüm toplumun yaşam alanına katkıda bulunur. Özellikle bireysel ve organizasyonel faaliyetlerde uygulanan politikalar veya kurallar bu duruma etki edebilir. Vita et al. (2020) daha düşük tüketimli karbon ayak izinin daha yüksek yaşam memnuniyeti oluşturduğunu ortaya koymuşlardır. Chen et al. (2021) Çin'deki enerji yapısı açısından düşük karbon gelişimini desteklemek için 2014'te yedi bölgede karbon ticaretini başlattığını ifade etmişlerdir. Çin'in emisyon ticaret politikalarının, işletmelerin yeşil patente ilişkin politikalarını %9.3 azalttığını, yeşil inovasyon üzerinde baskı oluşturduğunu, yeşil yenilik faaliyetlerini engellediğini, yeşil teknolojik yenilikleri ve üretime olumsuz etkileri olduğunu belirtmişlerdir. Bu durumun organizasyonların yeşil inovasyonu etkileyen AR-GE'ye yatırımların azalmasına sebep olduğunu vurgulamışlardır. Araştırmalarında karbon emisyon ticareti kontrol sisteminin kurulması gerektiğini ve çevresel sorumluluk için bilinç oluşturulmasının önemli olduğunu belirtmişlerdir.

Analizde, çevre, çevresel sürdürülebilirlik, çevreci bilişim, çevresel yönetim, çevre dostu ve çevre performansı gibi kavramların oldukça yoğun kullanıldığı gözlemlenmiştir. Yeşil organizasyonların sergilediği çevreci yaklaşım, uzun vadeli sürekliliklerinde etkili olabilir. Ayrıca tüketiciler üzerinde oluşturdukları pozitif izlenim, markaya veya organizasyona olan güveni güçlendirebilir. Çevreci yaklaşımı dikkate alan birçok örgüt, organizasyonların iş faaliyetlerinde çevresel bir anlayışla hareket etmelerini dikkate alırlar. Fraser & Temocin (2021) Japonya'da 2005-2017'li yıllarda nüfusun büyüklüğüne göre daha çevreci örgütlere sahip olan şehirlerde, karbon emisyonlarının azaltılması için baskı yapıldığını ve bu durumun çevresel bağlılığı artırdığını ifade etmişlerdir.

Uygulamada yeşil, yeşillendirme, yeşil ofis, yeşil tedarik zinciri ve yeşil inovasyon kavramlarının karbon ayak izi ve yeşil organizasyon araştırmalarında etkili olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum organizasyon faaliyetlerinde çevreci bir tutuma sahip olmanın kıymetli olabileceğini göstermektedir. Bu açıdan yeşil yaklaşımın birçok organizasyonun politikaları içerisinde yer alması ve çalışanları ile bütünlük oluşturması etkili olabilir. Liu et al. (2021) organizasyonların yeşil faaliyetlerde etkili olabilmeleri için çalışanlarına yeşile yönelik eğitim ve öğretim uygulamaları ile yeşil bilgi ve beceriye sahip olmalarının sağlanabileceğini belirtmişlerdir. Jayaraman et al. (2023) yeşil inovasyonun kurumsal sürdürülebilirlik performansına katkıda bulunduğunu ortaya koymuşlardır. Tang et al. (2023) çalışanların alışkanlıklarının yeşil davranış sergilemelerinde etkili olduğunu ifade etmişlerdir.

Kaliteli bir yaşam için yeşil organizasyon anlayışına, dünya genelinde ihtiyaç duyulması oldukça dikkat çekicidir. Teknoloji bağımlılığın sürekli olarak artış eğilimine sahip olması, enerji tüketimine olan ihtiyacı günden güne artmaktadır. Organizasyonların daha fazla kar elde etme arzusu, enerji tüketiminde yeni alternatiflere yönelmeyi beraberinde getirmektedir. Bu açıdan organizasyonların enerjiye olan ihtiyaçları, çevresel kaynaklara ve verimli enerji kaynaklarına talebi desteklemektedir. Yenilenebilir enerjiye yönelimin sağlanması birçok organizasyonun, organizasyon politikası haline getirilmelidir. Organizasyonlar iş faaliyetleri ile birçok alanda topluma örnek olma kabiliyetine sahiptir. Bu çerçevede yeşil organizasyon anlayışı, küçük ya da büyük ölçekte bütün organizasyonların uygulamalarında yer almalıdır. Araştırma Scopus ve WoS veri tabanlarında karbon ayak izi ve yeşil organizasyon araştırmaları ile sınırlıdır. Gelecek

araştırmalarda karbon ayak izi ve yeşil teknolojiler kavramları incelenebilir. Ayrıca yeşil organizasyon algısını oluşturan temel bileşenlerin neler olabileceği ortaya koyulabilir. Enerji verimliliği, sürdürülebilirlik ve yeşil çevre anlayışını oluşturan yeni araştırmalara da yer verilebilir.

### **Veri Kullanılabilirliği**

Veriler makul talep üzerine sağlanabilmektedir.

### **Yazar Katkıları\***

Çalışmanın konsepti ve tasarımı: İD, İG, örnek toplama: İD, İG, verilerin analizi ve yorumlanması; : İD, İG, istatistiksel analiz: İD, İG, görselleştirme: İD, İG, makalenin yazımı: İD, İG.

### **Çıkar Çatışması**

Bu çalışmada yazarlar arasında çıkar çatışması bulunmamaktadır.

### **Etik Beyan**

Bu araştırma için etik kurula ihtiyaç olmadığını beyan ederiz.

### **Finansal Destek**

Bu çalışmada finansal destek alınmamıştır.

### **Makale Açıklaması**

Bu makale Konu Editörü Doç. Dr. İpek ALTUĞ TURAN tarafından düzenlenmiştir.

## **KAYNAKLAR**

- Alvarez, C. H., J. A. Mcgee & R. York, 2019. Is labor green? A cross-national panel analysis of unionization and carbon dioxide emissions. *Nature and Culture*, 14 (1): 17-38. <https://www.jstor.org/stable/10.2307/26948922>
- Alvarez, S. & A. Rubio, 2015. Carbon footprint in green public procurement: A case study in the services sector. *Journal of Cleaner Production*, 93: 159-166. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.01.048>
- Aria, M. & C. Cuccurullo, 2017. Bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of Informetrics* 11 (4): 959-975. <http://dx.doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007>
- Ayoungman, F. Z., A. H. Shawon, R. R. Ahmed, M. K. Khan & M. S. Islam, 2023. Exploring the economic impact of institutional entrepreneurship, social innovation, and poverty reduction on carbon footprint in BRICS countries: what is the role of social enterprise? *Environmental Science and Pollution Research*, 30:122791–122807. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-30868-z>
- Balat, M., H. Balat & N. Acici, 2003. Environmental issues relating to greenhouse carbon dioxide emissions in the world. *Energy Exploration & Exploitation*, 21 (5&6): 457-473. <https://www.jstor.org/stable/43754058>
- Bowen, F. E., 2000. Environmental visibility: A trigger of green organizational response? *Business Strategy and the Environment*, 9: 92-107. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-0836\(200003/04\)9:2<92::AID-BSE230>3.0.CO;2-X](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-0836(200003/04)9:2<92::AID-BSE230>3.0.CO;2-X)
- Chen, Z., X. Zhang & F. Chen, 2021. Do carbon emission trading schemes stimulate green innovation in enterprises? Evidence from China. *Technological Forecasting & Social Change*, 168: 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.120744>
- Choi, B. B., D. Lee & J. Psaros, 2013. An analysis of Australian company carbon emission disclosures. *Pacific Accounting Review*, 25 (1): 58-79. <https://doi.org/10.1108/01140581311318968>
- Danışman, I. K. & A. G. Özalp, 2016. Karbon ayak izinin azaltılmasında yeşil liman uygulamasının rolü: Marport Örneği. *Dokuz Eylül Üniversitesi Denizcilik Fakültesi Dergisi*, 8: 99-116. <https://doi.org/10.18613/deudfd.98463>
- Demiral, M., E. E. Akça & I. Tekin, 2021. Predictors of global carbon dioxide emissions: Do stringent environmental policies matter? *Environment. Development and Sustainability*, 23: 18337-18361. <https://doi.org/10.1007/s10668-021-01444-7>



- Demirbas, M. F., K. Bozbas & M. Balat, 2004. Carbon dioxide emission trends and environmental problems in Turkey. *Energy Exploration & Exploitation*, 22 (5): 355-366. <https://doi.org/10.1260/0144598043026464>
- Donthu, N., S. Kumar, D. Mukherjee, N. Pandey & W. M. Lim, 2021. How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 133: 285-296. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.04.070>
- Du, K., P. Li & Z. Yan, 2019. Do green technology innovations contribute to carbon dioxide emission reduction? Empirical evidence from patent data. *Technological Forecasting & Social Change*, 146: 297-303. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2019.06.010>
- Fraser, T. & P. Temocin, 2021. Grassroots vs. greenhouse: the role of environmental organizations in reducing carbon emissions. *Climatic Change*, 169 (22): 1-21. <https://doi.org/10.1007/s10584-021-03260-4>
- Gallego-Alvarez, I., L. Segura & J. Martinez-Ferrero, 2015. Carbon emission reduction: the impact on the financial and operational performance of international companies. *Journal of Cleaner Production*, 103: 149-159. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.08.047>
- Galli, A., T. Wiedmann, E. Ercin, D. Knoblauch, B. Ewing & S. Giljum, 2012. Integrating ecological, carbon and water footprint into a "footprint family" of indicators: Definition and role in tracking human pressure on the planet. *Ecological Indicator*, 16: 100-112. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.06.017>
- Gani, A., 2012. The relationship between good governance and carbon dioxide emissions: Evidence from developing economies. *Journal of Economic Development*, 37 (1): 77-93. <https://doi.org/10.35866/caujed.2012.37.1.004>
- Grant, D. & B. Vasi, 2017. Civil society in an age of environmental accountability: How local environmental nongovernmental organizations reduce U.S. power plants' carbon dioxide emissions. *Sociological Forum*, 32 (1): 94-115. <https://doi.org/10.1111/sof.12318>
- Green, K., B. Morton & S. New, 2000. Greening organizations: Purchasing, consumption, and innovation. *Organization & Environment*, 13 (2): 206-225. <https://www.jstor.org/stable/26161745>
- Grosbois, D. D. & D. Fennell, 2011. Carbon Footprint of the Global Hotel Companies: Comparison of Methodologies and Results, *Tourism Recreation Research*, 36 (3): 231-245. <https://doi.org/10.1080/02508281.2011.11081669>
- He, B., S. Qian & T. Li, 2023. Modeling product carbon footprint for manufacturing process, *Journal of Cleaner Production*, 402: 1-19. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136805>
- Hermawan, A., I. S. Aisyah, A. Gunardi & W. Y. Putri, 2018. Going green: Determinants of carbon emission disclosure in manufacturing companies in Indonesia. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 8 (1): 55-61. <https://www.econjournals.com/index.php/ijeep/article/view/6009>
- Hrasky, S., 2012. Carbon footprints and legitimation strategies: Symbolism or action? *Accounting, Auditing & Accountability Journal*, 25 (1): 174-198. <http://dx.doi.org/10.1108/09513571211191798>
- Jayaraman, K., S. Jayashree & M. Dorasamy, 2023. The effects of green innovations in organizations: Influence of stakeholders, *Sustainability*, 15: 1-13. <https://doi.org/10.3390/su15021133>
- Kanemoto, K., D. Moran & E. G. Hertwich, 2016. Mapping the carbon footprint of nations. *Environ. Sci. Technol.*, 50 (19): 10512–10517. <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b03227>
- Khattak, S. I. & M. Ahmad, 2022. The cyclical impact of innovation in green and sustainable technologies on carbon dioxide emissions in OECD economies. *Environmental Science and Pollution Research*, 29: 33809-33825. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-18577-5>
- Krishnan, A., A. Nighojkar & B. Kandasubramanian, 2023. Emerging towards zero carbon footprint via carbon dioxide capturing and sequestration, *Carbon Capture Science & Technology*, 9: 1-20. <https://doi.org/10.1016/j.ccst.2023.100137>
- Kumar, A. & V. Jain, 2010. Supplier selection: A green approach with carbon footprint monitoring. *SCMIS*, 622-629. ISBN: 978-962-367-697-7
- Laurent, A., S. I. Olsen & M. Z. Hauschild, 2012. Limitations of carbon footprint as indicator of environmental sustainability. *Environmental Science & Technology*, 46 (7): 4100–4108. <http://dx.doi.org/10.1021/es204163f>
- Lee, K. H. & I. M. Cheong, 2011. Measuring a carbon footprint and environmental practice: the case of Hyundai Motors Co. (HMC). *Industrial Management & Data Systems*, 111 (6): 961-978. <http://dx.doi.org/10.1108/02635571111144991>

- Liu, Z., S. Mei & Y. Guo, 2021. Green human resource management, green organization identity and organizational citizenship behavior for the environment: the moderating effect of environmental values. *Chinese Management Studies*, 15 (2): 290-304. <http://dx.doi.org/10.1108/CMS-10-2019-0366>
- Matthews, H. S., C. T. Hendrickson & C. L. Weber, 2008. The importance of carbon footprint estimation boundaries. *Environmental Science & Technology*, 42 (16): 5839-5842. <https://doi.org/10.1021/es703112w>
- Mukherjee, D., W. M. Lim, S. Kumar & N. Donthu 2022. Guidelines for advancing theory and practice through bibliometric research. *Journal of Business Research*, 148: 101-115. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2022.04.042>
- Mustard, C., A. Haines, K. Belesova & S. Cousens, 2022. Achieving good health with a low environmental footprint – A comparison of national indicators. *Wellcome Open Research*, 7(299): 1-17. <https://doi.org/10.12688/wellcomeopenres.18589.1>
- Newton, T. & G. Harte, 1997. Green business: Technician kitsch, *Journal of Management Studies*, 34 (11): 75-98. <https://doi.org/10.1111/1467-6486.00043>
- Öztaş Karlı, R. G. & M. Artar, 2021. Kentsel su yönetiminde araç olarak su ayak izi ve mavi-yeşil altyapı, *Ege Univ. Ziraat Fak. Derg.*, 58 (1): 145-162, <https://doi.org/10.20289/zfdergi.851375>
- Pandey, D., M. Agrawal & J. S. Pandey, 2011. Carbon footprint: current methods of estimation. *Environ Monit Assess*, 178: 135–160. <https://doi.org/10.1007/s10661-010-1678-y>
- Paulsson, F. & F. V. Malmberg, 2004. Carbon dioxide emission trading, or not? An institutional analysis of company behaviour in Sweden. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, 11 (4): 211-221. <https://doi.org/10.1002/csr.067>
- Penz, E. & P. Pölsa, 2018. How do companies reduce their carbon footprint and how do they communicate these measures to stakeholders? *Journal of Cleaner Production*, 195: 1125-1138. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.263>
- Raja, S. P., 2021. Green computing and carbon footprint management in the IT sectors. *IEEE Transactions on Computational Social Systems*, 8 (5): 1172-1177. <https://doi.org/10.1109/TCSS.2021.3076461>
- Recker, J., M. Rosemann, A. Hjalmarsson & M. Lind, 2012. "Modeling and Analyzing the Carbon Footprint of Business Processes, 93-109". *Green Business Process Management: Towards the Sustainable Enterprise*. (Eds. J.V. Brocke, S. Seidel & J. Recker), Springer Heidelberg Dordrecht London New York, 251 pp. ISBN 978-3-642-27487-9, <https://doi.org/10.1007/978-3-642-27488-6>.
- Scipioni, A., A. Manzardo, A. Mazzi & M. Mastrobuono, 2012. Monitoring the carbon footprint of products: a methodological proposal. *Journal of Cleaner Production*, 36: 94-101. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.04.021>
- Shandra, J. M., B. London, O. P. Whooley & J. B. Williamson, 2004. International nongovernmental organizations and carbon dioxide emissions in the developing world: A quantitative, cross-national analysis. *Sociological Inquiry*, 74 (4): 520-545. <https://doi.org/10.1111/j.1475-682X.2004.00103.x>
- Song, W. & H. Yu, 2018. Green innovation strategy and green innovation: The roles of green creativity and green organizational identity. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, 25 (2): 135-150. <https://doi.org/10.1002/csr.1445>
- Steg, L., 2023. Psychology of climate change. *Annual Review of Psychology*, 74: 391-421. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-032720-042905>
- Tang, G., S. Ren, M. Wang, Y. Li & S. Zhang, 2023. Employee green behaviour: A review and recommendations for future research, *Int. J. Manag. Rev.*, 25: 297–317. <https://doi.org/10.1111/ijmr.12328>
- Trappey, A. J. C., C. V. Trappey, C. T. Hsiao, J. J. R. Ou & C. T. Chang, 2012. System dynamics modelling of product carbon footprint life cycles for collaborative green supply chains, *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 25 (10): 934-945. <https://doi.org/10.1080/0951192X.2011.593304>
- TÜİK, 2023. Sera Gazı Emisyon İstatistikleri: 1990-2021. (Web page: <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Sera-Gazi-Emisyon-Istatistikleri-1990-2021-49672#:~:text=Sera%20gaz%C4%B1%20envanteri%20sonu%C3%A7lar%C4%B1na%20g%C3%B6re,CO2%20e%C5%9Fd.%20olarak%20hesapland%C4%B1.>) (Erişim tarihi: Eylül 2023)

- Vita, G., D. Ivanova, A. Dumitru, R. Garcia-Mira, G. Carrus, K. Stadler, K. Krause, R. Wood & E. G. Hertwich, 2020. Happier with less? Members of European environmental grassroots initiatives reconcile lower carbon footprints with higher life satisfaction and income increases. *Energy Research & Social Science*, 60: 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2019.101329>
- Walenta, J., 2021. The making of the corporate carbon footprint: The politics behind emission scoping. *Journal of Cultural Economy*, 14 (5): 533-548. <https://doi.org/10.1080/17530350.2021.1935297>
- Weidema, B. P., M. Thrane, P. Christensen, J. Schmidt & S. Løkke, 2008. Carbon Footprint: A Catalyst for Life Cycle Assessment? *Journal of Industrial Ecology*, 12 (1): 3-6. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1530-9290.2008.00005.x>
- Wiedmann, T. & J. Minx, 2008. "A Definition of 'Carbon Footprint, 1-11". In: *Ecological Economics Research Trends: Chapter 1* (Ed. C. C. Pertsova). Nova Science Publishers. Hauppauge NY, USA, 273, [https://www.novapublishers.com/catalog/product\\_info.php?products\\_id=5999](https://www.novapublishers.com/catalog/product_info.php?products_id=5999).
- Wiedmann, T., R. Wood, J. C. Minx, M. Lenzen, D. Guan & R. Harris, 2010. A carbon footprint time series of the UK- results from a multi-region input-output model, *Economic Systems Research*, 22 (1): 19-42. <http://dx.doi.org/10.1080/09535311003612591>
- Wu, J., Y. Wu, W. Guo & T. S. Cheong, 2016. Convergence of carbon dioxide emissions in Chinese cities: A continuous dynamic distribution approach. *Energy Policy*, 91: 207-219. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2015.12.028>
- Xin, D., M. Ahmad, H. Lei & S. I. Khattak, 2021. Do innovation in environmental-related technologies asymmetrically affect carbon dioxide emissions in the United States? *Technology in Society*, 67: 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2021.101761>
- Yıldız, D., 2023. Green Organizations. In: Gülbahar, Y. (ed.), *Organizational Behaviour: Current Issues*. Özgür Publications. <https://doi.org/10.58830/ozgur.pub136.c568>
- Yu, M. C. & M. H. Su, 2017. Using Fuzzy DEA for green suppliers selection considering carbon footprints. *Sustainability*, 9 (495): 1-11. <https://doi.org/10.3390/su9040495>
- Zacher, H., C. W. Rudolph & I. M. Katz, 2023. Employee green behavior as the core of environmentally sustainable organizations, *Annual Review of Organizational Psychology and Organizational Behavior*, 10: 465-94. <https://doi.org/10.1146/annurev-orgpsych-120920-050421>