

SOIL HEALTH AND LAST AGRICULTURAL DEVELOPMENTS

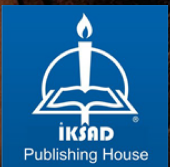


EDITORS:

Assoc. Prof. Dr. Ahmet ÇELİK

Prof. Dr. Korkmaz BELLİTÜRK

Prof. Dr. Mehmet Fırat BARAN



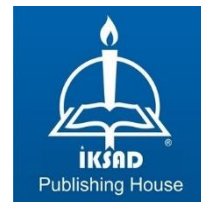
**SOIL HEALTH AND LAST AGRICULTURAL
DEVELOPMENTS
(TOPRAK SAĞLIĞI VE SON TARIMSAL
GELİŞMELER)**

EDITORS

Assoc. Prof. Dr. Ahmet ÇELİK
Prof. Dr. Korkmaz BELLİTÜRK
Prof. Dr. Mehmet Fırat BARAN

AUTHORS

Prof. Dr. Ali Özpınar
Prof. Dr. Birol KAYIŞOĞLU
Prof. Dr. Demir KÖK
Prof. Dr. İsmet BAŞER
Prof. Dr. Nur OKUR
Prof. Dr. Oğuz BİLGİN
Assoc. Prof. Dr. Alpay BALKAN
Assoc. Prof. Dr. Orhan YÜKSEL
Assist. Prof. Dr. Asuman YANARDAĞ
Assist. Prof. Dr. Aytaç MORALAR
Assist. Prof. Dr. Baboo ALİ
Assist. Prof. Dr. Bülent YAĞMUR
Assist. Prof. Dr. Hülya SAYGI
Assist. Prof. Dr. İbrahim Halil YANARDAĞ
Assist. Prof. Dr. Miraç KILIÇ
Assist. Prof. Dr. Somayyeh RAZZAGHI
Dr. Aylin ERKOCAK
Dr. Emrah RAMAZANOĞLU
Dr. Volkan ATAV
Res. Asst. Dr. Damla BALABAN GÖÇMEN
Res. Asst. Abdullah ATUM
Res. Asst. Fatma Nur KILIÇ
(the names are arranged in alphabetical order)



Copyright © 2024 by iksad publishing house
All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, distributed or
transmitted in any form or by
any means, including photocopying, recording or other electronic or mechanical
methods, without the prior written permission of the publisher, except in the case of
brief quotations embodied in critical reviews and certain other noncommercial uses
permitted by copyright law. Institution of Economic Development and Social
Researches Publications®

(The Licence Number of Publicator: 2014/31220)

TÜRKİYE TR: +90 342 606 06 75

USA: +1 631 685 0 853

E mail: iksadyayinevi@gmail.com

www.iksadyayinevi.com

It is responsibility of the author to abide by the publishing ethics rules. Editors are not
responsible for the content of the works. The first degree responsibility of the works
in the book belongs to the authors.

Iksad Publications – 2024©

ISBN: 978-625-367-835-7

Cover Design: Doruk AYDOĞAN

Fahrettin KAYA

September/ 2024

Ankara / Türkiye

Size = 16x24 cm

CONTENTS

PREFACE

Assoc. Prof. Dr. Ahmet ÇELİK

Prof. Dr. Korkmaz BELLİTÜRK

Prof. Dr. Mehmet Fırat BARAN.....1

ENGLISH CHAPTERS

CHAPTER 1

ALTERNATIVE FERTILIZATION METHODS IN MODERN VITICULTURE

Dr. Aylin ERKOCAK.3

CHAPTER 2

PROTECTING, IMPROVING AND DEVELOPING SOIL HEALTH AND QUALITY

Assist. Prof. Dr. Hülya SAYGI.....31

CHAPTER 3

PLANT AND INSECT RELATIONSHIPS IN SUSTAINABLE AGRICULTURE

Prof. Dr. Ali ÖZPINAR

Assist. Prof. Dr. Baboo ALİ.....49

CHAPTER 4

UNVEILING THE IMPACTS OF TOPOGRAPHIC DRIVERS ON VINEYARD DYNAMICS

Prof. Dr. Demir KOK.73

CHAPTER 5

LEVERAGING ARTIFICIAL INTELLIGENCE TO REVOLUTIONIZE SOIL HEALTH MANAGEMENT

Assist. Prof. Dr. Somayyeh RAZZAGHI

Res. Asst. Fatma Nur KILIÇ.....89

CHAPTER 6

THE EFFECT OF SALINITY ON SOIL HEALTH

Dr. Emrah RAMAZANOĞLU.113

CHAPTER 7

SEEDING MECHANISMS IN UNIVERSAL SOWING MACHINES

Assist. Prof. Dr. Aytaç MORALAR

Prof. Dr. Birol KAYIŞOĞLU.....131

CHAPTER 8

USE OF BIOGAS DIGESTED SLURRY IN AGRICULTURE: BENEFITS AND RISKS

Dr. Volkan ATAV

Assoc. Prof. Dr. Orhan YÜKSEL.....145

CHAPTER 9

THE EFFECT OF CADMIUM POLLUTION ON SOIL HEALTH

Dr. Emrah RAMAZANOĞLU165

TÜRKÇE BÖLÜMLER

BÖLÜM 10

TOPRAK SAĞLIĞINI DEĞERLENDİRMEDE TOPRAK MİKROORGANİZMALARINDAN YARARLANABİLİR MİYİZ?

Prof. Dr. Nur OKUR

Dr. Öğr. Üyesi Bülent YAĞMUR.185

BÖLÜM 11

TOPRAK SAĞLIĞI ve SAYISAL TOPRAK MODELLEME

Arş. Gör. Abdullah ATUM

Dr. Öğr. Üyesi Miraç KILIÇ

Dr. Öğr. Üyesi İbrahim Halil YANARDAĞ

Dr. Öğr. Üyesi Asuman YANARDAĞ.....213

BÖLÜM 12

TOPRAK SAĞLIĞI VE SÜRDÜRÜLEBİLİR TARIMDA BİYOKÖMÜR (BIOCHAR) KULLANIMI

Dr. Öğr. Üyesi Bülent YAĞMUR.....237

BÖLÜM 13

KÜRESEL İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNDE TRİTİKALENİN ROLÜ VE ÖNEMİ

Arş. Gör. Dr. Damla BALABAN GÖÇMEN

Doç. Dr. Alpay BALKAN

Prof. Dr. İsmet BAŞER

Prof. Dr. Oğuz BİLGİN..... 263

PREFACE

The topic of soil health has become a prominent focus of discussion and commentary, with environmental concerns emerging as a key agenda item. What is meant by the term "soil health"? In light of the prevalence of environmental degradation, it is unsurprising that questions pertaining to the significance of soil health are frequently posed. As the gravity of the issue has become apparent, numerous countries have sought to address these challenges by allocating financial resources to these matters. Given that soil is an irreplaceable natural asset,

A healthy soil is the foundation for productive and sustainable agricultural practices. The protection of soil health, encompassing all its components, is of paramount importance for the realization of a sustainable and liveable future. This is due to the fact that soil health affects a multitude of significant issues, including food security and climate regulation. To illustrate the significance of this issue, one must consider several key factors. Firstly, the production of food relies on soil health. Secondly, soil plays a vital role in supporting and protecting ecosystem services. Thirdly, soil quality affects the resilience of agricultural systems and the risk of climate change. Fourthly, soil degradation negatively impacts biodiversity. Fifthly, soil management must consider different climatic conditions. Sixthly, soil health is essential for the resilience of agricultural systems. Seventhly, sustainable agricultural practices must be implemented to ensure cost-effectiveness and prevent negative consequences for human health. These include soil contamination, degradation, and exposure in the food chain.

The capacity of healthy soils to store carbon is an important factor in the mitigation of climate change. Soils that are in a healthy state are able to store water and have a higher level of fertility. This results in crops that are more resilient to extreme weather events that are brought about by climate change.

The management of soil health is of critical importance for the sustainable development of agriculture and the protection of the environment. Maximizing soil health is a crucial step in achieving optimal profitability. The future holds great promise for soils that are well managed. The management of soil health is of critical importance with regard to the sustainability of agriculture, the reduction of environmental problems, and the protection of ecosystems. The latest technological developments and soil health research, which should be utilized in measuring and monitoring soil health, will ultimately be possible with the implementation of effective soil health management strategies and will shape the future.

In conclusion, the enhancement of soil health is contingent upon the implementation of particular agricultural methodologies, including crop rotation, reduced tillage, and the incorporation of organic matter. These practices facilitate the maintenance or improvement of soil structure, fertility, and biodiversity, thereby ensuring the continued capacity of soil to support life and ecosystem functions for future generations.

During the preparation of this book, works in two languages were accepted for the sake of universality. We would like to express our gratitude to all those colleagues who contributed to this study.

September, 2024

Assoc. Prof. Dr. Ahmet ÇELİK
Prof. Dr. Korkmaz BELLİTÜRK
Prof. Dr. Mehmet Fırat BARAN

CHAPTER 1
**ALTERNATIVE FERTILIZATION METHODS IN MODERN
VITICULTURE**

Dr. Aylin ERKOCAK^{1*}

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.13769974>

^{1*}Viticulture Research Institute, Tekirdag/Türkiye, ORCID: 0000-0001-8475-494X,
E-mail: aylin.erkocak@tarimorman.gov.tr

2.1. Introduction

In modern agriculture, healthy nutrition of plants and increasing fertilizer use efficiency depend on correct planning of plant nutrition management strategies. An effective plant nutrient management strategy interacts with many factors. For example; processes such as leaching, denitrification, evaporation and surface runoff can cause plant nutrients to be lost from the soil. Therefore, plant nutrition management must be implemented with appropriate techniques to increase fertilizer use efficiency and reduce nutrient losses. Otherwise, as a result of unconscious fertilizer use, nitrogen is lost by being washed from the soil or mixed into the atmosphere in gaseous form; nutrients such as phosphorus and potassium are transformed into useless forms (Gyaneshwar et al., 2002; Barlog and Grzebisz, 2004). In addition to all these negative effects, the importance of fertilizer use efficiency is increasing today as environmental pollution problems are increasingly intensifying. These negativities experienced due to the use of chemical fertilizers increase the use of organic fertilizers day by day in terms of sustainable agricultural system (Channabasana et al., 2008). For this reason, alternative production systems are being developed in order to protect human and environmental health, ensure the sustainability of soils, increase the organic matter level of the soil and increase product yield (Beşirli et al., 2001; Bettiol et al., 2004).

The rapid increase in the world population is increasing the demand for food at the same rate. This situation encourages agricultural producers to produce more products. However, due to the chemical fertilizers and pesticides used to meet this need, conventional farming methods harm the environment and human health. Long-term unconscious use of fertilizers in particular creates a heavy and menacing effect on the vineyard areas. Because it negatively reformation the humic-mineral and microbiological contents of the soil and as a result causes gradual loss of productivity (Lohar and Hase, 2021). In recent years, environmentally friendly and sustainable agricultural production

systems have gained importance because they support the balancing effect of the ecosystem. In this sense, organic farming systems offer a perspective that responds to healthy living demands and preserves the ecological balance by offering a conscious approach in the field of agriculture (Ayla and Altıntaş, 2017). In this respect, organic farming systems attach great importance to the repair of ecological damage by re-establishing the natural balance and the sustainability of an agricultural approach in which synthetic chemicals are not used and biological control methods are preferred. This method plays a key role in restoring the ecosystem destroyed by human hands while respecting the needs of nature. Due to ecological problems, land suitable for agricultural production is decreasing day by day and the quality of existing soils is gradually deteriorating. One of the most important reasons why our agricultural soils have low productivity potential is the lack of organic matter. The dissemination of sustainable agricultural practices in order to prevent soil degradation and environmental damage caused by industrial agriculture based on intensive soil tillage, chemical fertilizer and pesticide use is among the most important priorities of today's agriculture. Since the physical and chemical properties of the soil, its water retention and aeration capacity increase the suitability and uptake of nutrients depending on the activities of microorganisms in the soil, sustainable agricultural practices are based on practices that protect and promote soil organic matter in terms of soil management. In order to increase fertility and prevent soil degradation that threatens the food security of future generations, it is of great importance to implement sustainable agricultural methods and effectively use organic matter resources that can be used to increase the level of soil organic matter.

Viticulture in various ecological regions of our country has significant effects on yield and quality, depending on soil fertility characteristics and balanced fertilization practices. Vineyard soil management includes various agricultural activities carried out on agricultural land that affect the functioning of the soil. It is important to

maintain sufficient organic matter in soils for sustainable agriculture and high productivity. In this respect, it is of critical importance to use organic fertilisers that will increase the yield obtained from unit area on the way to reach safe food in terms of both environment and human health. The insufficiency of organic matter and nutrients in our soils emphasizes the importance of adding farm manure and other organic fertilizers to the soil. Although farm manure is the most common organic fertilizer material, other organic wastes such as compost, vermicompost and biochar, which increase the fertility of the soil, are also used to enrich the soil with healthy nutrients.

Sustainable soil management in vineyards is a component of main importance not only for yield and grape quality, but also for further protection of the ecosystem. In addition to climate change, which has resulted in decreased soil production and water scarcity due to increased summer temperatures and decreased rainfall in recent years, there are also various risks associated with unbalanced soil management, such as pollution, soil erosion, depletion of soil organic matter and loss of biodiversity, which lead to a decrease in grape quality and quantity. Higher transpiration rates at higher temperatures lead to a rapid decrease in soil moisture. In this case, soil moisture-driven changes in photosynthesis during drought have a negative impact on whole plant carbon balance, which negatively affects grape quality (Zhao et al., 2013). In this respect, soil management and sustainable modern methods in viticulture improve the yield and quality of vineyard areas.

This review aims to highlight new agricultural techniques that can contribute to the provision of ecosystem services through environmentally friendly practices in vineyard areas. It aims to focus specifically on the positive effects and repercussions that occur as a result of these practices (e.g. compost, vermicompost, biochar, arbuscular mycorrhizal fungi, Trichoderma, etc.).

2.2. Soil Management in Vineyard Areas

It is known that intensive agriculture seriously affects soil quality and the quantity and quality of grapevines (Zalidis et al., 2002). In addition, continuous work activities using heavy machinery and continuous soil tillage in intensive viticulture also increase soil erosion rates and CO₂ emissions (Cerdà et al., 2017). Therefore, many recent analyses and studies have pointed out more on innovative management strategies to increase soil fertility, balance water consumption and improve grape quality (Zhang et al., 2011).

2.3. Organic Fertilizers

2.3.1. Farm manure

Farm manure usually consists of a mixture of liquid and solid feces of farm animals along with litter materials. This type of fertilizer has a feature that improves and regulates the properties of the soil. In addition, together with humus, it also constitutes an important food source for beneficial microorganisms, being a permanent source of nitrogen. The animal manure used in agricultural areas comes from the waste of cattle, sheep and poultry. The fertilizer value of poultry manure is higher than other fertilizers. However, when applying these fertilizers, their nitrogen content should be taken into consideration.

2.3.1.1. Benefits of farm manure

Improves physical soil properties: Farm manure improves the physical properties of the soil. In particular, it regulates the structure, water retention capacity, color and heating properties of the soil. It also increases resistance to water and wind erosion. It helps the soil to gain a granular structure, allowing it to retain water better and to be processed more easily. Farm manure is used effectively especially in the improvement of clay and sandy soils.

Provides plant nutrients to the soil: Farm manure provides the soil with all the nutrients that plants need. It is an important source, especially in terms of nitrogen. In artificial fertilization applications,

when only a single nutrient is given, the quality of plants and fruits may decrease; however, since farm manure contains many trace elements, it contributes to the balanced nutrition of plants and to reaching an optimal level in terms of taste and flavor.

Provides adsorption of plant nutrients: Farm manure increases the adsorption (surface retention) capacity of the soil by enriching it in terms of organic matter and organic-based complexes. In this way, plant nutrients are kept in the soil without being leached away and reach the roots of the plants and become easily usable. Farm manure, which is formed by the decay of animal and plant residues, contains the elements necessary for organisms and preserves these elements in the soil in a way that plant roots can easily absorb.

Increases the biological properties of the soil: The microorganisms contained in farm manure play a critical role in regulating the biological activity of the soil and making the nutrients in the soil available to plants.

2.3.1.2. Effects of farm manure applications on yield characteristics in grapevine

Fertilization with farm manure, which is among the frequently recommended practices in traditional viticulture, not only increases the nutrient capacity of the soil, but also improves its chemical, physical and biological properties. According to the results of the study investigating the quality characteristics of wines obtained from organic and conventionally grown Sultani seedless grape variety, it was determined that the wines obtained from grapes applied with farm manure were the most positive wines among all samples (Yücel and Altındışli, 2000).

In the study where organic fertilizer (farmyard manure, green manure plants and ground pruning residues of the grapevine) applications were used in (*Vitis vinifera* L.) Çiloreş grape variety, it was found that these applications had no significant effect on bunch, berry and must properties in the first year of the study, but their effect on must

properties was significant in the second year (average soluble dry matter 15.9%, average acidity 0.46%) (Tangolar et al., 2007).

As a result of the study conducted to determine the effects of organic (green manure and farm manure) and organomineral fertilizers on the phenolic compounds (flavonoids, anthocyanins) of Öküzgözü grape variety in Diyarbakır ecological conditions, it was determined that fertilizer applications had a positive effect on the content of phenolic compounds (Özdemir et al., 2018).

2.3.2. Compost

Reprocessing organic agricultural waste and turning it into organic fertilizer is of great importance for the natural balance. All kinds of waste provide nutrients or energy sources for different living things. When plant and animal wastes are left on the soil, microorganisms in the soil break down these substances and turn them into humus. Therefore, the composting process is an aerobic microbiological mechanism supported by fungi and bacteria, in which organic wastes are biologically degraded by microorganisms into humus-like substance (Cataldo et al., 2021). Therefore, composting is the process of decomposing organic wastes by aerobic microorganisms and obtaining a product with soil regulator and fertilizer value as a result of this process. During composting, the usefulness of plant nutrients in organic matter increases and the product is pasteurized with the heat energy released. In this context, compost is used in many areas such as agricultural production, erosion control, and landscaping for purposes such as increasing the level of organic matter in soils, regulating the physical and chemical properties of the soil, and plant nutrition.



Figure 1. Preparation of Various Organic Wastes for Composting

2.3.2.1. Benefits of farm compost

- Improves soil structure.
- Provides easy aeration of the soil.
- Provides easy soil tillage.
- Increases the water holding capacity of the soil.
- Provides a buffer effect against high levels of mineral fertilization.
- Provides better utilization of nutrients by plants.

2.3.2.2. Effects of compost applications on yield characteristics in grapevine

It is known that tillage with compost obtained from winery waste increases soil organic matter percentage, microbial biomass, nutrient levels and improves the physical properties of the soil such as water retention and aeration capacity, etc., improving the performance of vines (Diaz et al., 2002). An experimental vineyard site in Romania was composted with 20 t/ha of grape pomace, resulting in greener leaves, less nutrient inadequacies in the leaves and less drought damage (Eleonora et al. 2014). It has been observed that long-term application of green waste compost to a vineyard in the Chardonnay variety may be beneficial for soil properties including nitrate content and organic matter, but has no effect on plant growth and grape quality (Mugnai et al. 2012).

As a result of the study investigating the effects of two compost applications (compost from grapevine pruning waste and cattle manure) on soil fertility, underground growth of grapevines, yield and grape quality in Cabernet Sauvignon vines in Italy, it was determined that the compost obtained from pruning waste had a positive effect on root growth, while the compost obtained from cattle manure did not have a significant effect on the root system (Gaiotti et al., 2017).

As a result of the study investigating the effects of different organic material applications (compost, pruning residue and farm manure) on grape yield and cluster, berry and must characteristics of the Early Sweet variety grown in Çukurova conditions, it was determined that organic material applications provided general improvement compared to the control in terms of the examined characteristics (Tangolar et al. 2019).

As a result of the study conducted in California to determine the effects of applying different rates of some compost types to the soil environment on the Pinot Noir grape variety on grapevine root development, it was determined that the root growth rate increased by 15% with compost applications (Flores, 2014). In this respect, the use of compost as an organic fertilizer in vineyard areas is seen as a viable and sustainable method in order to reduce the use of chemical fertilizers and prevent their harmful effects.

2.3.3. Vermicompost

Microorganisms, nematodes and earthworms are involved in many processes in the ecosystem such as decomposition of organic matter, soil aggregation and nutrient cycling (Bagyaraj et al., 2016 and Musbau et al., 2021). Thus, microorganisms break down the nutrients found in the soil that cannot be used directly by plants and make them available to plants.

Vermicomposting is a process in which biodegradable waste such as kitchen waste, biological waste of agro-based industries, farm waste, market waste and animal waste are converted into nutrient-rich

vermicompost by passing through the worm gut. Earthworms are biological agents in this process that can consume waste and leave feces (Adhikary, 2012). This process involves a symbiotic interaction between some worms and microorganisms, such as *Eisenia fetida*, *Eudrilus eugeniae* and *Perionyx excavatus* (Lim et al., 2012). In general, vermicompost has a richer biochemical, physical and nutritional structure than traditional compost due to the faster mineralization rate of organic matter and a higher degree of humification.

For vermicompost production, various animal feces, pruning and harvest residues and other organic wastes can be used as food sources for worms. In this way, organic wastes digested by microorganisms in the digestive system of earthworms is transformed into rich vermicompost. Vermicomposting produces two useful products: earthworm biomass and vermicompost (Sim and Wu, 2010). Worm castings increase the fertility of the soil not only biologically but also physically and chemically. Physically; treated soil has better bulk density, aeration, porosity and water retention. Chemically, better product yield is achieved by increasing electrical conductivity, pH and organic matter content (Lim et al., 2015). It has been observed that the addition of vermicompost (20 t/ha) to agricultural soil for two consecutive years significantly improves aggregate stability and soil porosity (Bouajila and Sanaa, 2011), increases air and water availability and promotes root growth (Gopinath et al., 2008). There are many substances such as enzymes, amino acids, vitamins and growth hormones mixed into earthworm feces. These substances accelerate the development of plants and also help them become more resistant to adverse environmental conditions (Demir et al., 2010). Since vermicompost is an organic fertilizer, it is used with interest by many producers, institutions and organizations doing sustainable and organic agriculture around the world. In this context, the various benefits and properties of vermicompost can be summarized as follows:

- Improves physical, chemical and biological soil properties.

- Due to its granular structure, it regulates soil structure and increases water retention and aeration capacity.
- Regulates soil pH.
- Competes harmful bacteria in the soil.

2.3.3.1. Effects of vermicompost applications on yield characteristics in grapevine

Vermicompost is considered a viable alternative to chemical fertilizers because it improves soil quality and reduces leaching of nutrients while leading to similar improvements in plant growth. Vermicompost is produced by the digestion of organic materials by worms and is preferred over regular compost due to its potential to positively affect plant growth, soil remediation, plant health and the environment. For this reason, it is widely used in organic solid waste management today. In a study investigating the effects of different doses of vermicompost (0%, 10%, 20%, 30% and 40%) on the nutrient content and vegetative development of Trakya İlkeren grapevine seedlings in Tekirdağ province, it was determined that vermicompost had a significant effect on the vegetative development of the seedlings subject to the experiment and that increasing rates of vermicompost caused significant increases in all vegetative development characteristics examined (Açıkbaş, 2016).

As a result of the study investigating the effect of foliar vermicompost application on yield and quality traits of two different wine grape (*Vitis vinifera L.*) varieties, Feteasca Regala and Italian Riesling, in Romanian ecological conditions, it was determined that vermicompost increased plant growth, fruit quality and yield. (Popescu and Popescu, 2018).

It has been determined that vermicompost applications in vineyards in Argentina (Martínez et al., 2018) and Italy (Zaninotti et al., 2013) increased the productivity and nutrient content in the soil and vines, and positive increases were determined in N, P, Ca, Mg, Fe and

Cu elements, especially in increasing doses of vermicompost and biogas liquid fertilizer applications (Koç et al., 2021).

2.3.4. Biochar

Biochar is a solid material produced after the pyrolysis of industrial by-products, municipal waste and agricultural waste (such as grape pomace) between 300 °C and 800 °C at temperatures under anaerobic or low oxygen conditions. Raw material type and pyrolysis conditions affect the physicochemical properties of biochar. Biochar increases the moisture retention capacity of the soil, cation exchange capacity, product yield and quality, and promotes the activity of microorganisms (Sirohi et al., 2020). In this respect, biochar is an important soil improver and plant nutrition material for increasing organic matter levels and microbial activity in agricultural areas. Organic materials such as farm manure and compost, which increase the organic matter content in the soil, become mineralized over time depending on climate characteristics such as temperature and precipitation and microorganism activities. For this reason, it has been suggested that plant wastes be carbonized and used as an organic carbon source in agriculture. Biochar is a product with stable carbon content and high cation exchange capacity, which increases the water retention capacity of the soil and provides a better living environment for soil microorganisms. With the use of biochar, nitrogen oxide (N₂O) and methane (CH₄) emissions from the soil are reduced. Thus, with increasing microbial activity and productivity, the carbon storage capacity of the soil also increases.

Biochar is an important organic material for increasing the level of organic matter and microbial activities in the soil. Especially against global warming and climate change, keeping organic materials in the soil for a long time by applying them as biochar is an important agricultural strategy for sustainable agriculture. In this context, research into using plant waste or organic compounds as biochar instead of applying them directly and knowing the amount to be applied to the soil is of great

importance. Enrichment of carbon resources in the soil or their on-site protection with modern agricultural methods against desertification and inappropriate soil management factors due to climate change are among the important issues (Lal, 2004).

In order to increase the decreasing amount of organic matter in the soil and to improve the soil, plant biomasses are composted and added to the soil as an organic source. Compost is rapidly decomposed by microorganisms due to its rich nitrogen content, but instead of a carbon source that decreases over time, a carbon source that remains in the soil for a longer period of time is important for soil management. In recent years, instead of composting, plant materials have been used as a source of organic carbon in agriculture by carbonizing them (biochar). Thus, with good management, it is possible to keep carbon in the soil for a long time. Therefore, unique agricultural practices and strategies that will keep the organic carbon content of the soil high in the long term are extremely important for our country's agriculture.

2.3.4.1. Effects of biochar applications on yield characteristics in grapevine

Biochar has slower decomposition than normal compost and is rich in highly stable carbon, characterised by micro and macro porosity. Therefore, the application of biochar to vineyards improves vine growth and especially fruit quality (Schmidt et al., 2014). However, mostly tropical and subtropical soils have shown significant improvements in plant growth and soil fertility (Atkinson et al., 2010; Major et al., 2010).

Results obtained in Montepulciano vineyards in Italy (Giagnoni et al., 2019) showed that the effects of biochar on soil fertility and functions were maintained in the long term (7 years) after a single application. Biochar was produced by slow pyrolysis (500 °C) of orchard pruning residues and applied to the inter-row space of the vineyard with a spreader at a rate of 22 t/ha per year, mechanically mixed into the soil using a plough to a depth of 0.3 m. As a result, pH, total organic C, total

P concentrations, soil microbial biomass and soil respiration were significantly increased in biochar-enriched soils. The various features of biochar usage can be summarized as follows:

- It has a high nutrient content.
- It has a high stable carbon content.
- It has a lime effect on the soil (for acid soils).
- Its cation exchange capacity is high.
- It increases its water retention capacity and effectiveness.
- It is a suitable environment for microorganism habitat.

2.3.5. Arbuscular Mycorrhizal Fungi

Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) are an important component of vineyard ecosystems for sustainable agricultural activities (Schreiner et al., 1995).

In grapevine production systems, arbuscular mycorrhizal fungi have an increasingly important role due to water stress and low-fertility soils (Schreiner et al., 2009). Compared to uninoculated grapevines, grapevines treated with arbuscular mycorrhizal fungi have expanded shoot growth (Linderman and Davis, 2001), improved drought tolerance (Nikolaou et al., 2003) and increased nutrient uptake (Schreiner et al., 2007).

2.3.6. *Trichoderma* spp.

Trichoderma spp., which have the ability to survive under adverse conditions (salt and drought), are used in vineyards as beneficial microorganisms due to their capacity to inhibit various fungal plant pathogens. They are important competitors in the rhizosphere and are effective in using soil nutrients and also promoting plant growth (Zhang et al., 2019). Biofertilizers such as *Trichoderma* spp., which can mineralize organic nutrients by producing large amounts of extracellular enzymes, promote sustainable agriculture and the protection of natural resources by reducing chemical inputs (Altomare et al., 2011; Sahu et

al., 2019). These rhizosphere microorganisms release extracellular enzymes to initiate the degradation of high-molecular polymers leading to the death of plant pathogenic fungi (McKee and Inman, 2019).

In the study, the feasibility of inoculation of *Trichoderma harzianum* T78 with compost at high salt concentration levels was tested by comparing it with unimproved soils and soil biological parameters (biomass C, fungal and bacterial colony-forming units and dehydrogenase activity), biochemical parameters and *T. harzianum* were monitored. Amended soils showed significantly higher β -glucosidase and phosphatase activities associated with a better microbial pool due to higher physiological capacity (Mbarki et al., 2017). Moreover, a recent study successfully confirmed the effectiveness of *Trichoderma*-based products on maintaining fertility in vineyard soils in case of replanting during grafting of rooted cuttings (D’Arcangelo et al., 2019).

2.3.7. Green manure

The mixing of plants that have not completed their development process but have not dried out and turned yellow and are completely green into the soil is called "green manure" and the plants grown for this process are called "green manure plants". Green manure is essentially the plowing of plants grown to provide the necessary organic matter in the soil and bringing them under the soil while they are still green and at a certain stage of their development. Therefore, green fertilization is a method that aims to improve soil structure and enrich it in terms of organic matter. While the structure of the soil is regulated with this method, it is also enriched in terms of nitrogen, one of the most important nutrients needed by both the soil and the plants, and other plant nutrients become more accessible. There are many different types of plants that can be grown for this purpose, but the best ones are legumes. Legume plants mineralize shortly after being mixed into the soil, increasing the amount of useful nitrate and ammonium in the soil. These plants are often preferred as green manure plants due to their ability to grow quickly, to

produce large amounts of green parts in a short time, and to provide free nitrogen to the soil. The reason why legumes are preferred as green manure is that they add nitrogen to the soil by binding the free nitrogen in the air in organic form, thanks to the nodules in their roots. There are also plants used as green manure other than legumes, but they do not have the ability to fix nitrogen from the air into the soil. Green manure contributes nitrogen and other nutrients to the soil that can be used by the new crop to be planted. Thus, by adding organic matter and nitrogen to the soil, it increases productivity, protects the soil from erosion, allows plants to benefit more from nutrients, and increases microbial activity in the soil by improving the physicochemical and biological properties of the soil.

Plants can provide the nitrogen they need not only through mineral fertilizers but also through the binding of nitrogen in the air to the soil by bacteria. Plants and microorganisms cannot directly benefit from N₂ gas, which is found at a rate of 78% in the atmosphere (Yıldız, 2018). However, some groups of microorganisms bind free nitrogen gas in the atmosphere and convert it into ammonia that plants can use. This process is defined as biological nitrogen fixation. In nature, nitrogen-fixing microorganisms, especially *Rhizobium* spp. occur as a result of the symbiosis of bacteria with legume plants. Thus, microorganisms that play a role in nitrogen fixation reduce mineral nitrogen input, provide nitrogen to the soil in a cheaper way, while at the same time minimizing the problems that mineral nitrogen may cause. The use of organic fertilizers is critical to ensure that the soil remains continuously fertile and maintains its high production potential (Channabasana et al., 2008). In this context, green manure applications, especially legume plants, play a special role for our soils due to their nitrogen fixing ability. By increasing soil fertility and applying green manure plants that have the ability to combat diseases and pesticide, it is also possible to control fungi, insects or nematodes by secreting substances that limit or reduce the activity of pesticide (Karakurt, 2009).

2.3.7.1. Benefits of green manure

- It increases the organic matter content of the soil.
- It contributes to nitrogen accumulation in the soil.
- It provides erosion control in the soil.
- It increases biological activity in the soil.
- It increases the usefulness of plant nutrients in the soil.
- It accelerates the increase of phosphorus, potassium and calcium in the soil, depending on the increase in yield in the next product.
- It reduces the leaching of cations such as K, Ca and Mg in the soil.
- It facilitates compete against diseases, pests and weeds.
- It contributes to the reduction of input costs by reducing the use of mineral fertilizers.



Figure 2. Green Manuring in the Vineyards

2.3.7.2. Effects of green manure applications on yield characteristics in grapevine

The addition of organic material to the soil through green manuring has a positive effect on the amount and functions of microorganisms in the soil because it creates a nutrient source for soil microorganisms. Plants with green manure application contribute to the upper soil layer to be more fertile by taking plant nutrients in the lower soil depths. In the case of using legume species as green manure, in addition to improving the physical and chemical properties of the soil, they provide nitrogen to the soil thanks to the symbiotic relationship they form with *Rhizobium* bacteria in their roots (Bilgili, 2018).

As a result of the research examining the effects of barley and vetch applied as green manure on yield and quality in grapevines, it was determined that a %15-20 increase in yield and quality was achieved with green manure applications compared to the control, and this situation also led to an increase in the quality of the wines obtained from the grapes (Kristeva-Kosta et al., 1987).

As a result of the study investigating the effects of green manure applications on grape yield and quality in the Hafızali grape variety, it was determined that green manure applications caused an increase in bunch weight and yield and a decrease in sugar content (Pantic, 1973). They determined that the cultivation of green manure plants in the rows of the Niagara Rosada grape variety did not have a significant effect on the soluble solids, pH and acidity of the grapes. (Wutke et al., 2004)

2.3.8. Mulching

Sustainable soil management techniques such as mulching and cover crops make a significant contribution to soil fertility and biodiversity conservation compared to conventional methods. Mulches are inorganic or organic materials that can be placed on the soil surface. Mulching conserves soil moisture, reduces soil compaction and evaporation, regulates soil temperature, improves soil quality and

increases organic matter content. At the same time, mulching is an affordable agricultural technology in terms of sustainability. It prevents soil erosion by reducing surface runoff and is therefore preferred by farmers (Fraga and Santos, 2018).



Figure 3. Mulch Application in the Vineyard

A study adopting a soil-plant simulation crop model to simulate future (2021-2080) vineyard yields in Portugal assessed the adaptation potential of mulching to maintain current vineyard yield levels. Under a climate change scenario, these simulations compared mulching and non-mulching experiments over the next 60 years. The forecast was for an overall reduction in production in the future, but mulching reduced these reductions by 10 to 25 percent (Fraga and Santos, 2018).

Mulching can be used as a technique to reduce soil evaporation (E) to improve crop water use efficiency (WUE). According to the results of analysing the effect of using pruning waste as organic mulch on evaporation transpiration (ET_c) in the vineyard, it was determined that there was a decrease in ET_c in the vineyard between 16% and 18% with organic mulching and up to 24-30% with plastic mulching (López-Urrea et al., 2020). The combination of no-tillage and organic mulch

applications is beneficial in reducing soil-water loss and early transpiration losses. However, mulched and no-tillage soils showed a higher bulk density and lower saturated hydraulic conductivity value in the shallower soil layer (Busea et al., 2021).

2.4. Conclusion

In vineyard cultivation, which has a great importance in the economy of our country, it is seen that it is very important to know the fertility status of the soil in order to obtain high quality products. In addition to high productivity, it is also very important that agriculture is practised with sustainable techniques. Sustainable agriculture proposes the widespread application of a set of management principles that support agricultural production. In this approach, it is important to consider not only tillage but also factors such as crop rotation, reducing the amount of tillage and maintaining adequate protective cover on the soil surface. Thus, sustainable agriculture constitutes a long-term approach model that aims to overcome environmental impacts and adaptation problems while ensuring the economic viability of agricultural production systems. In this respect, sustainable agricultural practices adopt the objectives of increasing productivity and quality in crop production as well as protecting the soil structure and protecting underground water resources and the environment. In order to achieve these objectives, increasing the organic matter and nutrient content in the soil should be the primary objective. For this reason, in order for the vine to produce regular crops every year, the amount of nutrients lost from the soil through grapes, pruning residues and washing must be restored to the soil. While developed and developing countries develop new methods to increase food production, they should also pay attention to the conservation of natural resources used in agriculture. Improper use of pesticides and chemical fertilisers leads to irreversible losses of microorganisms in agricultural areas. In addition, pesticides and chemical fertilisers used for generations are not controlled. These

practices must be controlled for reasons such as risks to human health, threats to other species and the development of resistance to pesticides. For this purpose;

Plant and animal wastes should not only be utilised as garbage, but also ways of utilising these wastes in different ways should be investigated and studies in this direction should be accelerated.

Soil organic matter content should be increased or the current situation should be tried to be maintained in order to obtain maximum product by maintaining soil fertility and vitality level.

Our farmers should be trained on the conscious use of fertilisers for future generations, and incentive policies should be planned for the adoption of environmentally friendly products such as smart fertilisers and organic fertilisers. The first step to improving the quality of modern viticulture is through sustainable agricultural methods that adopt safety and healthy production models. Therefore, these practices are extremely important for maintaining balance in the viticultural ecosystem and improving production quality.

Although soil organic matter is a determining factor of soil quality, unfortunately it is not sufficiently known. For this reason, farmers should be informed about the importance of soil organic matter content, animal and plant organic matter sources that they can use in their soils and the ways of using them. In addition, due to the negative effects of the use of chemical fertilisers, alternative strategies that will increase the yield in agricultural production and have minimum side effects should be developed and presented to producers.

REFERENCES

- Açıkbaş, B. and Bellitürk, K. (2016). Vermikompostun 5 BB/Trakya İlkeren Aşırı Kombinasyonundaki Asma Fidanlarının Kök Gelişimine Etkisi. *Çukurova Tarım Gıda Bilimleri Dergisi*, 31(3): 179-184.
- Adhikary, S. (2012). Vermicompost, the Story of Organic Gold: A review. *Agriculture Science*, 3: 905-917.
- Altomare, C. and Tringovska, I. (2011). Beneficial Soil Microorganisms, an Ecological Alternative for Soil Fertility Management. In *Genetics, Biofuels and Local Farming Systems*, Springer: Dordrecht, The Netherlands, pp. 161–214.
- Ayla, D., and Altıntaş, D. (2017). Organik Üretim ve Pazarlama Sorunları Üzerine Bir Değerlendirme. *Kastamonu Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 19(4): 7-17.
- Atkinson, C.J.; Fitzgerald, J.D. and Hipps, N.A. (2010). Potential Mechanisms for Achieving Agricultural Benefits from Biochar Application to Temperate Soils: A review. *Plant and Soil*, 337: 1-18.
- Bagyaraj, D.J.; Nethravathi, C.J. and Nitin, K.S. (2016). Soil Biodiversity and Arthropods: Role in Soil Fertility. In *Economic and Ecological Significance of Arthropods in Diversified Ecosystems*, Springer: Singapore, pp. 17-51.
- Barlog, P. and Grzebisz, W. (2004). Effect of Timing and Nitrogen Fertilizer Application on Winter Oilseed Rape, II. Nitrogen Uptake Dynamics and Fertilizer Efficiency. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 190: 314-323.
- Beşirli, G., Sürmeli, N., Sönmez, İ., Kasım, M.U., Başay, S., Karik, Ü., Şarlar, G., Çetin, K., Erdoğan, S., Çelikel, S.F., Pekzoğlu, F., Efe, E., Hantaş, C. And Tuncer, N. (2001). Domatesin Organik Tarım Koşullarında Yetiştirilebilirliğinin Araştırılması. Türkiye 2. Ekolojik Tarım Sempozyumu. 14-16 Kasım 2001, 256-265, Antalya.
- Bettiol, W., Ghini, R., Galvao, J.A.H. and Siloto, R.C. (2004). Organic and Conventional Tomato Cropping Systems. *Scientia Agricola*, 61(3): 253-259.
- Bilgili, U. (2018). Sürdürülebilir Tarım Uygulamalarında Yem Bitkileri. Organomineral Gübre Çalıştayı Bildiriler Kitabı, 128-140, İstanbul.
- Buesa, I.; Miras-Ávalos, J.M.; De Paz, J.M.; Visconti, F.; Sanz, F.; Yeves, A.; Guerra, D. and Intrigliolo, D.S. (2021). Soil Management in Semi-Arid Vineyards: Combined Effects of Organic Mulching and No-Tillage Under Different Water Regimes. *European Journal of Agronomy*, 123: 126198.
- Cataldo, E.; Fucile, M. and Mattii, G.B. (2021). A Review: Soil Management, Sustainable Strategies and Approaches to Improve the Quality of Modern Viticulture. *Agronomy*, 11: 2359.

- Cerdà, A.; Keesstra, S.D.; Rodrigo-Comino, J.; Novara, A.; Pereira, P.; Brevik, E.; Gimenez-Morera, A.; Fernandez-Raga, M.; Pulido, M. and di Prima, S. (2017). Runoff Initiation, Soil Detachment and Connectivity are Enhanced as A Consequence of Vineyards Plantations. *Journal of Environmental Management*, 202: 268-275.
- Channabasanagowda, N. K., Patil, B., Patil, B. N., Awaknavar, J. S., Ninganur, B. T. and Hunje, R., (2008). Effect of Organic Manures on Growth, Seed Yield and Quality of Wheat. *Karnataka Journal of Agricultural Sciences*, 21(3): 366-368.
- D'Arcangelo, M.E.; Perria, R.; Zombardo, A.; Puccioni, S.; Valentini, P. and Storchi, P. (2019). Effect of Treatment with Products Based on Trichoderma spp. on the Development Capacity of Sangiovese Vines under Replanting Conditions. *BIO Web Conferences EDP Sciences*, 13: 04017.
- Demir H., Polat E. and Sönmez İ. (2010). Ülkemiz İçin Yeni Bir Organik Gübre: Solucan Gübresi. *Tarım Aktüel*, 14: 54-60.
- Diaz, M.J.; Madejon, E.; Lopez, F.; Lopez, R. and Cabrera, F. (2002). Optimization of the Rate Vinasse/Grape Marc for Co-Composting Process. *Process Biochemistry*, 37: 1143-1150.
- Eleonora, N.; Dobrei, A.; Dobrei, A.; Kiss, E. and Ciolac, V. (2014). Grape Pomace as Fertilizer. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 18: 141-145.
- Flores, K.M. (2014). Root Stimulation Using Vermiproducts in Grapevine Propagations. Wine and Viticulture Department, California Polytechnic State University.
- Fraga, H.; Santos, J.A. (2018). Vineyard Mulching as a Climate Change Adaptation Measure: Future Simulations for Alentejo, Portugal. *Agricultural Systems*, 164: 107-115.
- Gaiotti, F.; Marcuzzo, P.; Belfiore, N.; Lovat, L.; Fornasier, F. and Tomasi, D. (2017). Influence of Compost Addition On Soil Properties, Root Growth and Vine Performances of *Vitis vinifera* cv Cabernet sauvignon. *Scientia Horticulturae*, 225: 88-95.
- Giagnoni, L.; Maienza, A.; Baronti, S.; Vaccari, F.P.; Genesio, L.; Taiti, C.; Martellini, T.; Scodellini, R.; Cincinelli, A. and Costa, C. (2019). Long-term Soil Biological Fertility, Volatile Organic Compounds and Chemical Properties in a Vineyard Soil After Biochar Amendment. *Geoderma*, 344: 127-136.
- Gopinath, K.A.; Saha, S.; Mina, B.L.; Pande, H.; Kundu, S. and Gupta, H.S. (2008). Influence of Organic Amendments on Growth, Yield and Quality of Wheat

- and on Soil Properties During Transition to Organic Production. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 82: 51-60.
- Gyaneshwar, P., Kumar, G.N., Parekh, L.J. and Poole, P.S. (2002). Role of Soil Microorganisms in Improving P Nutrition of Plants. *Plant Soil*, 245: 83-93.
- Koç, B.; Bellitürk, K.; Çelik, A. and Baran, M.F. (2021). Effects of Vermicompost and Liquid Biogas Fertilizer Application on Plant Nutrition of Grapevine (*Vitis vinifera* L.). *Erwerbs Obstbau*, 63: 89-100.
- Kristeva-Kosta, Z, Mikhailova, S. and Kantarev, I. (1987). Studies on Vineyard Green Manuring. *Lozarstvoi Vinarstvo*, 36(1): 20-22.
- Lal, R. (2004). Soil Carbon Sequestration Impacts on Global Climate Change and Food Security. *Science*, 304: 1623-1627.
- Lim, S.L.; Wu, T.Y.; Sim, E.Y.S.; Lim, P.N. and Clarke, C. (2012). Biotransformation of Rice Husk into Organic Fertilizer Through Vermicomposting. *Ecological Engineering*, 41: 60-64.
- Lim, S.L.; Wu, T.Y.; Lim, P.N. and Shak, K.P.Y. (2015). The Use of Vermicompost in Organic Farming: Overview, Effects on Soil and Economics. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95: 1143-1156.
- Linderman, R.G. and Davis, E.A. (2001). Comparative Response of Selected Grapevine Rootstocks and Cultivars to Inoculation with Different Mycorrhizal Fungi. *American Journal of Enology and Viticulture*, 52: 8-11.
- Lohar, R.R. and Hase, C.P. (2021). Sustainable Agricultural Practices for the Improvement of Growth and Yield of some Important Crops popular in Walwa-tehsil, district Sangli (Maharashtra) A Review. *Journal of Plant Science Research*, 37: 133-143.
- López-Urrea, R.; Sánchez, J.M.; Montoro, A.; Mañas, F.; Intrigliolo, D.S. (2020). Effect of Using Pruning Waste as an Organic Mulching on a Drip-Irrigated Vineyard Evapotranspiration Under a Semi-Arid Climate. *Agricultural Meteorology*, 291: 108064.
- Major, J.; Rondon, M.; Molina, D.; Riha, S.J. and Lehmann, J. (2010). Maize Yield and Nutrition During 4 Years After Biochar Application to a Colombian Savanna Oxisol. *Plant and Soil*, 333: 117-128.
- Martínez, L.E.; Vallone, R.C.; Piccoli, P.N. and Ratto, S.E. (2018). Assessment of Soil Properties, Plant Yield and Composition, After Different Type and Applications Mode of Organic Amendment in a Vineyard of Mendoza, Argentina. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 50: 17-32.
- Mbarki, S.; Cerdà, A.; Brestic, M.; Mahendra, R.; Abdely, C. and Pascual, J.A. (2017). Vineyard Compost Supplemented with *Trichoderma harzianum* T78 Improve Saline Soil Quality. *Land Degradation and Development*, 28: 1028-1037.

- Musbau, S.A.; Ayinde, B.H.; Omowunmi, O.O.; Motunrayo, E.L.; Belay, E.; Teshome, B. and Sarwar, M.T. (2021). Micro and Macro (Organisms) and Their Contributions to Soil Fertility. *Frontiers in Environmental Microbiology*, 7: 44.
- Nikolaou, N.; Angelopoulos, K. and Karagiannidis, N. (2003). Effects of Drought Stress on Mycorrhizal and Non-Mycorrhizal Cabernet Sauvignon Grapevine, Grafted onto Various Rootstocks. *Experimental Agriculture*, 39: 241-252.
- Ozdemir, G., Kitir, N., Turan, M. and Ozlu, E. (2018). Impacts of Organic and Organo-Mineral Fertilizers on Total Phenolic, Flavonoid, Anthocyanin and Antiradical Activity of Okuzgozu (*Vitis Vinifera* L.) Grapes. *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus*, 17(3): 91-100.
- Pantic, Z. (1973). The Effect of Green Manuring Vineyard on Grape Yields. *Nauka u Praksi*, 3(3): 249-255.
- Popescu, G. C. and Popescu, M. (2018). Yield, Berry Quality and Physiological Response of Grapevine to Foliar Humic Acid Application. *Bragantia*, 77(2): 273-282.
- Sahu, P.K.; Singh, D.P.; Prabha, R.; Meena, K.K. and Abhilash, P.C. (2019). Connecting Microbial Capabilities with the Soil and Plant Health: Options for Agricultural Sustainability. *Ecological Indicators*, 105: 601-612.
- Schmidt, H.P.; Kammann, C.; Niggli, C.; Evangelou, M.W.; Mackie, K.A. and Abiven, S. (2018). Biochar and Biochar-Compost as Soil Amendments to a Vineyard Soil: Influences on Plant Growth, Nutrient Uptake, Plant Health and Grape Quality. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 191: 117-123.
- Schreiner, R.P. and Bethlenfalvay, G.J. (1995). Mycorrhizal Interactions in Sustainable Agriculture. *Critical Reviews in Biotechnology*, 15: 271-285.
- Schreiner, R.P. (2007). Effects of Native and Nonnative Arbuscular Mycorrhizal Fungi on Growth and Nutrient Uptake of 'Pinot noir' (*Vitis vinifera* L.) in Two Soils with Contrasting Levels of Phosphorus. *Applied Soil Ecology*, 36: 205-215.
- Schreiner, R.P. and Mihara, K.L. (2009). The Diversity of Arbuscular Mycorrhizal Fungi Amplified from Grapevine Roots (*Vitis vinifera* L.) in Oregon Vineyards is Seasonally Stable and Influenced by Soil and Vine Age. *Mycologia*, 101: 599-611.
- Sim, E.Y.S. and Wu, T.Y. (2010). The Potential Reuse of Biodegradable Municipal Solid Wastes (MSW) as Feedstocks in Vermicomposting. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 90: 2153-2162.
- Sirohi, R.; Tarafdar, A.; Singh, S.; Negi, T.; Gaur, V.K.; Gnansounou, E. and Bhartiraja, B. (2020). Green Processing and Biotechnological Potential of

- Grape Pomace: Current Trends and Opportunities for Sustainable Biorefinery. *Bioresource Technology*, 314: 123771.
- Tangolar, S., Özdemir, G., Gürsöz, S., Çakır, A. and Tangolar, S. G. (2007). Bazı Organik Gübre Uygulamalarının Asmanın (*Vitis vinifera* L. Çiloreş) Fenolojik Gelişmesi İle Salkım, Tane Ve Şıra Özellikleri Üzerine Etkisi. *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 20(2): 319-325.
- Tangolar, S., Tangolar, S., Torun, A. A., Ada, M. and Aydın, O. (2019). Bağ Toprağına Uygulanan Organik Materyallerin Verim, Kalite ve Besin Elementleri Alımına Etkisi. *Mediterranean Agricultural Sciences*, 32: 135-140.
- Wutke, E. B., Carvalho, C. R. L., Costa, F., Terra, M. M., Pires E. J. P., Secco, I. L. and Riberio, I. J. A. (2004). Influence of Green Cover on Fruit Quality of Table Grape Variety Niagara Rosada. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 26(1): 92-96.
- Yıldız, N. (2018). Mineral Gübrelerin Toprak Ekosistemi, Çevre ve Bitkisel Üretim Üzerine Olası Etkileri. *Organomineral Gübre Çalıştayı Bildiriler Kitabı*, 212-243, İstanbul.
- Yücel, U. And Altındışli, A., (2000). Sultani Çekirdeksiz Üzüm Çeşidinden Elde Edilen Ekolojik ve Konvansiyonel Şarapların Karşılaştırılması Üzerine Bir Araştırma. Türkiye I. Ekolojik Tarım Sempozyumu. 21-23 Haziran 1999, İzmir.
- Zalidis, G.; Stamatiadis, S.; Takavakoglou, V.; Eskridge, K. and Misopolinos, N. (2002). Impacts of Agricultural Practices on Soil and Water Quality in the Mediterranean Region and Proposed Assessment Methodology. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 88: 137-146.
- Zaninotti, S. (2013). How to Improve the Biological Fertility of The Soil in the Vineyard. *Investigacion Agraria*, 69: 36-39.
- Zhang, F.; Cui, Z.; Fan, M.; Zhang, W.; Chen, X. and Jiang, R. (2011). Integrated Soil-Crop System Management: Reducing Environmental Risk While Increasing Crop Productivity and Improving Nutrient Use Efficiency İn China. *Journal Of Environmental Quality*, 40: 1051-1057.
- Zhang, F.; Wang, Y.; Liu, C.; Chen, F.; Ge, H.; Tian, F.; Yang, T.; Ma, K. and Zhang, Y. (2019). *Trichoderma Harzianum* Mitigates Salt Stress in Cucumber via Multiple Responses. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 170: 436-445.
- Zhao, J.; Hartmann, H.; Trumbore, S.; Ziegler, W. and Zhang, Y. (2013). High Temperature Causes Negative Whole-Plant Carbon Balance Under Mild Drought. *New Phytologist*, 200: 330-339.

CHAPTER 2
**PROTECTING, IMPROVING AND DEVELOPING SOIL
HEALTH AND QUALITY**

Assist. Prof. Dr. Hülya SAYGI¹

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.13770008>

¹ Çukurova University Yumurtalık Vocational School, Department of Plant and Animal Production, Adana, husaygi@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2327-566X>

1. INTRODUCTION

Soil, which is in close cooperation with scientific fields such as geology, ecology, biology, chemistry, physics and mathematics, is a fundamental field of science (Brevik et al. 2024) that has a very important role in the chemical and biological balance of nature with its physical, chemical and biological properties (Telo da Gama, 2023). Since the first moments of human existence, soil has been used by people to meet various needs as raw material inputs for many sectors, mainly food and shelter (Anikwe and Ife, 2023). Although humanity has been benefiting from soil for a long time, agricultural activities carried out in soil have gained a new dimension in recent years with the development of biotechnology, nanotechnology, information technology and similar new fields.

It has been proven by scientific studies that the change and transformation process in agricultural production, which started with intensive mechanization and chemical use in order to get the most out of a unit area with the industrial revolution (Özpinar and Çay, 2018), caused great damage to soil health and quality. During the agricultural production activities in soil, which is a part of the natural ecosystem, the production approach focused only on the amount of production to be taken without considering soil health and quality caused great damage to the natural balance (Yılmaz, et al., 2015). The source of major problems that can be listed immediately are the decrease in biodiversity, increase in salinity in fertile soils, water resources polluted by chemical residues, greenhouse gas emissions from agricultural activities and the climate change it causes are the faulty production methods in these agricultural activities.

In reality, there is an excessive use of resources and damage to nature not only in the agricultural production process but also in all economic production and consumption activities aimed at meeting human needs (Kılıç, 2006). When it was understood that the damages given to nature simultaneously harmed and threatened human existence, which is a part of that nature, the development and implementation of production and consumption methods that protect nature, humans and other living beings in the current production and consumption processes became important. The basic principle on which these new production and consumption methods are based came to life with the concept of sustainability. Sustainability is to carry out economic activities in accordance

with the methods, principles and procedures regarding production/consumption, in a way that will produce/consume at the maximum level without damaging the essence of nature used in all economic production/consumption processes carried out to meet human needs, and will ensure that future generations can also use these resources (Sayđı, 2022).

Agricultural production activities are economic activities that are carried out primarily on soil in nature and in a mutual interaction that is affected by nature and affects nature (von Braun, 2014). Therefore, in terms of sustainable agricultural production activities, protecting, improving and developing soil health and quality is of vital importance. This is an inevitable result when the importance of soil resources for human existence is considered. As a result, the main component of productive and sustainable agriculture is healthy and high-quality soil.

1.1. What is soil health?

Soil health is the continued capacity of the soil to function as an indispensable living ecosystem that meets the needs of humans, nature and other living beings, to maintain biological productivity, to protect air and water quality, and to protect, improve and develop plant, animal and human health (Bülbül et al., 2022). Healthy soil is the soil that allows plants to grow at maximum efficiency within an ecosystem without being exposed to diseases or pests and without needing external help (Timmis and Ramos, 2021).. Healthy soil contains organisms such as bacteria, fungi, algae, protozoa, nematodes and other small living creatures that play an important role in plant health, crop yield and quality (Usman et al., 2016).

Soil health is directly linked to soil biodiversity (Kibblewhite et al., 2008).. These organisms and living things in the soil, known as organic matter, perform important functions in the agricultural production process. Soil organisms physically and chemically break down organic matter for nutritional purposes and release the nutrients that emerge during this process into the soil in a form that can be used by plants (Usman et al., 2016). In plant production, natural antibiotics that help plants resist diseases are produced by bacteria (Ayaz et al., 2023) while fungi provide plants with water and nutrients from the soil (Khaliq et al., 2022). The amount and quality of soil organic matter are of indispensable importance for soil health. When soil organic matter falls below

2%, decomposition begins in the soil and the soil loses its physical, chemical and biological functions, and as a result, product yield and quality decrease.

Seven factors are effective in the formation of a healthy soil structure: photosynthesis, physical, chemical and biological properties of the soil, the amount of water and carbon in the soil, and the level of biodiversity. The primary indicator of soil health is organic matter (Kersey and Myrold, 2021). Organic matter is provided to the soil by plants by converting sunlight energy, water, and carbon dioxide into carbon compounds through photosynthesis. Depending on the amount of organic matter in the soil, other factors positively/negatively affect soil health. For example, in terms of soil health, the organic matter held in the soil has a regulatory effect on climate change by binding carbon dioxide, which causes the greenhouse effect in the atmosphere, as carbon through plants and microorganisms.

In conclusion, soil health is the capacity of the soil to provide optimum plant production, protect, improve and develop water, air, soil quality and biodiversity in terms of sustainable agricultural production activities.

1.2. What is soil quality?

Soil quality is related to the functions of the soil or the extent to which the expected performance of the soil is achieved (Karlen et al., 2003). Soil quality, one of the three components of environmental quality indicators (air, water and soil), is the capacity of the soil to meet the needs of nature, humans and other living beings at the maximum level and continuously under certain conditions in a certain ecosystem. Soil quality includes physical, chemical and biological properties that are indicators of a healthy soil and determine its ability to fulfill various functions.

The physical quality properties of the soil are bulk weight, infiltration and water retention capacity, and aggregate stability (Günel and Celik, 2021). Soil bulk density, defined as the dry soil weight per unit volume, is determined by the air void volume in the soil, the infiltration rate and the moisture content. Soil with a dense volume has low water holding capacity, fewer air voids and more resistance to plant roots, reducing plant root development. Infiltration and water holding capacity of soil, which are physical quality indicators, are related to the pore characteristics of the soil. While the increase in the amount of macro pores in the soil decreases the water holding capacity and infiltration rate, the

increase in micro pores increases the infiltration and water holding capacity. The determining factor in the pore characteristics of the soil is the soil processing methods. Aggregate stability, one of the physical quality properties of soil, affects soil aeration, moisture retention and productivity and is affected by soil tillage, organic matter and organisms, texture and rotation practices. Aggregate stability, one of the physical quality properties of soil, affects soil aeration, moisture retention and productivity and is affected by soil tillage, organic matter and organisms, texture and rotation practices. Intensive tillage causes soil organic matter to decrease, aggregate stability to deteriorate and soil loss through erosion.

The amount of organic matter in the soil is an important soil component among the chemical quality characteristics (Bayram et al., 2015). The amount of organic matter in the soil affects the soil aggregate stability, product yield, nitrogen cycle biological activity, and cation exchange capacity. The amount of organic matter is effective on soil pH, electrical conductivity, and cation exchange capacity.

Among the biological quality characteristics of soil, microbial mass and activity (living part of soil organic matter) play an important role in carbon and nutrient cycling in soil ecosystems (Das et al., 2023). Enzyme activities, one of the biological quality characteristics of the soil, affect the change of soil properties by ensuring that chemical reactions in the soil start and progress rapidly. Biological activities, one of the biological quality characteristics of the soil, help to decompose plant and animal origin residues in the soil, maintain the biochemical cycle, create a controlled soil structure and increase soil quality.

As a result, soil quality is the degree to which the soil used in sustainable agricultural production activities can fulfill its physiological, chemical and biological functions in the process of meeting the welfare of nature, humans and other living beings at the maximum level.

2. SOIL HEALTH AND QUALITY PRACTICES

Soil is a critical resource that plays an important role in all life processes on earth, from its use in agricultural production to meeting human needs, to regulating the release of greenhouse gases that cause climate change, and to regulating atmospheric temperature (Kopittke et al., (2024). In fact, the functions that soil, which is considered the basis of many ecosystems, fulfills

in the ecological system are so many and diverse. Therefore, the protection, improvement and development of good soil health and quality are of vital importance for nature, humans and other living beings.

For agricultural practices aimed at protecting, improving and developing soil health and quality, it is important to know the density of plant nutrients, soil structure and texture, and acidity/alkalinity (pH) properties.

2.1. Soil Plant Nutrients

In plant production, the healthy growth and development of plants is closely related to the density of plant nutrients in the soil (Morgan and Connolly, 2013). Plant nutrients in the soil may vary depending on the type of plant to be grown and the soil structure. Macro and micro plant nutrients are naturally found in the soil, but depending on the type of plant being grown, these nutrients may be consumed and may not be present in the desired amount.

For high yield and quality in plant production, plants need at least 17 plant nutrients, including hydrogen, carbon and oxygen taken from air and water, as well as 14 macro nutrients nitrogen, phosphorus and potassium, micro nutrients iron, manganese and zinc and other essential plant nutrients taken directly from the soil (Bolat and Kara, 2017). Therefore, the density of plant nutrients in the soil should be determined by soil analysis. The purpose of soil analysis is to determine the types and amounts of plant nutrients required by the plants to be grown in that soil by determining the amounts of plant nutrients found in the soil (Güçdemir and Usultoprak, 2004).

According to the results of the soil analysis, soil quality and health are ensured by implementing agricultural practices that will provide the soil with plant nutrients appropriate to the needs of the plant species to be grown.

2.2. Soil Structure and Texture

An important soil property that affects many different aspects of soil quality is soil structure (Schlüter and Koestel, 2023). Soil structure can be defined as the stacking of solid soil particles (sand, gravel, silt, clay and organic matter) that give the soil shape and the formation of the soil pore system with its physical, chemical and biological properties. Soil texture is often confused with the structure of the soil, and shows the relative proportions of sand, clay and silt found in the soil (Upadhyay and Raghubanshi, 2020), in other words,

how much sand, clay and silt a soil contains. Both are important because they affect the drainage and aeration capacity of the soil.

In soil with good structure, soil particles can be easily broken down, air intake and water permeability can easily occur through the gaps between soil particles (Magdoff and van Es, 2021),, and in such soils, roots and therefore plants develop very well and healthily. In soils with poor soil structure, plant roots and therefore plants have difficulty in their growth and development (Zhang et al., 2023). The information obtained about the soil structure, the water holding capacity of the soil, the retention and release of plant nutrients and the soil processing methods to be applied are used in the implementation of correct applications in plant production and ensure high yield and quality production. For example, compared to sandy soil, a clayey soil with a tight pore system holds more nutrients and more water, but is more sensitive to compaction during the soil processing process due to its pore system, while sandy soil is more tolerant to compaction during the soil processing process due to its wider pore system, but its water and nutrient holding capacity is lower. In soils with poor structure, microorganisms do not perform their functions because air and water movements do not occur, therefore plant roots cannot develop, the plant cannot reach sufficient nutrients and the plant cannot continue its life.

As a result, in order for plants to develop healthily, the soil structure must be open with gaps that allow the roots to breathe and water to move. Lively and healthy plants can only grow in soils with open structures. In soils with good structure, the soil is less transportable and more resistant to erosion.

2.3. Soil Acidity/Alkalinity (pH)

Soil pH is little known or not given due importance in the process of agricultural production activities. It is very important for the soil to have a certain pH value in order for the plant nutrients in the soil to be taken in by the plants in a healthy way. A high (7.0 and above) or low (lower than 6.5) soil pH value makes it difficult for plant roots to take in useful plant nutrients in the soil, thus negatively affecting plant growth and development (Sönmez, 2013). Microorganism activity decreases in soils that cannot provide optimal pH values, which makes it difficult for plants to take in plant nutrients in the soil.

This situation causes decreases in product yield and quality in the agricultural production process and creates heavy economic losses.

Even though the nutrients needed by any plant are in sufficient quantities in the soil, in a soil that does not have the ideal pH values (6.0-7.5), the plant cannot absorb the nutrients due to the pH value and plant nutrient deficiency symptoms are seen, and this negatively affects the product yield and quality (Sönmez, 2013). Agricultural production activities can be carried out in soils with different values of soil pH than ideal values, but some problems may be experienced in this case. For example, in the process of taking in beneficial plant nutrients in the soil, if the pH value is between 6.5-7.5, plants can easily take in plant nutrients, but they cannot take in mobile substances at values of 5.5-7.0, aluminum plant nutrients are toxic to plants at values above 7.5, and finally, micro element deficiencies, especially phosphorus, may occur in alkaline soils with values of 8 and above. All plants growing in the soil and all microorganisms living on it are directly or indirectly dependent on soil pH to sustain their vital activities. (Sönmez, 2013)

As a result, one of the most important factors affecting product yield and quality in agricultural production is soil pH, which facilitates/obstructs the uptake of plant nutrients in the soil during plant growth and development.

2.4. Reducing or Conservation Tillage

In general, soil tillage is the process of preparing the soil for plant production using agricultural tools and equipment in the agricultural production process. Soil tillage is an activity that should be emphasized as an important component of the plant production process. More than 40% of the existing agricultural soils in the world are classified as degraded or seriously degraded due to faulty soil tillage methods (UN, 2022).. In quality soil content, air, water, organic matter, mineral particles and microorganisms are in a certain balance and this situation should be preserved during the soil tillage process. Sustainable agricultural production activities combine three basic goals based on a healthy environment, economic profitability and social and economic equality to ensure the realization of agricultural production activities: (Çakmakçı et al., 2023).

Conservation soil tillage is a method used in agricultural production that aims to minimize the frequency or intensity of soil tillage in soil tillage

processes (Çelik, 2016), in order to obtain certain economic, environmental and social benefits within the scope of sustainable agricultural production activities. Conservation soil tillage provides benefits (Çelik, 2016). such as reducing greenhouse gas emissions, using less machinery in agricultural production and saving fuel and labor costs, as well as improving soil health, reducing water flow and making the soil resistant.

Conservation tillage is the application of broadly defined techniques that include zero tillage, strip tillage, ridge tillage, and mulch tillage, which maintain at least 30% of the crop residue in the soil after tillage operations (Çelik, 2016).. Compared to conventional tillage techniques, minimum tillage techniques can reduce tillage passes by 40% or more. Conservation tillage techniques have the goal of reducing the volume of disturbed soil or preserving surface residues to ensure soil, environmental, and economic sustainability.

2.5. Prevent Soil Compaction

Soil compaction is one of the main soil damage processes that occurs when increasingly heavy agricultural machinery moves over the soil, usually in difficult weather conditions (van den Akker and Soane, 2005).. This compaction is related to the nature of the soil, its water content, the types of crops and the load applied to the surface.

The determined passage of agricultural equipment causes the soil to be compressed and sheared, thus reducing the capacity for aeration, infiltration and crop root penetration. Soil compaction is the reduction of the void volumes between soil particles, which form the pore systems that allow the soil to retain water and air. When the micro-level void ratio between soil particles is less than 35% and the macro-level void ratio between soil particles is less than 10%, it indicates that soil compaction conditions that are harmful to plants are occurring (Aksakal, 2011).

In order to prevent or reduce compaction, reducing the weight of agricultural machinery such as tractors, selecting appropriate tires, reducing machine traffic within the field, protecting organic material and ensuring continuity, applying reduced soil tillage techniques, changing soil tillage depth and different plant production alternatives are agricultural practices (Aksakal, 2011).

2.6. Growing Cover Crops

Cover crops protect the soil, maintain the desired level of temperature, humidity or light, and provide pest and weed control, thus providing significant contributions to agricultural production activities in terms of protecting soil health and quality (Hekimoğlu and Altındeğer, 2006). In fact; it is possible to evaluate cover crops as a gift from nature to producers in terms of reducing production costs. Although plant selection varies mostly according to the purpose of use and production, forage crops such as clover, vetch, sainfoin, forage pea, oat, rye, sorghum can generally be used as cover crops. For example, if the aim is to provide nitrogen for the next crop plant, legumes are preferred; if weed growth is to be prevented, gramineae are preferred.

Apart from its main purpose, the use of cover crops increases the amount of organic matter in the soil by protecting plant biomass and plant waste in the field. Thanks to this, it improves soil temper, improves plant root development, increases aggregate formation that reduces surface water flow, and increases the population of living things such as microorganisms and worms that contribute to the improvement of the nutrition cycle and soil structure (Clark, 2015).

As a result, cover crops offer short- and long-term benefits to soil health and quality in agricultural production activities, such as reducing soil erosion, providing weed control, meeting soil nitrogen needs, increasing organic matter content in the soil, improving the physical structure of the soil, enriching the nutrient cycle, supporting biodiversity and reducing production costs.

2.6. Crop Rotation

Crop rotation can be defined as the cultivation of plants with different soil requirements in the same field in a calendar that will follow each other during the agricultural production process (Büyüktavşan and Naneli, 2020). The main purpose of crop rotation, which is one of the indispensable applications of field agriculture, is to increase the productivity of the soil.

For sustainable agricultural production activities, a production plan of at least 3-5 years is required to determine which products will be produced in which quantities. In terms of soil health and quality, continuously cultivating the same plant species on the same field for many years causes a significant decrease in product yield and quality over time (Büyüktavşan and Naneli,

2020). In this type of cultivation, defined as monoculture, since the same plant nutrients are always taken from the soil, the soil can lose its physical, chemical and biological functions and become infertile over time. Flax, beet, oat, pea, rapeseed, sunflower and poppy plants are plants that experience a significant decrease in product yield and quality when planted in the same field for many years in a row. In order to prevent the decrease in product yield and quality in these plants, it is necessary to plant a second different plant species in the same field after these plants.

Crop rotation has multiple benefits for soil health and quality, including increasing soil fertility, reducing soil fatigue due to the sequential planting of different plants, growing different plants each year in economic terms, using various nutrients in the soil, increasing biodiversity, preventing harmful organisms and helping to keep plant diseases under control. In fact, leaving the soil fallow is an important agricultural practice that provides a solution to soil fatigue, but since leaving the soil fallow causes water and soil erosion as well as economic losses, the need for crop rotation has become a necessity.

2.6. Adding Organic Matter

Organic matter, which is an important indicator of soil health and quality refers to various organic compounds formed at different stages in the process from the beginning of the decomposition of plant and animal tissue residues in the soil until they are mineralized (Polat, 2020).. Organic matter, a small but vital part of the soil, consists of living organisms such as bacteria, fungi, plant roots and tiny animals, and decaying plant or animal tissues.

Organic matter is important for better soil fertility and structure, and overall soil health and quality. Organic matter has many important functions in soils in terms of physical (bulk density, infiltration and water holding capacity, aggregate stability), chemical (pH, electrical conductivity, cation exchange capacity, organic matter amount) and biological (microbial mass, biological activity, enzyme activity) (Altıkat and Çelik, 2012; Polat, 2020).. For high yield and quality production, the amount of organic matter in the soil must be more than 3%. In soils with low organic matter content, there are problems such as poor or irregular crop growth and development, disease and weed problems, rapid surface waterlogging during rainy seasons, and drought problems during summer (Dızıkısa and Yıldız, 2023).

In the agricultural production process, solid or liquid fertilizers, plant, animal and domestic organic waste materials resulting from various production processes are used as plant nutrient inputs to increase organic matter levels in the soil. Organic matter increases soil quality and productivity by binding soil particles together, creating a good soil structure, and providing the necessary water and air for vegetation and living species within the soil ecosystem.

2.7. Chemical fertilizers

Chemical fertilizers are important plant nutrition inputs produced to increase product yield and quality by providing the plant nutrients needed by plants in agricultural production activities (Colipano and Cagasan, 2022).. The main reasons for the production of these fertilizers are to increase soil and product productivity, fast and controlled plant nutrition, correct inadequate nutrient status, and to respond quickly to applications and show effective effects (Mankind Agrite, 2024).

The raw materials of chemical fertilizers are derived from various chemical compounds that are combined in special formulations containing the essential nutrients required for the growth and development of plants (Nadarajan and Sukumaran, 2021). The main raw materials of chemical fertilizers are macro and micro nutrients such as nitrogen, phosphorus, potassium, sulfur, iron, zinc, copper, manganese and molybdenum. The raw materials of chemical fertilizers are combined in special formulations depending on the type of plants, the soil conditions in which they grow and their needs.

3. CONCLUSION

Protecting, improving and developing soil health and quality are important for sustainable agricultural production activities. While soil health refers to the continuation of its capacity as an indispensable living ecosystem that meets the needs of nature, humans and other living beings so that they can continue to live, soil quality refers to the capacity of the soil to fulfill the function expected from the soil. To properly understand practices that protect, improve and enhance soil health and quality, information about soil plant nutrients, soil structure and texture, and soil acidity/alkalinity (pH) is necessary. This information obtained from soil analysis can be used to make arrangements

on soil health and quality through conservation tillage, prevention of soil compaction, growing cover crops, crop rotation, adding organic matter and chemical amendment applications.

REFERENCES

- Balfagón, D., Arbona, V., Aurelio Gómez-Cadenas, A. 2022. The future of citrus fruit: The impact of climate change on citriculture, *Mètode Science Studies Journal*, núm, V 12, pp. 123-129. <https://doi.org/10.7203/metode.12.20319>
- Aksakal, E. L. (2011). Toprak Sıkışması ve Tarımsal Açından Önemi / Soil Compaction and Its Importance for Agriculture. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 35(3-4).
- Altıkat, S., & Çelik, A. (2012). Toprak İşleme Sistemlerinin Önemli Bazı Toprak Kalite Kriterlerine Olan Etkileri. *Alinteri Journal of Agriculture Science*, 16(1), 33-41.
- Anikwe, M.A.N.; Ife, K. (2023). The role of soil ecosystem services in the circular bioeconomy. *Front. Soil Sci.*, 3, 1209100, <https://doi.org/10.3389/fsoil.2023.1209100>.
- Ayaz, M., Li, C. H., Ali, Q., Zhao, W., Chi, Y. K., Shafiq, M., Ali, F., Yu, X. Y., Yu, Q., Zhao, J. T., Yu, J. W., Qi, R. D., Huang, W. K., (2023). Bacterial and Fungal Biocontrol Agents for Plant Disease Protection: Journey from Lab to Field, Current Status, Challenges, and Global Perspectives. *Molecules*. 28(18), 6735. doi: 10.3390/molecules28186735. PMID: 37764510;
- Bayram, M., Günal, H., & Özgöz, E. (2015). Sürdürülebilir Toprak İşleme Yöntemlerinin Belirlenmesinde Toprak Kalitesi Değerlendirmelerinin Önemi. *Yuzuncu Yıl University Journal of Agricultural Sciences*, 25(3), 337-346. <https://doi.org/10.29133/yyutbd.236414>
- Bolat, İ., & Kara, Ö. (2017). Bitki Besin Elementleri: Kaynakları, İşlevleri, Eksik ve Fazlalıkları. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 19(1), 218-228.
- Brevik, E. C., Krzic, M., Muggler, C., Field, D., Hannam, J., Uchida, Y. (2024). Soil science education: A multinational look at current perspectives. *Natural Sciences Education*, 53(2) <https://doi.org/10.1002/nse2.20077>
- Bülbül, S., Sürücü, A., Günal, H., Budak, M. (2022). Ekosistem Servislerinde Toprağın Rolü. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*, 9(1), 107-117. <https://doi.org/10.19159/tutad.1000641>
- Büyüktavşan, Ö. F., & Naneli, İ. (2020). Farklı Münavebe Tekniklerinin Bitkisel Üretim ve Çevre Üzerine Etkileri. *Journal of Agricultural Biotechnology*, 1(1), 6-11.
- Clark, A., (2015). Cover Crops at Work: Increasing Soil Organic Matter. *Cover Crops for Sustainable Crop Rotations, SARE Outreach*, 4. <https://www.sare.org/publications/cover-crops/ecosystem-services/cover-crops-at-work-increasing-soil-organic-matter/> E.T. 26.08.2024

- Çakmakçı, R., Salık, M. A., Çakmakçı, S., (2023). Assessment and Principles of Environmentally Sustainable Food and Agriculture Systems. *Agriculture*. 13(5),1073. <https://doi.org/10.3390/agriculture13051073>
- Çelik, A., (2016). Türkiye’de Koruyucu Toprak İşleme ve Doğrudan Ekimin Benimsenmesi ve Yaygınlaştırılması için Atılması Gereken Adımlar. *Journal of Agricultural Machinery Science*, 12 (4), 243-253.
- Das. S., Deb, S., Sahoo, S. S., Sahoo, U. K., (2023). Soil microbial biomass carbon stock and its relation with climatic and other environmental factors in forest ecosystems: A review. *Acta Ecologica Sinica* 43(6), 933-945. <https://doi.org/10.1016/j.chnaes.2022.12.007>
- Dızıkiş, T., Yıldız, N., (2023). İklim Değişikliğini Tolere Etmede Farklı Organik Gübrelerin Toprak Özelliklerine Etkisi. *MAS JAPS8(Özel Sayı): 1049–1068*. <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.10026903>
- Emerging Patterns and Social-Ecological Systems, 299-314. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820730-7.00016-1>
- Schlüter, S., Koestel, J., (2023). Soil structure. *Encyclopedia of Soils in the Environment*, 5, 1-7. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822974-3.00134-8>
- Güçdemir İ. H., & Sultoprak, M. (2004). Analiz Sonuçlarına Göre Gübre Tavsiyeleri. Türkiye 3. Ulusal Gübre Kongresi, Tarım-Sanayi-Çevre, 11-13 Ekim 2004, Tokat. <https://www.biyogazder.org/makaleler/mak36.pdf> E. T. 25.08.2024
- Günel, E., & Celik, İ. (2021). Toprak İşleme ve Anız Yönetimi Uygulamalarının Toprağın Fiziksel Kalite İndikatörlerine Etkileri. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 36(3), 464-477. <https://doi.org/10.7161/omuanajas.933444>
- Hekimoğlu, B., & Altındeğer, M., (2006). Organik Tarım ve Bitki Koruma Açısından Organik Tarımda Kullanılacak Yöntemler. *SAMSUN VALİLİĞİ Gıda Tarım ve Hayvancılık İl Müdürlüğü Yayınları*, 22-23.
- Karlen, D. L., Ditzler, C. A., Andrews, S. S., (2003). Soil quality: why and how? *Geoderma*, 114(3–4), 145-156. [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(03\)00039-9](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(03)00039-9)
- Kersey, J., & Myrold, D., (2021). Response of soil health indicators to organic matter removal and compaction manipulations at six LTSP sites in the Western US. *Forest Ecology and Management*, 490, 119104 <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119104>
- Khaliq, A., Perveen, S., Alamer, K.H., Zia Ul Haq, M., Rafique, Z., Alsudays, I. M., Althobaiti, A. T., Saleh, M. A., Hussain, S., Attia, H., (2022). Arbuscular Mycorrhizal Fungi Symbiosis to Enhance Plant–Soil Interaction. *Sustainability*. 2022; 14(13):7840. <https://doi.org/10.3390/su14137840>

- Kılıç, S. (2006). Modern Topluma Ekolojik Bir Yaklaşım. Kocaeli Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi(12), 108-127.
- Kibblewhite, M.G., Ritz, K., Swift, M.J., (2008). Soil health in agricultural systems. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences 363: 685–701. <https://doi.org/10.1098/rstb.2007.2178>
- Kopittke, P. M., Dalal, R. C., McKenna, B. A., Smith, P., Wang, P., Weng, Z., van der Bom, F. J. T., and Menzies, N. W., (2024). Soil is a major contributor to global greenhouse gas emissions and climate change, EGU sphere [preprint], <https://doi.org/10.5194/egusphere-2024-1782>
- Korucu, T., (2007). Toprak Sıkışması ve Çözüm Yolları. <https://www.gencziraat.com/Toprak-Bilgisi/Toprak-Sikismasi-ve-cozum-Yollari-4.html> E. T. 25.08.2024
- Magdoff, F., & van Es, H., (2021), Ch 5. Soil Particles, Water and Air. SARE Outreach, 410. <https://www.sare.org/publications/building-soils-for-better-crops/soil-particles-water-and-air/> E. T. .26.08.2024
- Mankind Agritec, (2024). Benefits of using chemical fertilizers for crop production. Mankind Agritech Limited. <https://mankindag.com/benefits-of-using-chemical-fertilizers-for-crop-production/#:~:text=The%20benefits%20of%20using%20chemical,impacts%20and%20adopting%20sustainable%20practices> E.T. 26.08.2024
- Morgan, J. B. & Connolly, E. L. (2013) Plant-Soil Interactions: Nutrient Uptake. Nature Education Knowledge 4(8), 2 <https://www.nature.com/scitable/knowledge/library/plant-soil-interactions-nutrient-uptake-105289112/> E. T. .26.08.2024.
- Nadarajan, S., Sukumaran, S., (2021). Chapter 12 - Chemistry and toxicology behind chemical fertilizers. Pages Controlled Release Fertilizers for Sustainable Agriculture, 195-229. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819555-0.00012-1>
- Özerkmen, N. (2002). İnsan Merkezli Çevre Anlayışından Doğa Merkezli Çevre Anlayışına. Ankara Üniversitesi Dil Ve Tarih-Coğrafya Fakültesi Dergisi, 42(1-2), 167-185.
- Özpinar, S., & Çay, A. (2018). The Role of Agricultural Mechanization in Farming System in a Continental Climate. Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi, 15(2), 58-72.
- Polat, H. (2020). Farklı Toprak İşleme Sistemlerinin Sürdürülebilir Organik Madde Yönetimine Etkileri. Tarım Makinaları Bilimi Dergisi, 16(1), 1-11.
- Saygı, H., (2022). Relationship Between Sports and Organic Agriculture, Etoxec, 2(2), 133.–143.

- Sönmez, S., (2013). Bitki Beslemenin Temel Unsurları. Hasad Yayıncılık, 176.s
- tarlasera, (2020). Arazinizde örtü bitkilerine yer açın. <https://www.tarlasera.com/haber-11482-arazinizde-ortu-bitkilerine-yer-acin>. E. T. 25.08.2024
- Telo da Gama J., (2023). The Role of Soils in Sustainability, Climate Change, and Ecosystem Services: Challenges and Opportunities. *Ecologies*. 2023; 4(3):552-567. <https://doi.org/10.3390/ecologies4030036>
- Timmis, K., & Ramos, J. L., (2021). The soil crisis: the need to treat as a global health problem and the pivotal role of microbes in prophylaxis and therapy. *Microb Biotechnol*. 2021 May;14(3):769-797. doi: 10.1111/1751-7915.13771.
- UN, (2022). Chronic land degradation: UN offers stark warnings and practical remedies in Global Land Outlook 2. Sustainable land management & restoration. <https://www.unccd.int/news-stories/press-releases/chronic-land-degradation-un-offers-stark-warnings-and-practical> E.T. 26.08.2024
- Upadhyay, S., & Raghubanshi, A. S., (2020). Chapter 16 - Determinants of soil carbon dynamics in urban ecosystems. *Urban Ecology*
- Usman, S., Muhammad, Y., & Chiroman, A. (2016). Roles of soil biota and biodiversity in soil environment – A concise communication. *Eurasian Journal of Soil Science*, 5(4), 255-265. <https://doi.org/10.18393/ejss.2016.4.255-265>
- van den Akker, J. J. H., Soane B., (2005). COMPACTIONE. *ncyclopedia of Soils in the Environmen*. 285-293. <https://doi.org/10.1016/B0-12-348530-4/00248-4>
- von Braun, J., (2014). Nature and Agriculture – the Evolving Relationships. *Evolving Concepts of Nature, Proceedings of the Plenary Session | 24-28 October 2014.*, Acta 23, Vatican City, 2015. https://www.pas.va/en/publications/acta/acta23pas/von_braun.html E. T. .26.08.2024.
- Yılmaz, A., Bozkurt, Y., & Taşkın, E. (2015). Doğal Kaynakların Korunmasında Çevre Yönetiminin Etkinliği 1. *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*(13).
- Zhang, Y., Hartemink, A. E., Huang, J., Minasny, B., (2023). Digital Soil Morphometrics. *Encyclopedia of Soils in the Environment (Second Edition)*, 4, 568-578. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822974-3.00008-2>

CHAPTER 3
PLANT AND INSECT RELATIONSHIPS IN SUSTAINABLE
AGRICULTURE

Prof. Dr. Ali ÖZPINAR^{1*}
Assist. Prof. Dr. Baboo ALI²

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.13770019>

^{1*} Canakkale Onsekiz Mart University, Faculty of Agriculture, Department of Plant Protection, Canakkale, 17100, E-mail: aozpinar@comu.edu.tr, ORCID ID: 0000-0003-4512-8027

² Canakkale Onsekiz Mart University, Faculty of Agriculture, Department of Field Crops, Canakkale, 17100, E-mail: babooali@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-6989-7018

INTRODUCTION

Plants originated approximately 570 million years ago, evolving from bacteria and algae capable of photosynthesis after transitioning from water to land (Sakinç, 2023). It is believed that insects developed after plants, with the first insects evolving from marine invertebrates 480 million years ago and transitioning to terrestrial life around 400 million years ago (Wigglesworth, 2024). In the early periods, the earth, like the sea, was uniformly green. Insects are thought to have evolved structures known as the tracheal system, which allows them to carry air throughout their bodies and thus gain the ability to breathe on land (Demirsoy, 2017). During this time, terrestrial animals fed on each other or plants. These animals did not contribute to the fertilization of spore-producing plants (Mohanta et al., 2012). Like other animals, early insects had more primitive characteristics. Initially, insects developed through ametabolous (without metamorphosis) and hemimetabolous metamorphosis (incomplete metamorphosis) (Demirsoy, 2017). At this stage, other metamorphosing species had not yet emerged. There was no development yet regarding those undergoing holometabolous metamorphosis during this period.

In the early period of plant-insect interaction, there was no symbiotic relationship between them. Insects feed on plants, seeing them only as a food source. This was a period when insects fed on plants. The dominant insects at that time were species undergoing incomplete metamorphosis, such as grasshoppers (Orthoptera), dragonflies (Odonata), and cockroaches (Blattidae) (Demirsoy, 2017). Compared to modern insects, these species are generally believed to have been larger. With the emergence of angiosperms, insects undergoing complete metamorphosis (Hymenoptera, Lepidoptera, Diptera, and Coleoptera) evolved and took part in the pollination process. The nymphs and adults of insects with incomplete metamorphosis were mainly herbivorous. While feeding on plants, they contributed to pollination, though not as effectively as the adults of species undergoing complete metamorphosis.

For example, adult butterflies, which undergo complete metamorphosis, contribute to pollination by feeding on nectar, simultaneously hybridizing plants and ensuring their species' survival. Their larvae, on the other hand, used these plants as a food source. Thus, a process resembling a mutualistic relationship, where both species benefited, began to develop.

The relationship between plants and insects evolved significantly over time. Plants began to mimic arthropods, while animals adapted by mimicking each other. Based on current examples, it is assumed that animals with strong defence mechanisms and high camouflage abilities were mimicked. It is believed that mimicry, which emerged during the evolutionary process, remains an effective survival strategy.

Meanwhile, during the evolutionary process, insects feed on the same plants specialized in certain food sources to reduce or eliminate competition among themselves. This specialization removed the defence mechanisms plants had developed against insects. Consequently, insects adapted, securing their permanent place in the food chain.

Due to their position in the food chain, insects play a crucial role in maintaining natural balance. Insects are essential in suppressing pests through natural enemies, sustaining biodiversity through pollinators, and supporting the continuity of sustainable agricultural production. In this regard, it is important to study the energy relationship between insects and plants in the continuity of the agricultural output.

1. INSECT FOOD SOURCES

Insects, like other animals, are heterotrophs. They feed on both living and non-living organisms. Living organisms include plants and animals, while non-living entities primarily consist of dead plant and animal remains.

1.1. Herbivorous Insects

Herbivorous insects feed on plants. One-third of insect species are herbivores. Their mouthparts are specialized according to the type of

plant-based food they consume. They extract sap from the plant's vascular tissues or consume any part of the plant in bulk, acquiring the necessary vitamins and minerals. Additionally, some herbivorous insects use nectar secreted by plants as a food source.

Some herbivorous species specialize in only one host plant species, and their biology is entirely dependent on that host plant. These insects, defined as monophagous, cannot feed or develop on other host plants when placed on them, or even if they can feed, they do not thrive.

Monophagous insects distribute according to the host plants they feed on. The ecological requirements of the plant become the environmental needs of the insect, often confining them to a limited area. The distribution of some plant species on Earth is shaped by the geographic areas where the host plant is cultivated by humans. For example, the olive fruit fly (*Bactrocera oleae* Gmel.), which is monophagous and of African origin (Nardi et al., 2005), has adapted to regions along the Mediterranean coast, where 95% of the world's olives are produced. While olive trees are pollinated by the wind, adult olive fruit flies feed on honey-like substances. Therefore, they are drawn to the nectar of flowers from plants other than the olive tree, contributing to biodiversity by transferring pollen to these plants. Additionally, they gain the energy they need by utilizing honey-like secretions produced by some insects.

Some insect species feed on a few closely related plant species, and these insects are called oligophagous. These insects typically detect the secretions of plants within the same family, guiding them toward these plants, and their food preferences are shaped accordingly.

In addition, some insects feed on a wide range of plant species, known as polyphagous insects. The diversity of food sources provides these insects with a richness that enhances their survival. This can be compared to how the honeybee (*Apis mellifera*), a polyphagous pollinator, visits many different plants.

1.2. Carnivorous Insects

One-third of insects on Earth are carnivorous. They consume animal-based food. Carnivorous insects develop either as parasites (parasitoids) on herbivorous hosts or as predators by consuming multiple prey. Some of these insects also live as parasites on animals. Carnivorous insects occupy the second level of the food chain, beginning with herbivorous species. Because of their position, they play a crucial role in controlling agricultural pests. These insects are also referred to as biological control agents. One of the prominent examples is *Anthocoris nemoralis* (Ali, 2020; 2024). Many adults feed on plant nectar, while most larvae are carnivorous.

The monophagous, oligophagous, and polyphagous feeding habits apply to carnivorous insect species as well. The distribution of parasitoid and predator species is similarly shaped according to their host. However, the ability of parasitoid and predator species to detect both their host and the host's food (the plant it feeds on) gives them an advantage. This characteristic of carnivorous insects also enhances their contribution to pollination as pollinators. Therefore, in natural communities, the advantages and disadvantages provided by insects, together with abiotic environmental factors, are important for maintaining the natural balance in the ecosystem.

In many cases, although parasitoids and predators consume only small amounts of the food provided by their live hosts, their ability to rely on alternative food sources when food is scarce is an advantage. As such, the diversity and quantity of food are important factors in regulating insect population density.

1.3. Saprophytic Insects

Insects that feed on dead plant and animal matter are neutral or saprophytic. Like the other groups, they make up one-third of insect species. These insects contribute as regulators of the natural balance. This diversity in feeding forms a cycle in which one prepares the habitat

for the other. Although they may seem insignificant, these insects play an important role in sustainable agriculture by positively impacting soil structure within agricultural ecosystems.

2. ROLE OF ANIMALS IN PLANTS' EVOLUTION

As understood from fossils, in ancient forests, gymnosperms such as conifers, Ginkgo biloba, and cycads were predominant, and animals had no role in pollination yet (Kenrick and Crane, 1991; Mohanta et al., 2012; Sakıncı, 2023). However, during this dinosaur-dominated period, it is believed that dinosaurs benefited from the abundance of food provided by the cones (Zhou et al., 2017).

Soon after, the pioneers of flowering plants joined the conifers, and by the beginning of the Mesozoic era, early flowering plants began to appear (Quentin et al., 2016). Flowering plants had an ovary surrounded by a series of colourful petals. They had a male organ that produced pollen grains. After fertilization, the seeds in the ovary began to develop and turned into a fruit that protected the seeds. Some angiosperms attracted small insects with their energy-rich nectar, facilitating pollination and leading to the emergence of different plant species (Demirsoy, 2017).

The oldest nectar-feeding insects are known from the Jurassic period. Butterflies and bees appeared during the Cretaceous period (Quentin et al., 2016). Bees from the superfamily Apoidea, in the Apiformes group, are significant pollinators considered to be responsible for the mutualistic relationship that developed during the Middle Cretaceous period (Danforth et al., 2006; Michener, 2007; Tirado et al., 2013). Today, honeybees (*Apis mellifera*), which belong to the Hymenoptera order, play a crucial role in the pollination of 75% of the plants that meet the world's food needs, due to their colony size and portability (Özbek, 2003; Michener, 2007; Haldhar et al., 2018).

Later, birds also began to feed on nectar following the evolutionary explosion of pollination between flowering plants and bees (Demirsoy,

2017). The interaction between plants and animals is not limited to nectar; some plants, such as various orchid species, have evolved to resemble insects. Similarly, the resemblance in violets mimicking butterflies is quite advanced. These plants, which generally mimic the appearance of the female of the species, attract male individuals, thereby achieving pollination.

On the other hand, animals or fruit-eating primates contribute to the spread of mature seeds by distinguishing between unripe and ripe fruits with their incredible colour discrimination abilities. By picking only ripe fruits from the tree branches and eating them after transporting them to a distance, they disperse the seeds in different locations, facilitating the emergence of new plants (Demirsoy, 2017).

Additionally, some plants that rely on animals to eat their seeds and excrete them without digestion have also found their place in this development. For instance, a relationship between the juniper tree and the juniper bird is known. Juniper seeds do not germinate until they are eaten by a juniper bird. In the bird's digestive system, the seed coats are opened. Seeds mixed with the bird's feces in the soil germinate easily.

An example of animals carrying angiosperms is the mistletoe (*Viscum album*), which lives as a semi-parasite and derives its nutrients from host plants. Mistletoe, which remains green throughout all seasons, lives as a semi-parasite on the branches of trees such as apple, pear, oak, and medlar. After its seeds are eaten by birds, they are carried to host plants in the birds' undigested feces. Thus, birds contribute to the spread of this plant (Weihenstephan, 1997).

Similarly, the seed-carrying activity of ants (Formicidae) can be seen. Ants damage the seed coats with their mandibles, which causes the seeds to absorb moisture more easily and differ from others. Seeds that absorb moisture germinate earlier than their peers and thus contribute to biological diversity. Additionally, this mechanism ensures the continuation of the species by allowing seeds to survive unfavourable conditions at different times.

Likewise, human-mediated commercial seed shipments to distant regions serve this purpose. Seeds capable of adapting continue to live in their new habitats. The spread of many cultivated seeds in this manner brings both advantages and disadvantages. Sometimes they also contribute to the spread of diseases and pests they carry. This can lead to new problems, especially in agricultural ecosystems. The movement of invasive species in agricultural production areas through this method should not be overlooked.

On the other hand, angiosperms represent a very important evolutionary innovation that enables various plants to spread across the earth. Today, we see a large number of plants around us, from tall conifers to ground-covering clovers or water lilies on the surface of the water, to cacti in the desert, thanks to their angiosperm nature.

By the end of the Cretaceous period, another important lineage of flowering plants, i.e., angiosperms, emerged. Grasses, by anchoring their roots in the harshest environments on Earth, created microclimates. Thus, they began to prepare the Earth for the Age of Mammals.

3. SPECIALIZATION IN FEEDING AMONG INSECTS

There are numerous examples of plants developing defence mechanisms against insects. These defence mechanisms involve the presence of certain chemical toxins in plants. Insects use their enzymes to convert these chemical toxins into non-toxic or less toxic products. These processes occur in the presence of a group of enzymes known as mixed-function oxidases. These enzymes are found in high amounts in the midgut and body fat of insects. The effectiveness of these enzymes in providing insect resistance to insecticides is also presumed.

Over time, due to the adaptation of insects to these plants, these defence mechanisms become obsolete. The toxins in the plant turn into a food source that attracts the insect species. This situation also eliminates competition with other insect species. In other words, insects

use the smell or taste of the toxins from the plants they feed on to locate the plant and often feed on such plants.

This relationship gradually turns into a specialization. For example, flea beetles (*Phyllotreta* spp.) and cabbage butterflies (*Pieris* spp.) feed exclusively on crucifers that produce mustard oils; the Colorado potato beetle (*Leptinotarsa decemlineata*) feeds only on potatoes (*Solanum tuberosum*) that produce solanine; and *Manduca* spp. feed on tobacco (*Nicotiana* spp.), which produces nicotine, and plants in the Solanaceae family, including *Atropa belladonna*, which produces atropine (Önder, 2004; Mayoore and Mikhunthan, 2009).

There are many examples of insects specializing in certain plant species within the ecosystem. One well-known example is the asphodel (*Asphodelus aestivus*), which is not consumed by animals due to their toxins, and the herbivorous insect *Capsodes infuscatus*, which effectively controls chives as a biological control agent (Özpinar et al., 2020). Asphodel flowers are also an important nectar source for pollinator species (Çeter, 2021). While the success of biological control applications with chives is based on their sustainability in pasture, the role of chives as a nectar source for pollinator species should not be overlooked.

A different form of specialization in insects is observed in endopterygote (larvae do not resemble adults) insect species (Figure 1b). The larvae and adults of these species feed on different plant types. While adult butterflies feed on flower nectar, their herbivorous larvae feed on different plant organs. This eliminates competition between adults and larvae. Adults increase biological diversity by benefiting plant species, while larvae also create suitable food sources.

Similarly, male mosquitoes (Culicidae) feed on flower nectar, while females feed on blood. Specialization in feeding has eliminated competition among adult individuals of the same species.

Insects' adaptation and specialization to host plants have developed mechanisms for detecting their hosts. These mechanisms also form the basis of the mutualistic relationship between plants and insects.

4. MUTUALISTIC RELATIONSHIPS BETWEEN INSECTS AND PLANTS

The mutualistic relationship between insects and plants is simply characterized by plants producing nectar and proteins for insects, while insects, in return, facilitate pollination for effective crossbreeding. The importance and success of insects as pollinators, compared to birds, bats, and other animal groups, is evident; insects have developed an advanced level of adaptation to plants. This adaptation is attributed to the long evolutionary cooperation between insects and plants (Demirsoy, 2017).

In some cases, the mutualistic relationship between certain insects and plants is highly advanced. A typical example is the mutualistic relationship between acacias (*Acacia* spp.) and ants (*Pseudomyrmex* spp.). Ants protect the host plant from herbivores. In return, the acacia plant produces nectar from its petioles and proteins at the tips of newly emerging leaves for the ants. The continuation of this mutualistic relationship depends on the plant producing nectar and proteins for the ants. The ants visit the plant for this purpose and simultaneously perform the necessary function for pollination (Rafferty, 2006).

For the continuation of the mutualistic relationship and effective pollination, the first condition is that plants must produce a sufficient amount of nectar to attract insects. The second condition is that insects should be able to easily recognize plants of the same species.

However, within the ecosystem, some specializations are observed in the mutualistic relationship between plants and pollinator species. If a plant produces too much nectar, pollinating insects will gather the necessary nectar from these plants, resulting in fewer visits to other plants. As a result, the number of plants visited decreases, and so does the number of plants pollinated, leading to a reduction in pollination

activity. Conversely, if a plant produces very little nectar (to encourage an insect to visit more plants), there is a risk that the insect might not return to these plants for nectar. Therefore, the adaptation between plants and insects is crucial for the sustainability of pollination.

Carnivorous insects that play a role in pollination are also believed to have mechanisms to detect the plants they visit for nectar, although not as effectively as herbivorous insects. Parasitoid adults are thought to detect the "kairomones" emitted by the host plant of herbivorous insects. This ability helps them locate the host's different biological stages. Thus, while helping to control herbivorous pests that cause economic losses in agricultural products, these carnivorous insects also contribute to pollination and increase biodiversity. Therefore, carnivorous insects provide dual benefits to the ecosystem.

In this context, the contribution of pollinator species to pollination and their role in controlling herbivorous pests should be considered for sustainable agriculture in fruit-growing areas. Indeed, as seen in many fruit types, the insect teams visiting avocado flowers in Mexico predominantly include Hymenoptera, which also comprises carnivorous species (Table 1). Similar species abundance has also been noted in the Diptera, Coleoptera, and Heteroptera orders. About 30% of the Diptera order consists of phytophagous species (Schoonhoven et al., 1998). Suborders such as Nematocera, Brachycera, and Cyclorrhapha visit flowers to feed on pollen and nectar (Skevington and Dang, 2002).

Table 1. Insect orders and total number of species effective in pollination of avocado flowers in Mexico (Ish-Am et al., 1999)

Insect orders	Insect families	Total species
Hymenoptera	Meliponinae	444
	Other bees	84
	Vespidae	245
Diptera		153
Coleoptera		33
Heteroptera		44
Other order		18
Total		1021

As is well known, both herbivorous and carnivorous adult insects play significant roles in the dispersal of pollen from flowering plants. Insects undergoing incomplete metamorphosis, which have egg, nymph and adult stages (Figure 1- left), and those undergoing complete metamorphosis, which have egg, larva, pupa and adult stages (Figure 1 - right), participate in the pollination process.

Insects undergoing incomplete metamorphosis are primarily herbivorous as adults and nymphs. While feeding on plants, they contribute to pollination. However, their contribution is not as significant as that of the adults of complete metamorphosis herbivorous species. The adults of insects undergoing complete metamorphosis (such as butterflies) contribute to pollination by feeding on nectar, which helps ensure the continuation of the species (Figure 2a). Their larvae use these plants as food. Although these functions are carried out by different biological stages of the insect species, a mutualistic-like development is observed among them (Gilbert and Singer, 1975).

Some herbivorous insect species, while being harmful to flowers, also perform the role of pollen transport. Decisions are made based on the cost-benefit ratio of their contribution (Romeis et al., 2005). For example, the adult flight of the apple blossom beetle (*Tropinota hirta*, Poda) occurs in early spring during the flowering period of fruit trees. They are harmful by feeding on the pollen and flowers of fruit trees. Due to their herbivorous nature, while feeding on flowers and moving to new flowers, their hairy bodies also perform the role of pollen transport from flower to flower. Additionally, the measures taken to ensure that pollinator species are active and not harmed by insecticide applications help sustain fruit cultivation.

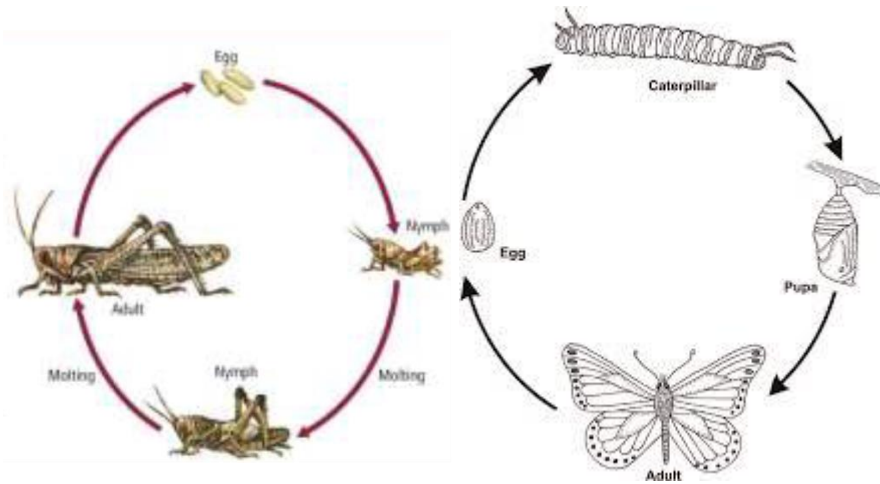


Figure 1. Biological stages in insects with hemimetabolous (left) and holometabolous (right) metamorphosis.

Herbivorous fruit flies such as the olive fly (*Bactrocera oleae*) and the Mediterranean fruit fly (*Ceratitidis capitata*) feed on nectar as adults, while their larvae are fruit pests. They also feed on the secretions of insects that produce honey-like substances in addition to flower nectar from other plants. Although they partially contribute to the pollination of plants in the ecosystem's flora, their impact on the pollination of host plants, where larval damage occurs, is quite low.

Parasitic adults from the Hymenoptera order, which have a carnivorous feeding strategy, also feed on flower nectar and contribute to pollination (Figure 2b). The pre-adult stages of parasitoids complete their development in the different biological stages of herbivorous insects. Thus, they contribute to pollination while also being effective in controlling herbivorous insects as biological control agents.



Figure 2. Butterfly (a) and parasitoid (Hymenoptera) adults (b) feeding on flower nectar

Carnivorous predatory adults similarly feed on flower nectar. For example, adult flower flies (Syrphidae) are significant pollinators (Figure 3a). They have a high capacity for pollen transport and visit flowers frequently (Dunn et al., 2020). Their larvae are important predators of aphids (Figure 4a).

Another aphid predator, *Coccinella septempunctata* L., migrates to high-altitude areas to escape the absence of aphids, where it feeds on the pollen and nectar of plants to prepare for winter diapause, thus ensuring its survival (Ricci et al., 2005; Özpınar et al., 2018).

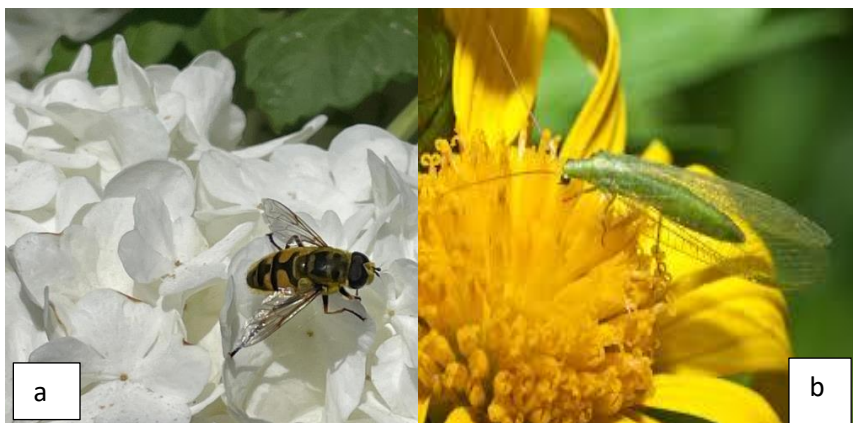


Figure 3. Adults of Syrphidae (a) and Chrysopidae (b) feeding on flower nectar

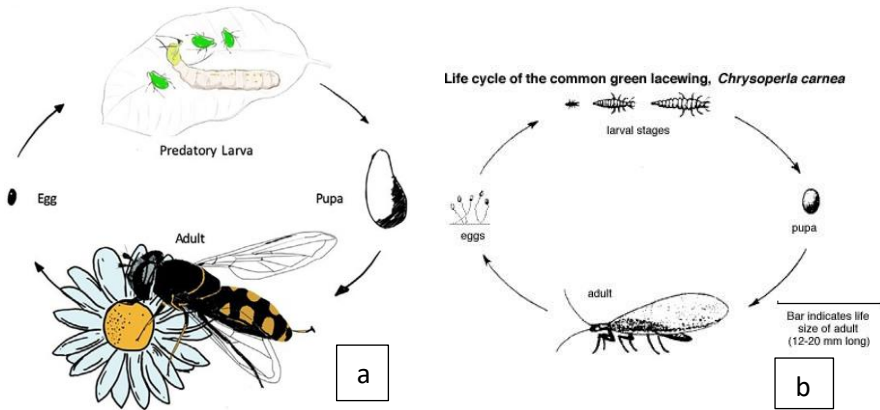


Figure 4. Life cycle of Syrphidae (a) and Chrysopidae (b).

Among the most common carnivorous species, *Chrysoperla carnea* larvae are highly effective aphid predators. The adults feed on flower nectar and contribute to pollination (Figure 3b). A study conducted in olive groves found that *C. carnea* adults feed not only on the honeydew produced by Hemiptera insects but also on the pollen and nectar of flowers (Villa et al., 2019).

The adults of these insects feed on secretions from other insects and flower nectar, while their larvae predominantly feed on aphids (Aphididae) (Figure 4b). The secretion from aphids is also important as food for predatory adults.

In some cases, the number of partners feeding on nectar and honeydew can increase within a community. The polyphagous pest, the citrus mealybug (*Planococcus citri*), produces honeydew that attracts ants. Ants attempt to drive away the biological control agent, the coccinellid *Cryptoleamus montezieri*, which preys on mealybugs. Additionally, the secretion from the mealybug provides a suitable habitat and food source for the larvae of the orange fruit moth in orange trees. Symbiotic relationships between insects and plants can thus be established through the cooperation of several insect species. Sometimes, these relationships evolve into interspecific food relationships within communities. The adaptation between plants and

insects also serves as a crucial mechanism for the continuation of natural selection.

Partnerships like these have played a significant role in the survival of seed plants to the present day. As observed in conifers and some other plants, pollination has evolved from being left to water currents and wind direction to being precisely delivered by insects. This evolutionary adaptation has enhanced the level of pollination and has contributed to a dramatic increase in biological diversity.

5. ADAPTATION OF INSECTS TO FLOWERS

Preventing potential chaos in the ecosystem, plants have adapted their flowering periods to different cycles of exposure to pollinators (Demirsoy, 2017). This has led to the development of synchronization between the flowering periods of plants and the activities of insects over time. The sharing of plants by insects has been naturally resolved in this way. Those that could not withstand the competition have managed to survive by finding niches in different periods. A typical example is the survival of two distinct species in Anatolia: *Stenbergia lutea*, flowering in autumn and *Stenbergia anatolica*, flowering in early spring (Figure 5). These plants have thus escaped competition and have continued to exist as distinct species.

Sometimes, insects can contribute to increased biological diversity in proportion to the frequency of visits to a particular flower colour and nectar produced by plants.



Stenbergia anatolica



Stenbergia lutea

Figure 5. Insect adaptation to plants, flowering in different seasons.

On the other hand, plants signal insects through their flowers when they are ready for fertilization (Demirsoy, 2017). The area around the ovary of a white flower turns a deep black colour. This colour contrast makes the flowers more visible to insects (Figure 6). When the flowers are not ready for fertilization, they turn a normal green colour. The petals of the flowers act like ultraviolet light reflectors, attracting insects. The reflected ultraviolet light guides insects from a great distance. Additionally, flowers emit scents to attract insects, thus ensuring the effectiveness of their pollination efforts.



Figure 6. Attraction of insects to different colours in flowers

In deserts, cacti that bloom only once a year, and only at night, must complete pollination within that period or wait another year to bloom again. Therefore, it is crucial not to leave it to chance. These cacti try to ensure pollination by using attractive scents. Some flowers, however, do not require additional attractants and consider them as energy loss and waste (Demirsoy, 2017). These types of plants mimic female insects to attract male insects.

6. ROLE OF PLANTS IN INSECT BIOMIMICRY

The types of insects that plants most frequently mimic are from the orders Hymenoptera and Lepidoptera, which are the most significant contributors to pollination.

One of the most well-known mimicking plants is orchids (Figure 7 - left), which have a variety of species used for different purposes today. They are valued both as ornamental plants and in the food industry. Although wind pollination occurs, insect pollination is more common and noticeable. Orchids are particularly notable for mimicking female bees to attract male bees. Due to their success in mimicking insects, orchids do not produce sweet substances as additional attractants; this is considered an unnecessary waste of energy for orchids (Demirsoy, 2017). However, orchids can mimic nectar and produce sex pheromones or mimic oviposition sites or female insects to enhance the effectiveness of pollination.

The mechanisms orchids use for pollination include floral mimicry, false mating, mimicking alarm pheromones, deceiving pollinating insects by resembling other flowers, mimicking human sweat odours, using scent-collecting insects, and imitating nesting sites and shelters (Arzuman et al., 2018).

There are findings that orchids deceive bees by mimicking the nectar produced by other plants, which leads to the transfer of pollen to other plants when a male bee visits a flower that resembles a female bee. This mimicry is not limited to bees. There are also examples of plants

that mimic monkeys and other animals and even mechanisms that mimic human sweat odours to attract mosquitoes.

Another mimicking plant is the pansy, which mimics Lepidoptera adults (Figure 7 - right). Subedi et al. (2021) have observed that the colours of pansies affect butterfly visits and advance their mutualistic relationship.



Figure 7. Pansies (right) and orchids (left)

CONCLUSION

In the ecosystem, the adaptation between insects and plants has reached an advanced level, increasing plant biodiversity. Insects' specialization with these plants has contributed to the pollination of both wild and cultivated plants. Particularly, for fruit trees in the Rosaceae family, such as apples, pears, plums, almonds, and cherries, fertilization is entirely dependent on cross-pollination. For example, cherry blossom pollination relies on insects 90% of the time (Anonymous, 2019). The most effective pollinators, bees, contribute to pollination in soft-shelled fruits by 45-90%, in hard-shelled fruits by 81-97%, and in sunflowers by 80-88% (Özbek, 2008). In orchards where these fruits are cultivated, fruit abundance and quality can only be achieved through proper pollination. The mutualistic relationship between pollinating insects and plants has evolved, reaching an advanced level of adaptation. The flower's pleasant scent, bright appearance, and sugary secretions have made plants centres of attraction for insects. For some fruit species, dependence on pollinating insects is quite high. Unlike wind pollination,

the role of insects in transferring pollen to another flower of the same species, i.e., "address delivery," forms the foundation of biological diversity. As a result of biological diversity, the emergence or visibility of fruits with superior and higher qualities allows for the selection and continuation of their cultivation.

Bees (Hymenoptera) are the primary insects that contribute to pollination and are effective in carrying pollen. Among bees, honeybees are the most important, while parasitic species that feed on flower nectar are also valuable due to their natural enemy characteristics and their contribution to pollination.

Moreover, the presence of flower flies (Syrphidae) that feed on flower nectar and live as predators of pest species such as aphids (Aphididae), which cause economic losses and require control in early stages, is crucial for sustainable production.

On the other hand, although butterflies (Lepidoptera), which feed on nectar from flowers and do not have the potential to damage cultivated plants due to their mouthparts, may not be as valuable as the aforementioned species, they still contribute to pollination.

REFERENCES

- Ali, B., (2020). Determination of variation in egg hatching and prey consumption rates of different biological stages of *Anthocoris nemoralis* (Hemiptera: Anthocoridae) exposed to different insecticides. *COMU Journal of Agriculture Faculty*, 8 (2): 319-326.
- Ali, B., (2024). Mortality of adult stages of the biocontrol agent, *Anthocoris nemoralis* (Hemiptera: Anthocoridae) exposed to insecticides. *Journal of Science-Technology-Innovation Ecosystem (JSTIE)*, 5 (1): 17-22.
- Arzuman, Ş., Yaşar, B., Çığ, A., (2018). Orkide ve böcek ilişkileri. *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi (GBAD)*, 7 (3):111-117.
- Çeter, T., (2021). Türkiye'nin nektarlı bitkileri ve tozlaşma dönemleri. Kastamonu'da Arıcılık ve Arı Ürünleri Çalıştayı, 3 Kasım 2021, Kastamonu, P 42-53.
- Danforth, B., N., Sipes, S., Fang, J., Brady, S., G., (2006). The history of early bee 31 diversification based on five genes plus morphology. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 103(41): 15118–15123.
- Demirsoy, A., (2017). Renklerin Kökeni. Asi Kitap 53, 1. Baskı Ekim 2017 İstanbul.
- Dunn, L., Lequerica, M. Reid, C. R., Latty, T., (2020). Dual ecosystem services of syrphid flies (Diptera: Syrphidae): pollinators and biological control agents. *Pest Management Science*, 76 (6):1973-1979.
- Gilbert, L. E. , M. C. Singer. (1975). Butterfly ecology. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 6: 365–397.
- Ish-Am , G. Barrientos-Priego, A.F., Castaneda-Vildozola, A., Gazit, S., (1999). Avacado (*Persea americana* Mill., polinators in its region of origin . Revista Chapingo Serie Horticulture 5 Num. Especial Proceeding of World Avacado Congress, Pp :137-146.
- Haldhar, S., M., Kumar, R., Samadia, D., K., Singh, B., Singh, H., (2018). Role of insect pollinators and pollinizers in arid and semi-arid horticultural crops. *Journal of Agriculture and Ecology*, 5(5): 1–25.
- Kenrick, P., Crane, P., R., (1991).Water-conducting cells in early fossil land plants – implications for the early evolution of tracheophytes. *Botanical Gazette*, 152 (3):335–356.
- Mayoori, K., Mikhunthan, G., (2009). Damage pattern of cabbage flea beetle, *Phyllotreta cruciferae* (Goeze) (Coleoptera: Chrysomelidae) and its associated hosts of crops and weeds. *American-Eurasion Journal Agriculture and Environmental Sciences*, 6(3):303-307.
- Michener, C., D., (2007). The Bees of the World. In Baltimore, Md, USA.
- Mohanta, T. K., Occhipinti, A., Zebelo, S., A., Foti, M., Fliegmann, J., Bossi, S., Maffei,

- M., E., Berteau, C., M., (2012). *Ginkgo biloba* responds to herbivory by activating early signaling and direct defenses. *Plos One*, 7 (3): e32822.
- Nardi, F., Carapelli, A., Dallai, R., Roderick, G., K., Frati, F., (2005). Population structure and colonization history of the olive fly, *Bactrocera oleae* (Diptera, Tephritidae). *Molecular Ecology* 14: 2729-2738.
- Önder, F. (2004). Hayvansal zararlıların popülasyon ekolojisi E. Ü. Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, Meta Basım Matbaacılık Hizmetleri; Bornova-İzmir, (ISBN 975-98739-1-9).
- Özbek, H. (2003). Türkiye’de arılar ve tozlaşma sorunu. *Uludağ Arıcılık Dergisi*, 3(3): 41–44.
- Özbek, H., (2008). Türkiye’de ılıman iklim meyve türlerini ziyaret eden böcek türleri. *Uludağ Arıcılık Dergisi*, 8(3): 92-103
- Özpinar A., Şahin, A. K., Polat, B., (2018). Population dynamics of *Coccinella septempunctata* (Coleoptera: Coccinellidae) in the region of Edremit Gulf in West Anatolia (Mount Ida). *European Journal Entomology*, 115: 418–423.
- Özpinar A., Yazmış E., Ali B., Şahin A., K., (2020). Determination of some biological parameters of *Capsodes infuscatus* Brulle on summer asphodel (*Asphodelus aestivus* Brot.) in pastures of Canakkale Province. *Entomological Research*, 50 (12):601-608.
- Rafferty, J., P., (2006). Encyclopædia Britannica. <https://www.britannica.com/science/mutualism-biology#ref55751>
- Romeis, J., Stadler, E., Wackers, F., L., (2005). Nectar- and pollen-feeding by adult herbivorous insects. <https://www.researchgate.net/publication/254815379>.
- Ricci C., Ponti L., Pires A., (2005). Migratory flight and pre-diapause feeding of *Coccinella septempunctata* (Coleoptera) adults in agricultural and mountain ecosystems of Central Italy. *Eur. J. Entomol.* 102: 531–538.
- Sakınç, M., (2023). Bitkilerin Evrimi. *Bilim ve Gerçek* 227: 68-77. <https://bilimvegelecek.com.tr/index.php/2023/03/02/bilim-ve-gelecek-mart-sayisi-cikti-3/>
- Schoonhoven, L. M., Jermy, T., van Loon, J., J., A., (1998). *Insect Plant Biology: From Physiology to Evolution*. London: Chapman and Hall.
- Skevington, J. H., Dang, P., T., (2002). Exploring the diversity of flies (Diptera). *Biodiversity* 3: 3–27.
- Subedi, B., Stewart, A., B., Neupane, B., Ghimire, S., Adhikari, H., (2021). Butterfly species diversity and their floral preferences in the Rupa Wetland of Nepal. *Ecology and Evolution* 11(5):2086-2099.

- Tirado, R., Simon, G., Johnston, P., (2013). Bees in decline: A Review of factors that put pollinators and agriculture in Europe at risk. *Greenpeace Research Laboratories Technical Report (Review)*, (1): 1-48.
- Quentin, C., Cronk, B., Forest, F., (2016) The Evolution of Angiosperm Trees: From Palaeobotany to Genomics. F. Forest Royal Botanic Gardens, Kew, Richmond, Surrey TW9 3AB, UK.
- Villa, M. Somavilla I., Santos, S., A., P., López-Sáez, J. A, Pereira J. A. (2019). Pollen feeding habits of *Chrysoperla carnea s.l.* adults in the olive grove agroecosystem. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 286 (1): 106573.
- Weihenstephan, F., H., (1997). Institut für Botanik und Planzenschutz - Infoblatt Mistel.
- Wigglesworth, V., B., (2024). Encyclopædia Britannica <https://www.britannica.com/animal/insect/Insect-fossil-record>
- Zhou, Q., Mu, K., Xu, M., Ma, X., Ni, Z., Wang, J., Xu, L., (2017). Variation in the concentrations of major secondary metabolites in ginkgo Leaves from different geographical populations. *Forests* 8(8):266; doi:10.3390/f8080266 www.mdpi.com/journal/forests.

CHAPTER 4
**UNVEILING THE IMPACTS OF TOPOGRAPHIC DRIVERS
ON VINEYARD DYNAMICS**

Prof. Dr. Demir KOK^{1*}

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.13770052>

¹Tekirdağ Namık Kemal University, Faculty of Agriculture, Department of Horticulture, Tekirdağ, Turkey. ORCID ID: 0000-0001-5879-8535

*Corresponding Author: dkok@nku.edu.tr

1.1. Introduction

Grapevine, as a perennial plant, is subject to various environmental factors (e.g., climate and soil), with topography playing a crucial role in shaping the attributes of vineyards and the quality of grapes produced.

Topographic factors, such as elevation, slope, and aspect, play a significant role in shaping the mesoclimate of a vineyard (Parker et al., 2011).

The meso-climate, which refers to the climate of a particular vineyard site, is influenced by topography, including factors such as altitude, latitude, slope, aspect, hill isolation, and proximity to water bodies, among others (Goldammer, 2018). These variables can affect the vineyard mesoclimate by superimposing local effects and influencing factors such as temperature, air movement, and soil moisture, which in turn impact grape variety, wine quality, and viticultural practices. Furthermore, research has shown that meso-climate variations, mediated by topographic factors, can have effects on viticulture and climate change poses significant challenges to traditional viticulture regions, emphasizing the importance of understanding the impacts of topographic variables on viticulture at the meso-climate scale.

Understanding the effects of topographic attributes on viticulture is vital for vineyard managers, winemakers and researchers seeking to optimize grape production and wine quality. Numerous scientific studies have been conducted to evaluate the effects of vineyard terrain's topographic features on viticulture and some of the studies on this subject are as follows:

The chemical composition of grapes may be influenced by several factors, including climate, soil, grape variety and viticultural practices and all of these interact with each other (Seguin, 1988).

Nadal-Romero et al. (2014) determined topographic thresholds for plant colonization in relation to slope aspect and assessed the spatial patterns of vegetation cover and species richness in their research. As a consequence, soil water availability was the chief limiting factor for

vegetation development in the semi-arid badlands of the Mediterranean. On the other hand, south-facing slopes were typically less vegetated due to a very large water stress.

Because an area's topographic characteristics affect hydrology, soils, erosion, nutrient availability and radiation, topography can provide vital information about the terrain (Fissore et al., 2017; Zeraatpisheh et al., 2019).

The research results of Jones et al. (2010) provide valuable insights into the influence of slope gradients on vineyard management practices and the health of grapevines.

The research led by Smith et al. (2012) sheds light on the relationship between aspect and sun exposure, elucidating its effects on grape ripening and wine quality.

The studies performed by Martinez-Casasnovas et al. (2009) and Hall et al. (2013) contribute to the understanding of elevation and its impact on temperature variation within vineyards, as well as its implications for grape variety selection and flavor development.

Mania et al. (2021) declare that topography may induce variability in meteorological conditions at the mesoscale level and topographical factors have been recognized as significant determinants of grapevine, grape quality and wine characteristics.

The interception of solar radiation, soil water holding capacity and the microclimate of a vineyard and grapevines may be influenced by interactions among the environment, soil characteristics and cultural choices in viticulture (Bois et al., 2018; Hunter, 2016).

Steep-slope cropland plays a vital role in food production, economic development, ecosystem diversity and European cultural heritage. However, these systems are susceptible to extreme weather events. Wang et al. (2024) analyze the spatial distribution of twelve major European steep-slope crops in their study and assess agricultural drought severity during 2022 by using open-access spatial data. The study findings reveal that olive is the most widespread crop in steep slope

agriculture (34% of the total area), followed by wheat (24%), maize (16%) and grape (11%). Additionally, a remarkable 44% of these landscapes were affected by extreme events in summer 2022 and vineyards were the most adversely involved, experiencing drought across 79% of their areas.

Steep slope vineyards are widely distributed in the Mediterranean region and have a pivotal role in wine production and economic development. Nevertheless, they are threatened by climate change in terms of opposite weather extremes such as heavy rainfalls and long-lasting droughts. Wang et al. (2023) carried out research on the effectiveness of micro-water storage in improving resilience to weather extremes. The study results display that micro-harvesting systems can considerably decrease surface overflow and effectively collect rainwater in different rainfall conditions.

Tachini et al. (2023) fulfilled a study on evaluating the mesoclimate of Uruguay's Atlantic region and determining topography and ocean's effect on temperature and thus on response of 'Tannat' grape variety. As a result of the research, with differences of 50 m. in altitude and thanks to the ocean, significant differences can be found that can have an impact on the composition of 'Tannat'

This review was carried out to examine the effects of different topographic elements on viticulture.

1.2. Climate Factors at Various Scales in Viticulture

Climate is a critical factor in viticulture, as it directly affects grapevine growth, grape ripening, and ultimately, the quality of the grape. The main climate factors at various scales that influence viticulture are as follows:

1.2.1. Macroclimate

Macroclimate refers to the broadest scale of climate patterns in a region and includes factors such as latitude, altitude, and proximity to

large bodies of water. These factors have a significant influence on the overall suitability of a region for grape cultivation (Jones et al., 2005).

1.2.2. Mesoclimate

Mesoclimate refers to the climate conditions within a specific vineyard or vineyard site. Factors that influence mesoclimate include topography, aspect (orientation of the vineyard slope), soil type, and the presence of nearby vegetation or bodies of water. These factors can create variations in temperature, air drainage, sunlight exposure, and the overall microenvironment within the vineyard.

1.2.3. Microclimate

Microclimate refers to the immediate environment surrounding the grapevine canopy. It is influenced by factors such as the arrangement of grapevines, trellising systems, and canopy management practices. Microclimate affects factors like temperature, humidity, and air movement within the vineyard, which can directly impact grapevine health, disease pressure, and grape ripening (Smart & Robinson, 1991; Keller, 2015).

1.3. Topography

Vineyard topography refers to the specific physical characteristics and features of the land where grapevines are cultivated. It encompasses elements such as elevation, slope, aspect, contour, and microtopography within the vineyard site.

1.3.1. Elevation

Elevation refers to the height above sea level of a particular location. It is a key topographic feature that plays a significant role in shaping the climate, temperature, and overall growing conditions of a vineyard. Elevation influences factors such as temperature, sunlight exposure, air circulation, and water drainage, which in turn impact grapevine growth, grape development, and ultimately wine quality (Gladstones, 2021; Jackson, 2014). Different elevation ranges can have

significant effects on viticulture, influencing factors such as temperature, sunlight exposure, precipitation, and grape ripening. Here are some of the effects of different elevation ranges on viticulture:

1.3.1.1. Low Elevation (sea level to 500 meters)

In lower-elevation vineyard sites, the climate tends to be warmer due to the proximity to sea level and less influence from cooling factors such as altitude and mountain breezes. Warmer temperatures can lead to earlier bud break, flowering, and grape ripening (Gladstones, 2021). This can be advantageous for regions with cooler climates, as lower elevations help mitigate the risk of frost damage. However, in warmer regions, excessive heat accumulation may pose challenges to grape ripening and maintaining acidity levels (van Leeuwen et al., 2010).

1.3.1.2. Mid-Elevation (500 meters to 800 meters)

Mid-elevation vineyards can offer a balance between coolness and warmth, making them suitable for a range of grape varieties. The moderating influence of higher altitude can result in cooler temperatures compared to low-elevation sites (Gladstones, 2021). This can lead to slower grape ripening, which allows for the development of complex flavors and better acid retention (Jones & Davis, 2000). The diurnal temperature range tends to be wider at mid elevations, contributing to the accumulation of flavor compounds in the grapes (van Leeuwen et al., 2010).

1.3.1.3. High elevation (800 meters and above)

High-elevation vineyards experience cooler temperatures due to the increased altitude and thinner atmosphere. Cooler temperatures can lead to delayed bud break, flowering, and harvest dates, extending the growing season (Gladstones, 2021). High elevations also promote the retention of acidity in grapes, resulting in wines with higher natural acidity levels (Jones & Davis, 2000). The lower average temperatures and increased diurnal temperature variation at high elevations can

contribute to the development of more complex aromas and flavors in the grapes (Palliotti et al., 2014).

1.3.2. Slope Gradient

Slope gradient is the steepness or incline of the land where grapevines are planted. Slope gradient affects water drainage, soil erosion, and sunlight exposure. It quantifies the change in elevation over a specified horizontal distance, typically expressed as a percentage or an angle. Slope gradient is an important topographic factor that affects various aspects of viticulture, including water drainage, soil erosion, mesoclimate, and grapevine growth (Gladstones, 2021; Martínez-Casasnovas et al., 2009; Petrie, 2006). Steeper slopes tend to have better water drainage, minimizing the risk of waterlogging and promoting healthier grapevine growth (van Leeuwen et al., 2010).

1.3.3. Aspect

Aspect refers to the compass direction that a vineyard slope faces, such as north, south, east, or west. The aspect influences the duration and intensity of sunlight exposure on the grapevine canopy. South-facing slopes receive more direct sunlight throughout the day, promoting better photosynthesis and grape ripening (Martínez-Casasnovas et al., 2010). In contrast, north-facing slopes receive less direct sunlight, potentially resulting in slower ripening and cooler microclimates (Jackson, 2014).

1.3.4. Contour

Contour refers to the lines or curves that connect points of equal elevation on a map or in the field. It represents the shape and configuration of the land surface, taking into account the variation in elevation across a vineyard site. Contour plays a significant role in viticulture as it helps in understanding the topography and managing the vineyard site effectively (Gladstones, 2021). Contour information is valuable in vineyard management for several reasons:

1.3.4.1. Water Management

Understanding the contour of the land helps in managing water within the vineyard. By analyzing the contour lines, vineyard managers can identify areas of potential water accumulation or runoff. This knowledge aids in designing irrigation systems, drainage solutions, and water conservation practices to ensure optimal water distribution for the grapevines.

1.3.4.2. Soil Conservation

Contour lines are crucial in preventing soil erosion within vineyards. By following the contour lines, vineyard managers can implement erosion control measures such as contour plowing, terracing, or the establishment of cover crops. These practices help to slow down water runoff, retain soil moisture, and minimize soil erosion.

1.3.4.3. Vineyard Design

Contour information is considered during the design and layout of vineyards. By understanding the contour of the land, vineyard managers can determine the placement and orientation of grapevine rows, trellis systems, and other vineyard infrastructure. This helps optimize sun exposure, airflow, and water drainage, leading to improved grapevine growth and grape quality.

1.3.4.4. Precision Viticulture

Contour data can be utilized in precision viticulture practices. By mapping the contour of a vineyard, managers can identify variations in elevation and slope across the site. This information can be integrated with other data, such as soil fertility or yield monitoring, to create site-specific management zones. Precision viticulture techniques can be applied within these zones to optimize resource allocation, improve grape quality, and enhance vineyard sustainability.

1.3.5. Microtopography

Microtopography refers to the small-scale variations in elevation and surface features within a vineyard site. It encompasses the subtle contours, undulations, and features of the land at a localized level, such as within a row or between grapevines. Microtopography plays a significant role in viticulture as it influences various aspects of grapevine growth, vineyard management, and grape production. The relevance of microtopography in viticulture includes the following aspects:

1.3.5.1. Water Drainage and Retention

Microtopography affects the flow of water within the vineyard. Small-scale variations in elevation can create micro-depressions or slight slopes that influence the movement of water. Understanding the microtopography helps vineyard managers design water drainage systems, manage soil moisture levels and prevent waterlogging or erosion.

1.3.5.2. Soil Variability

Microtopography contributes to variations in soil characteristics within the vineyard. Small depressions or slopes can result in variations in soil depth, texture, and water-holding capacity. Vineyard managers consider these variations in soil properties when making decisions about irrigation, fertilization, and soil management practices.

1.3.5.3. Grapevine Growth and Canopy Management

Microtopography affects the growth and development of grapevines. Small-scale variations in elevation can influence the availability of nutrients, water, and sunlight to individual grapevines. Understanding the microtopography helps in optimizing grapevine spacing, trellis design, and canopy management practices to ensure uniform grapevine growth and balanced grape production.

1.3.5.4. Harvest and Grape Quality

Microtopography can influence the grape ripening process and grape quality within the vineyard. Variations in elevation and exposure to sunlight can result in microclimatic differences, affecting the timing of grape ripening and the accumulation of sugars, acidity, and flavor compounds. Vineyard managers may consider these variations when planning the harvest strategy and managing grape quality.

1.3.5.5. Precision Viticulture

Microtopography data can be integrated with other spatial information, such as soil maps, yield maps, or remote sensing data, to implement precision viticulture techniques. By understanding the microtopography, vineyard managers can create management zones within the vineyard that account for small-scale variations in grapevine performance. This allows for targeted management practices, such as variable-rate irrigation or fertilization, to optimize resource allocation and grape quality.

1.3.6. Wind Exposure

Slope orientation and elevation influence wind exposure in vineyards. Wind can impact grapevine growth, canopy development, and grape composition. Strategic vineyard layout and windbreaks mitigate the effects of strong winds, promoting balanced grapevine growth and grape quality.

1.3.7. Frost Risk

Topographic factors such as valley bottoms and low-lying areas are prone to frost accumulation, especially during spring frost events. Vineyard site selection, frost protection measures, and vineyard design (e.g., slope gradient, air drainage) help minimize frost damage and ensure vineyard viability.

1.4. Relevance of Topography to Viticulture

The topographic structure of the vineyard location is important for viticulture, and these topographic features affect various aspects of viticulture, as listed below:

1.4.1. Sunlight Exposure

Topography influences the amount and distribution of sunlight that reaches the vineyard. The slope orientation and aspect determine the angle at which sunlight strikes the grapevine canopy. South-facing slopes generally receive more direct sunlight, providing favorable conditions for grapevine photosynthesis and ripening (Jackson, 2014). In contrast, north-facing slopes may receive less direct sunlight, which can affect grape quality and ripening potential (Martínez-Casasnovas et al., 2010).

1.4.2. Temperature Variation

Topography contributes to temperature variations within a vineyard. Elevation influences temperature gradients, with higher elevations often experiencing cooler temperatures compared to lower-lying areas (Gladstones, 2021). Slope gradient also impacts temperature variations within a vineyard, as it affects air drainage and cold air pooling (Webb et al., 2007). These temperature variations can influence grapevine phenology, grape ripening, and the development of specific flavor compounds in the grapes and resulting wines (Palliotti et al., 2014).

1.4.3. Soil Composition and Nutrient Distribution

Topography contributes to variations in soil composition and nutrient distribution across vineyard sites. Elevation, slope, and aspect can influence soil depth, texture, and water-holding capacity. These variations affect grapevine nutrition and overall grapevine health. By considering topographic characteristics, vineyard managers can implement site-specific soil management practices to optimize grapevine nutrition and grape quality (van Leeuwen & Seguin, 2006).

1.4.4. Vineyard Design and Canopy Management

Topography influences vineyard design and canopy management decisions. Understanding the slope, aspect, and microtopography helps in determining the placement and orientation of grapevine rows, trellis systems, and other vineyard infrastructure. Optimizing vineyard design based on topographic characteristics can enhance sun exposure, airflow and water drainage, leading to improved grapevine growth and grape quality.

1.5. Conclusion

The future of viticulture and its relationship with topography holds significant potential for innovation and adaptation. Understanding and considering these topographic drivers is essential for vineyard site selection, vineyard design, and management practices. These play a significant role in shaping the unique characteristics of a vineyard site and contribute to the concept of terroir.

REFERENCES

- Bois, B., Joly, D., Quénot, H., Pieri, P., Gaudillière, J.P., Guyon, D., Saur E. & van Leeuwen, C. (2018). Temperature-based zoning of the Bordeaux wine region. *OENO One*, 52, 1-16. <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2018.52.4.1580>.
- Fissore, C., Dalzell, B.J., Berhe, A.A., Voegtle, M., Evans, M. & Wu, A. (2017). Influence of topography on soil organic carbon dynamics in a Southern California Grassland. *CATENA*, 149, 140-149. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.09.016>.
- Gladstones, J. (2021). Viticulture and environment. ISBN 9780994501608, Trivinum Press Pty Limited, Adelaide, Australia.
- Goldammer, T. (2018). Grape Grower's Handbook. Vineyard Site Selection (Topography), ISBN 9780967521251, 482p.
- Hall, A., Jones, G. V. & Tran, T. (2013). Spatial analysis of climate in wine grape-growing regions in Australia. *Aust. J. Grape and Wine Res.*, 19(2), 206-223.
- Hunter, J., Volschenk, C. & Zorer, R. (2016). Vineyard row orientation of *Vitis vinifera* L. cv. Shiraz/101-14 Mgt: Climatic profiles and vine physiological Status. *Agric. For. Meteorol.*, 228-229, 104-119. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2016.06.013>.
- Jackson, R. S. (2014). Wine Science: Principles and Applications. Elsevier, 4th edition, ISBN 978-0-12-381468-5, Amsterdam, Netherlands.
- Jones, G. V. & Davis, R. E. (2000). Climate influences on grapevine phenology, grape composition, and wine production and quality for Bordeaux, France. *Am. J. Enol. Vitic.*, 51(3), 249-261. <https://doi.org/10.5344/ajev.2000.51.3.249>.
- Jones, G.V., White, M.A., Cooper, O.R. & Storchmann, K. (2005). Climate Change and Global Wine Quality. *Clim. Change*, 73(3), 319-343. <https://doi.org/10.1007/s10584-005-4704-2>.
- Jones, G. V., White, M. A., Cooper, O. R. & Storchmann, K. (2010). Climate change and global wine quality. *Clim. Change*, 108(3-4), 399-417.
- Keller, M. (2015). The Science of Grapevines: Anatomy and Physiology. ISBN 978-0-12-419978-3, 2nd edition, Academic Press, USA.

- Mania, E., Petrella F., Giovannozzi, M., Piazzzi, M., Wilson, A. & Guidoni, S. (2021) Managing vineyard topography and seasonal variability to improve grape quality and vineyard sustainability. *Agron.*, 11(6), 1-19. <https://doi.org/10.3390/agronomy11061142>.
- Martinez-Casasnovas, J. A., Ramos, M. C. & Ribes-Dasi, M. (2009). Influence of slope aspect on soil properties and hydrological parameters controlling soil erosion in vineyards. *CATENA*, 79(3), 220-226.
- Martínez-Casasnovas, J. A., Balbontín, C. & Ramos, M. C. (2010). Influence of topography on the spatial variability of grapevine water status. *Agric. Water Manag.*, 97(11), 1743-1750.
- Nadal-Romero, E., Petrlic, K. & Verachtert, E. (2014). Effects of slope angle and aspect on plant cover and species richness in a humid Mediterranean badland. *Earth Surf. Process Landf.*, 39(13), 1705-1716. <https://doi.org/10.1002/esp.3549>.
- Palliotti, A., Cartechini, A. & D'Onofrio, C. (2014). Grapevine canopies: The impact of bunch exposure to solar radiation on berry and wine quality. *Acta Hortic.*, 1037: 557-564.
- Parker, A., Leib, J. & Van Leeuwen, C. (2011). Vineyard elevation and grapevine phenology: A study using phenological metrics and high-resolution remote sensing. *Agric For. Meteorol.*, 151(12), 1411–1422.
- Petrie, P. R. & Clingeffer, P. R. (2006). The influence of soil and topography on vine performance and wine quality in a new vineyard at Stanley, Victoria, Australia. *Aust. J. Grape Wine Res.*, 12(3), 214-229.
- Seguin, G. (1988). *Ecosystems of the Great Red Wines Produced in the Maritime Climate of Bordeaux*. In: Wine Growing, Fuller-Perrine L. (ed.), Proc. Symp. Marit. Clim. Department of Horticultural Sciences, Cornell University, Geneva, NY, USA, p. 36-53.
- Smith, J. P., White, M. A. & Wineberg, R. A. (2012). Topographic controls on solar radiation incident on vineyard rows. *Agric. For. Meteorol.*, 157, 127-139.
- Smart, E.S. & Robinson, M. (1991). *Sunlight into Wine: A Handbook for Winegrape Canopy Management*. ISBN 9781875130108, Winetitles, New Zealand, 88p.
- Tachini, R., Bonnardot, V., Ferrer, M. & Fourment, M. (2023). Topography interactions with the Atlantic Ocean and its impact on *Vitis vinifera* L.

- 'Tannat'. *Vitis*, 62(4), 163-177.
<https://doi.org/10.5073/vitis.2023.62.163-177>.
- van Leeuwen, C. & Seguin, G. (2006). The Concept of Terroir in Viticulture. *J. Wine Res.*, 17(1), 1–10. <https://doi.org/10.1080/09571260600633135>.
- van Leeuwen, C., Friant, P., Choné, X., Tregouat, O., Koundouras, S. & Dubourdieu, D. (2010). Influence of climate, soil, and cultivar on terroir. *Am. J. Enol. Viticul.*, 61(3), 261-272.
<https://doi.org/10.5344/ajev.2004.55.3.207>.
- Webb, L. B., Whetton, P. H. & Barlow, E. W. (2007). Modelled impact of future climate change on the phenology of winegrapes in Australia. *Aust. J. Grape Wine Res.*, 13(3), 165-175. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2007.tb00247.x>.
- Wang, W., Straffelini, E. & Tarolli, P. (2023). Steep-slope viticulture: The effectiveness of micro-water storage in improving the resilience to weather extremes. *Agric. Water Manag.*, 286, 108398.
<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108398>.
- Wang, W., Straffelini, E. & Tarolli, P. (2024). 44% of steep slope cropland in Europe vulnerable to drought. *Geogr. Sustain.*, 5(1): 89-95.
<https://doi.org/10.1016/j.geosus.2023.12.001>.
- Zeraatpisheh, M., Ayoubi, S., Sulieman, M. & Rodrigo-Comino, J. (2019). Determining the spatial distribution of soil properties using the environmental covariates and multivariate statistical analysis: A case study in semi-arid regions of Iran. *J. Arid Land*, 11:551-566.
<https://doi.org/10.1007/s40333-019-0059-9>.

CHAPTER 5

LEVERAGING ARTIFICIAL INTELLIGENCE TO REVOLUTIONIZE SOIL HEALTH MANAGEMENT

Assist. Prof. Dr. Somayyeh RAZZAGHI^{1*}

Res. Asst. Fatma Nur KILIÇ²

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.13774694>

¹ Department of soil Science and Plant Nutrition, Faculty of Agriculture, Erciyes University, Kayseri/Turkey, Address, OrcID: 0000-0002-8028-452X
E-mail: srazzaghi @erciyes.edu.tr

² Department of soil Science and Plant Nutrition, Faculty of Agriculture, Erciyes University, Kayseri/Turkey, Address, OrcID: 0000-0003-3498-2455
E-mail: fatmanur@erciyes.edu.tr

*Corresponding Author: srazzaghi@erciyes.edu.tr

5.1. Introduction

Soil quality has an impact on boosting output and keeping the environment healthy. It's about how well soil can support an ecosystem that keeps plants, animals, and people alive. The usual ways to check and handle soil health include taking soil samples, running lab tests, and looking at the soil with your own eyes (Razzaghi et al., 2016). While these approaches offer information, they can be time- and labor-intensive. It may not fully capture the complexity of soil ecosystems. With the growing food demand and escalating effects of climate change, there is a need for more advanced techniques to monitor and enhance soil health (Meena et al., 2024).

Artificial Intelligence (AI) shows an opportunity to revolutionize soil health management practices (Zhang et al., 2024). AI technologies like machine learning (ML) and computer vision provide tools for analyzing big data from different sources such as soil sensors, satellite images, drones, and previous agricultural data. These technologies enable high accuracy in real-time monitoring, predictive analysis, and data-driven decision-making (Shaikh et al., 2022). Using AI technologies (like ML), we can achieve insights into soil properties, recognize signs of deterioration, and carry out strategies to protect and boost soil quality (Diaz-Gonzalez et al., 2022).

One important way AI is used in managing soil health is by employing machine learning algorithms to forecast soil health indicators, like moisture content, and organic matter. These algorithms can study data to detect patterns and trends which help make precise forecasts and suggestions (Kingsley et al., 2020; Taneja et al., 2021).

In addition, modern remote sensing technologies powered by AI, which utilize satellite and drone images make it possible to monitor soil health indicators on a scale (Khanal et al., 2020). This feature is especially valuable for identifying variations in soil properties and pinpointing areas that require attention.

Another crucial aspect of incorporating AI into soil health management is the utilization of big data analytics (Bhat & Huang, 2021). Through the aggregation and examination of datasets from sources, AI can reveal hidden patterns and connections that guide soil management practices (Elbeltagi et al., 2022). This comprehensive approach leads to an understanding of soil health dynamics. Moreover, automating soil sampling and analysis using systems and AI-driven laboratory processes enhances the efficiency and precision of soil health evaluations reducing dependence on labor and minimizing errors (Kumar et al., 2024).

This chapter delves into how AI can transform soil health management through methods. It discusses AI techniques and their practical applications, showcasing case studies and real-life instances that illustrate the advantages of AI-driven strategies. The chapter also addresses challenges related to integrating AI into soil health management, such as data accuracy, algorithm transparency, and the importance of cooperation. Lastly, it explores the benefits of AI in soil health management, and the prospects and potential advancements in AI that could further improve soil health management practices, for resilient and sustainable agricultural systems. The merging of AI and soil health highlighted in this chapter emphasizes how technological advancements can lead to transformations, in agriculture and preservation.

5.2. Understanding Soil Health

Soil health is a term that describes how well the soil can encourage life of plants, animals, and humans (Sokolov et al., 2010). Healthy soils fulfill roles that bolster agricultural output and environmental sustainability (Morgan et al., 2021; Zuazo et al., 2011). Soil health plays a critical role, in farming maintaining ecosystems, and preserving the environment (Sachan et al., 2024). Soil health contains a range of physical, chemical, and biological properties that determine its ability to perform functions like nutrient reclamation, water quality, and helping plant growth (Kaur & Vyas, 2024; Lehmann et al., 2020) (Fig 5.1).

The physical properties of the soil such as texture, structure, porosity, and bulk density play a crucial role in its total health (Usharani et al., 2019). Soil texture affects water infiltration abilities (Yang & Zhang, 2011). Good soil structure allows for air circulation and root growth by forming clumps or aggregates. Porosity and bulk density influence water movement within the soil and support root development (Giuliani et al., 2024; Pagliai et al., 2004; Valentine et al., 2012). Healthy soils lead to balance in their structure to support plant roots while facilitating air and water exchange (Pandao et al., 2024).

The availability of vital macronutrients (like nitrogen (N), phosphorus (P), potassium (K)) and microelements (like iron (Fe), zinc (Zn), copper (Cu), and manganese (Mn)) for plant growth (Cai et al., 2013; Heidak et al., 2014; Velarde et al., 2005) are impacted by of some chemical properties of the soil like and the soil organic carbon (SOC) (Razzaghi et al., 2021) and pH level (Hartemink & Barrow, 2023). The SOC enhances soil structure, and nutrient content (Razzaghi et al., 2022).

The microorganisms' activity as the biological properties of the soil are vital for soil health as they assist in processes like decomposing organic matter, cycling nutrients, and creating soil structure (Adewara et al., 2024). Beneficial microorganisms establish relationships with plants to improve nutrient absorption and disease resistance (Meena et al., 2017). A diverse and active community of organisms in the soil is an indicator of its health status because it enhances resilience and productivity (Alori et al., 2024).

Determining soil health involves combining chemical, physical, and biological assessments. Soil sample analysis in the lab and also field evaluations can offer insights, into soil health (Rinot et al., 2019).



Figure 5.1. Understanding soil health through physical, chemical and biological properties of the soil

5.3. Challenges in Soil Health Management

Keeping the soil healthy plays a big role in farming that lasts and protects nature, but it's not easy. Soil health worsens in many ways, like erosion and loss of fertile soil (Pennock, 2019). This makes the soil less able to grow plants and organisms together. Wind and rain wash away the top layer of soil that has all the nutrients (Gahlot & Agarwal, 2024). Moreover, nutrient imbalances and soil contamination create more problems. Using too many chemical fertilizers can reduce the nutrient balance and make the soil acidic (Bisht & Chauhan, 2020). Nutrient deficiency stops plants from growing well and leads to lower crop yields (Karthika et al., 2018). To balance nutrients with what crops need and what's in the soil, farmers must use exact methods and test their soil often (Ingram et al., 2010).

Pollution of the soil by heavy metals, pesticides, and factory waste hurts microbe communities and soil functions. This puts plants, animals, and people at risk (Kumari & Mishra, 2021). To tackle these issues, we need good methods to watch for problems and clean them up.

Climate change and socio-economic limits make it harder to manage soil health. Changes in temperature, rain patterns, and extreme weather have an impact on soil moisture, erosion, and nutrient cycles (Kumar et al., 2022). Money issues and policies can stop farmers from using soil-saving methods or investing money into better soil health. Good soil health management policies should offer money incentives, help pay for sustainable practices, and support small farmers (Bowman & Lynch, 2019). To tackle these problems, we need a big-picture approach. This should bring together science research new technology sustainable methods, and helpful policies. It also needs scientists, farmers, policy-makers, and others to work together to boost soil health and make sure it lasts long-term.

5.4. Applications of AI in Soil Health Management

AI has an impact on soil health management by providing new methods to watch, study, and boost soil qualities (Meena et al., 2024) (Table 5.1). Using AI techniques like machine learning, computer vision, and big data analysis allows for more exact, productive, and adaptable methods to keep soil healthy and make it better (Nawar & Mouazen, 2017). Some of the applications are listed below (Fig 5.2):

5.4.1. Machine Learning for Soil Analysis

Machine learning algorithms have an important impact on predicting soil health factors such as nutrient, water, and organic matter content in the soil. These algorithms look at past data and current info from soil sensors and other places to spot patterns and trends. This helps farmers manage their soil better (Uddin et al., 2024). For instance, by machine learning models the farmers can know the time of fertilization or irrigation by checking soil moisture and nutrient content. This lets farmers use resources more effectively. It does not boost crop yields but also cuts down on environmental harm from too much fertilizer and water use (Umutoni & Samadi, 2024).

5.4.2. Remote Sensing and Computer Vision

AI-powered remote sensing technology using satellite and drone images has an impact on large-scale detailed monitoring of soil health markers (Hay & Krause, 2021). Computer vision algorithms examine these pictures to spot changes in soil features across different areas, like soil texture, organic matter, and moisture. This ability proves crucial to pinpoint spots in a field that might need specific care (Ghazal et al., 2024). The pictures also snap detailed shots of soil and plants, which AI algorithms then process to check soil health and catch early warnings of wear or lack of nutrients (Chowdhury et al., 2024; Misbah et al., 2021).

5.4.3. Big Data Analytics

Gathering and studying huge sets of data from many places, like soil sensors, weather stations, and old farming records, gives us a full picture of how soil health changes. Looking at big data shows hidden patterns and connections that help us manage soil better (Hinge et al., 2021). By bringing together different streams of data, AI systems can give useful insights and suggestions that fit specific soil conditions and what crops need (Bhat & Huang, 2021). This all-around approach helps people make better choices and encourages the creation of farming practices that can last a long time.

5.4.4. Automated Soil Sampling and Analysis

AI-driven robotic systems for soil sampling and analysis have an impact on how well we can check soil health and soil management (Awais et al., 2023). Robots with AI smarts can gather soil samples on their own cutting down on the need for people to do this hard work. These samples then go through AI-powered lab tests and figure out the soil properties like its pH or how many nutrients it has, and the activity of the the microorganisms in it. This technique speeds up soil testing (like pH) giving farmers good data when they need it to guide how they take care of their soil (Adamchuk et al., 1999).

5.4.5. Predictive Maintenance and Early Warning Systems

AI technologies also influence predictive maintenance and early warning systems to manage soil quality changes (Muscolo et al., 2015). AI can predict potential problems like soil compaction, erosion, or contamination by keeping an eye on soil conditions and looking at trends (Garg et al., 2022; Shadrin et al., 2020). Early warning systems inform farmers about these risks allowing them to take action to prevent land degradation and maintain soil health (Quansah et al., 2010).

5.4.6. Sustainable Soil Management Practices

AI helps farmers use better soil management methods by giving them specific information based on data. AI insights can improve techniques like cover cropping, crop rotation less tillage, and adding organic matter to boost soil health and fertility (Gutiérrez et al., 2024; Ryo, 2022). By encouraging these methods, AI plays a part in making farming systems last longer helping them stand up to environmental pressures and secure food supplies for the future (Wang, 2022).

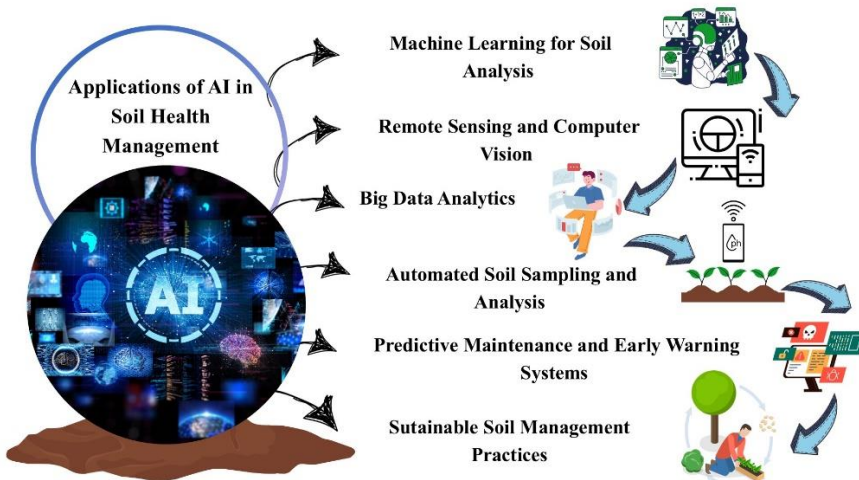


Figure 5.2. Some the Applications of AI in Soil Health Management

Table 5.1. Some of the smart solutions and their impact on soil properties and therefore on soil health management

AI Application	Effect on Soil Properties & Health Management	References
Machine Learning for Soil Analysis	1- The predicting of soil parameters↑ by SVM and RF as the best Machine Learning methods 2- The fertilizer recommendation↑ by RF and RR as the best smart solution application	(Wilhelm et al., 2022)
Remote Sensing and Computer Vision	The prediction of soil sand and organic matter content↑ by RMSE models	(Sudarsan, 2015)
Big Data Analytics for Soil Management	Prediction of soil quality, pH level ↑	(Micheni et al., 2022)
Automated Soil Sampling and Analysis	Soil sampling on grid bases is ↑ representative, ↓ costly pattern for future sampling	(McGrath & Skotnikov, 1996)
Predictive Maintenance and Early Warning Systems	Predicted cumulative rainfall for 72 h and prepare the soil water balance model	(Ponziani et al., 2013)
Sustainable Soil Management Practices	The mean of wheat grain yield by 39.9%↑ by balanced dose of NPK fertilizers+ farmyard manure or lime, aggregate stability, available nutrients, and microbial biomass↑by 100 % NPK fertilizers+ farmyard manure	(Sankhyan et al., 2024)
Soil Carbon Sequestration Monitoring	Identify soil carbon model with the best predictive performance by developing model selection methods and available data	(Davoudabadi et al., 2024)
Precision Agriculture	Using V-NIR spectroscopy predict soil properties with ↓cost and fast alternative for standard methods of soil properties prediction	(Ahmadi et al., 2021)

↑= high or increased, ↓= low or less

5.5. Benefits of AI in Soil Health Management

AI integration into soil health management has an impact on farming in many positive ways. It boosts productivity, makes agriculture more sustainable, and helps farmers work smarter (Raji et al., 2024). The benefits of AI are outlined below (Fig 5.3):

5.5.1. Better Accuracy and Productivity

AI techniques, like machine learning and computer vision, help farmers keep a close eye on soil health and manage it well (Eli-Chukwu, 2019). As indicated above by looking at the data from soil sensors, and satellite images, AI gives spot-on insights about soil conditions. This accuracy lets farmers do the fertilization, irrigation, and plant protection applications (pesticides and herbicides) at the right time when required. These methods (farming by AI) are more precise and lead to higher yields with low time-consuming and costs (Talaviya et al., 2020).

5.5.2. Smarter Soil Health Monitoring

Keeping an eye on soil health plays a crucial role in maintaining optimal soil conditions. AI-driven remote sensing and sensor networks provide farmers with real-time information on various soil parameters, including moisture nutrient content, pH levels, and organic matter concentration (Fuentes-Peñailillo et al., 2024; Mallick et al., 2022). This steady stream of info helps farmers spot changes in soil health and quality and take action to fix issues (El-Ramady et al., 2014).

5.5.3. Predictive Analytics to Make Better Decisions

AI-powered predictive analytics show farmers what might happen to their soil. These tools look at old data and current soil conditions to forecast potential issues like nutrient deficiency, soil compaction, or erosion risks. This information allows farmers to plan and make smart choices to keep their soil healthy (Kothari et al., 2024). These forecasts also help with long-term soil health planning to gain higher crop yield (Bhar et al., 2019; Hassan et al., 2022). They make it easier for farmers to

determine the best crop rotation methods and other ways to protect their soil (Ball et al., 2005).

5.5.4. Reduced Environmental Impact

AI impacts soil health management leading to organic farming methods. It helps farmers use the right amounts of fertilizers and pesticides, reducing soil and water pollution (Zhang et al., 2024). AI tools also back farming techniques that protect the soil, like less tillage and planting cover crops. These approaches improve soil structure and increase biodiversity (Ahmareen et al., 2024). The sustainable soil techniques that AI enables help to maintain healthy ecosystems (Akter, 2024).

5.5.5. Higher Productivity and Crop Yields

Healthy soil is the foundation for successful farming. AI tools improve soil health management, which leads to higher crop yields (Singh & Jain, 2022). As mentioned above, by keeping soil fertility, moisture and other soil properties at optimum levels, AI helps plants grow better and produce more (Shaikh et al., 2022). Furthermore, AI-powered early warning systems about soil health problems let farmers tackle issues before they affect crop yields (Goel & Pandey, 2024).

5.5.6. Cost Savings and Economic Benefits

Soil health management practices by machine learning and artificial intelligence help farmers save money and allow them the precise use of fertilizers, water, and pesticides to reduce input costs (Shaikh et al., 2022). These savings add up over time making farming more sustainable. The healthier soil and higher yield can boost agriculture profits and give farmers a steadier income (Rafi et al., 2022).

5.5.7. Support for Sustainable Agriculture:

AI in soil health management lines up with the aims of sustainable agriculture (Kalantzopoulos et al., 2024). AI promotes practices that save soil resources and keep the soil fertile by cover crop planting, reducing

the over-application of fertilizers and irrigation water. By giving insights based on data and automated solutions, AI helps farmers adopt and keep up sustainable soil management practices (Khanna et al., 2022).

5.5.8. Empowerment of Farmers

AI technologies give positive attitudes, key information, and tools for farmers (especially young farmers) to manage soil health (Saiz-Rubio & Rovira-Más, 2020). Access to real-time data and advanced analytics boosts the ability of farmers to understand their soil condition, crop harvesting time, and disease or pest threats to make smart choices and decisions. This empowerment results in more effective soil management higher productivity, and better resilience to environmental challenges (Javaid et al., 2022).

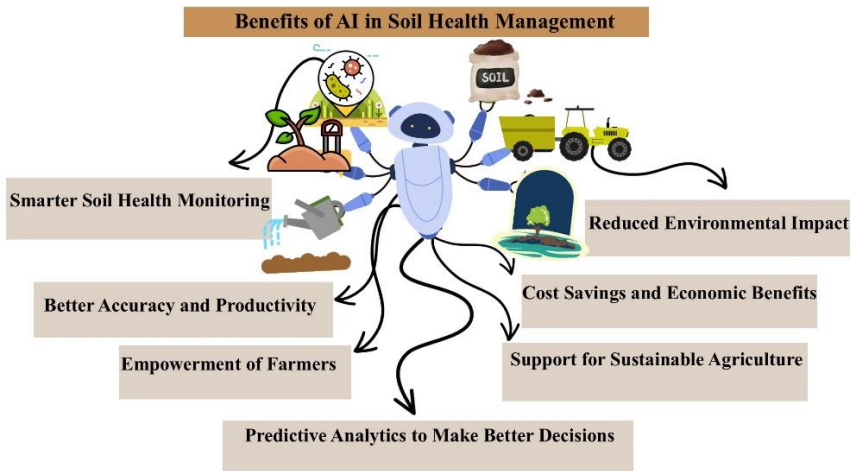


Figure 5.3. Some Benefits of AI in Soil Health Management

5.6. Challenges and Future Directions

AI's integration into soil health management faces big hurdles. The main problem is getting good plentiful data. To train AI models, you need top-notch wide-ranging datasets (Ahmad & Nabi, 2021; Javaid et al., 2023). However, it's hard to collect uniform standard soil health information across different areas (like forests) and soil types

(Schoenholtz et al., 2000). Data in various formats, different measuring standards, and changes in quantitative baseline of soil properties, soil degradation, and climate can make it hard to combine and study soil quality data well (Karlen et al., 1997). The worries about data privacy and security can make farmers hesitant to share their information. This makes it even harder to create strong AI-based solutions for soil health (Amiri-Zarandi et al., 2022).

Money and ease of access create big hurdles for farmers who want to use AI to manage soil health. Buying AI technologies like IoT sensors, drones, and machine learning software costs a lot upfront. This can be too much for small farms or those with limited funds (Yadav et al., 2018). This can put more stress on farmers' budgets. It's key to close the technology gap for farmers in developing areas or far-off places to use AI-based soil health management tools. Another obstacle is usability. Farmers generally have challenges understanding the main impact of data generated by IoT devices due to not having enough training (Gahlot & Agarwal, 2024). Helpful policies standard methods to gather data, and full training plans can help integrate AI into agriculture and soil health management in future farming.

5.7. Conclusion

AI has a revolutionary effect on soil health management. It tackles many problems of the soil that old methods can't solve. AI makes soil analysing and interpreting the results more accurate and effective. This helps farmers use smart choices to boost soil health and grow more plants. Using AI technologies like machine learning, remote sensing, and big data analysis lets farmers monitor their soil in real time and fix its problems before they happen. This leads to better ways to take care of soil. These new methods don't just help individual farmers. They also make farming suitable for the environment by using fewer chemical fertilizers.

Even though AI has benefits for soil health management, getting farmers to use it isn't easy. To use these technologies First, we must make

sure we have good complete data. Then, we need to reduce the cost of AI technologies, so more people can afford it. Also, we need to teach farmers how to use these tools. To make all this happen, governments, scientists, and businesses need to work together as a single team to create a system that supports AI in soil management.

Looking ahead, AI has a bright and promising future in soil health management. Combining AI with new technologies like blockchain for tracking and biotech for soil improvement can boost soil health. If we welcome these new ideas and push for sustainable agriculture and manage soil quality, AI can cause a revolution in how we take care of the soil even as climate change throws us unexpected challenges.

REFERENCES

- Adamchuk, V., Morgan, M., & Ess, D. (1999). An automated sampling system for measuring soil pH. *Transactions of the ASAE*, 42(4), 885-892.
- Adewara, O., Adebayo-Olajide, T., Ayedun, J., Kotun, B., Adeleke, A., Brown, A. D.,...Ogunbanwo, S. (2024). Soil Formation, Soil Health and Soil Biodiversity. In *Prospects for Soil Regeneration and Its Impact on Environmental Protection* (pp. 95-121). Springer.
- Ahmad, L., & Nabi, F. (2021). *Agriculture 5.0: artificial intelligence, IoT and machine learning*. CRC Press.
- Ahmadi, A., Emami, M., Daccache, A., & He, L. (2021). Soil properties prediction for precision agriculture using visible and near-infrared spectroscopy: A systematic review and meta-analysis. *Agronomy*, 11(3), 433.
- Ahmareen, S., Potluri, S., & Alabdouli, A. K. K. (2024). Artificial Intelligence: Towards Sustainable, Smart, and Green Agriculture. In *AI in Agriculture for Sustainable and Economic Management* (pp. 1-11). CRC Press.
- Akter, M. S. (2024). Harnessing technology for environmental sustainability: utilizing AI to tackle global ecological challenge. *Journal of Artificial Intelligence General science (JAIGS) ISSN: 3006-4023*, 2(1), 61-70.
- Alori, E. T., Osemwegie, O. O., Ibaba, A. L., Daramola, F. Y., Olaniyan, F. T., Lewu, F. B., & Babalola, O. O. (2024). The Importance of Soil Microorganisms in Regulating Soil Health. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 1-15.
- Amiri-Zarandi, M., Dara, R. A., Duncan, E., & Fraser, E. D. (2022). Big data privacy in smart farming: a review. *Sustainability*, 14(15), 9120.
- Awais, M., Naqvi, S. M. Z. A., Zhang, H., Li, L., Zhang, W., Awwad, F. A.,...Hu, J. (2023). AI and machine learning for soil analysis: an assessment of sustainable agricultural practices. *Bioresources and Bioprocessing*, 10(1), 90.
- Ball, B., Bingham, I., Rees, R., Watson, C., & Litterick, A. (2005). The role of crop rotations in determining soil structure and crop growth conditions. *Canadian Journal of Soil Science*, 85(5), 557-577.

- Bhar, L. M., Ramasubramanian, V., Arora, A., Marwaha, S., & Parsad, R. (2019). Era of Artificial Intelligence prospects for Indian agriculture. *Indian Farming*, 69(3).
- Bhat, S. A., & Huang, N.-F. (2021). Big data and ai revolution in precision agriculture: Survey and challenges. *Ieee Access*, 9, 110209-110222.
- Bisht, N., & Chauhan, P. S. (2020). Excessive and disproportionate use of chemicals cause soil contamination and nutritional stress. *Soil contamination-threats and sustainable solutions*, 2020, 1-10.
- Bowman, M., & Lynch, L. (2019). Government programs that support farmer adoption of soil health practices. *Choices*, 34(2), 1-8.
- Cai, H., Xie, W., & Lian, X. (2013). Comparative analysis of differentially expressed genes in rice under nitrogen and phosphorus starvation stress conditions. *Plant molecular biology reporter*, 31, 160-173.
- Chowdhury, M., Anand, R., Dhar, T., Kurmi, R., Sahni, R. K., & Kushwah, A. (2024). Digital insights into plant health: Exploring vegetation indices through computer vision. In *Applications of Computer Vision and Drone Technology in Agriculture 4.0* (pp. 7-30). Springer.
- Davoudabadi, M. J., Pagendam, D., Drovandi, C., Baldock, J., & White, G. (2024). Innovative approaches in soil carbon sequestration modelling for better prediction with limited data. *Scientific Reports*, 14(1), 3191.
- Diaz-Gonzalez, F. A., Vuelvas, J., Correa, C. A., Vallejo, V. E., & Patino, D. (2022). Machine learning and remote sensing techniques applied to estimate soil indicators—review. *Ecological Indicators*, 135, 108517.
- El-Ramady, H. R., Alshaal, T., Amer, M., Domokos-Szabolcsy, É., Elhawat, N., Prokisch, J., & Fári, M. (2014). Soil quality and plant nutrition. *Sustainable Agriculture Reviews 14: Agroecology and Global Change*, 345-447.
- Elbeltagi, A., Kushwaha, N. L., Srivastava, A., & Zoof, A. T. (2022). Artificial intelligent-based water and soil management. In *Deep learning for sustainable agriculture* (pp. 129-142). Elsevier.
- Eli-Chukwu, N. C. (2019). Applications of artificial intelligence in agriculture: A review. *Engineering, Technology & Applied Science Research*, 9(4).
- Fuentes-Peñailillo, F., Gutter, K., Vega, R., & Silva, G. C. (2024). Transformative Technologies in Digital Agriculture: Leveraging Internet

- of Things, Remote Sensing, and Artificial Intelligence for Smart Crop Management. *Journal of Sensor and Actuator Networks*, 13(4), 39.
- Gahlot, A., & Agarwal, M. (2024). A Bird Eye View on Next Generation Smart Farming Based on IoT with Machine Learning Approach—A Review. 2024 International Conference on Advancements in Power, Communication and Intelligent Systems (APCI),
- Garg, A., Wani, I., & Kushvaha, V. (2022). Application of artificial intelligence for predicting erosion of biochar amended soils. *Sustainability*, 14(2), 684.
- Ghazal, S., Munir, A., & Qureshi, W. S. (2024). Computer vision in smart agriculture and precision farming: Techniques and applications. *Artificial Intelligence in Agriculture*.
- Giuliani, L. M., Hallett, P. D., & Loades, K. W. (2024). Effects of soil structure complexity to root growth of plants with contrasting root architecture. *Soil and tillage research*, 238, 106023.
- Goel, M., & Pandey, M. (2024). Crop Yield Prediction Using AI: A Review. 2024 2nd International Conference on Disruptive Technologies (ICDT),
- Gutiérrez, L. L., Rosales, D. C., Neves, K. T., & Turu, G. B. (2024). Artificial Intelligence and Agronomy: An Introductory Reflection on Reducing Herbicide Dependence in Weed Management.
- Hartemink, A. E., & Barrow, N. (2023). Soil pH-nutrient relationships: the diagram. *Plant and Soil*, 486(1), 209-215.
- Hassan, M., Malhotra, K., & Firdaus, M. (2022). Application of artificial intelligence in IoT security for crop yield prediction. *ResearchBerg Review of Science and Technology*, 2(1), 136-157.
- Hay, G., & Krause, P. (2021). Remote Sensing and Soil Quality. In *IoT-based Intelligent Modelling for Environmental and Ecological Engineering: IoT Next Generation EcoAgro Systems* (pp. 159-184). Springer.
- Heidak, M., Glasmacher, U., & Schöler, H. (2014). A comparison of micronutrients (Mn, Zn, Cu, Mo, Ni, Na) within rocks, soils, and leaves, from fallow agricultural lands and natural laurel forest areas (Tenerife, Canary Islands, Spain). *Journal of Geochemical Exploration*, 136, 55-64.
- Hinge, G., Surampalli, R. Y., Goyal, M. K., Gupta, B. B., & Chang, X. (2021). Soil carbon and its associate resilience using big data analytics: for food security and environmental management. *Technological Forecasting and Social Change*, 169, 120823.

- Ingram, J., Fry, P., & Mathieu, A. (2010). Revealing different understandings of soil held by scientists and farmers in the context of soil protection and management. *Land Use Policy*, 27(1), 51-60.
- Javaid, M., Haleem, A., Khan, I. H., & Suman, R. (2023). Understanding the potential applications of Artificial Intelligence in Agriculture Sector. *Advanced Agrochem*, 2(1), 15-30.
- Javaid, M., Haleem, A., Singh, R. P., & Suman, R. (2022). Enhancing smart farming through the applications of Agriculture 4.0 technologies. *International Journal of Intelligent Networks*, 3, 150-164.
- Kalantzopoulos, G., Paraskevopoulos, P., Domalis, G., Liopa-Tsakalidi, A., Tsesselis, D. E., & Barouchas, P. E. (2024). The Western Greece Soil Information System (WESIS)—A Soil Health Design Supported by the Internet of Things, Soil Databases, and Artificial Intelligence Technologies in Western Greece. *Sustainability*, 16(8), 3478.
- Karlen, D. L., Mausbach, M., Doran, J. W., Cline, R., Harris, R., & Schuman, G. (1997). Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation (a guest editorial). *Soil Science Society of America Journal*, 61(1), 4-10.
- Karthika, K., Rashmi, I., & Parvathi, M. (2018). Biological functions, uptake and transport of essential nutrients in relation to plant growth. *Plant nutrients and abiotic stress tolerance*, 1-49.
- Kaur, A., & Vyas, P. (2024). Nutrient Recycling by Microbes for Healthy Soil. In *Advancements in Microbial Biotechnology for Soil Health* (pp. 173-187). Springer.
- Khanal, S., Kc, K., Fulton, J. P., Shearer, S., & Ozkan, E. (2020). Remote sensing in agriculture—accomplishments, limitations, and opportunities. *Remote Sensing*, 12(22), 3783.
- Khanna, M., Atallah, S. S., Kar, S., Sharma, B., Wu, L., Yu, C.,...Guan, K. (2022). Digital transformation for a sustainable agriculture in the United States: Opportunities and challenges. *Agricultural Economics*, 53(6), 924-937.
- Kingsley, J., Isong, I. A., Kebonye, N. M., Ayito, E. O., Agyeman, P. C., & Afu, S. M. (2020). Using machine learning algorithms to estimate soil organic carbon variability with environmental variables and soil nutrient indicators in an alluvial soil. *Land*, 9(12), 1-20.

- Kothari, N., Jain, C., Jain, A., Solanki, A., Sen, D., & Kumawat, P. (2024). AI APPLICATION FOR CROP MONITORING AND PREDICT CROP DISEASES & SOIL QUALITIES.
- Kumar, R., Farooq, M., & Qureshi, M. (2024). Advancing precision agriculture through artificial intelligence: Exploring the future of cultivation. In *A Biologist's Guide to Artificial Intelligence* (pp. 151-165). Elsevier.
- Kumar, S. S., Wani, O. A., Krishna, J. R., & Hussain, N. (2022). Impact of climate change on soil health. *Int. J. Environ. Sci*, 7, 70-90.
- Kumari, S., & Mishra, A. (2021). Heavy metal contamination. In *Soil contamination-threats and sustainable solutions*. IntechOpen.
- Lehmann, J., Bossio, D. A., Kögel-Knabner, I., & Rillig, M. C. (2020). The concept and future prospects of soil health. *Nature Reviews Earth & Environment*, 1(10), 544-553.
- Mallick, J., Ahmed, M., Alqadhi, S. D., Falqi, I. I., Parayangat, M., Singh, C. K.,...Ijyas, T. (2022). Spatial stochastic model for predicting soil organic matter using remote sensing data. *Geocarto International*, 37(2), 413-444.
- McGrath, D., & Skotnikov, A. (1996). Possibility of different soil sampling techniques with automated soil sampler. *Communications in soil science and plant analysis*, 27(5-8), 1779-1794.
- Meena, M., Swapnil, P., Zehra, A., Aamir, M., Dubey, M. K., Goutam, J., & Upadhyay, R. (2017). Beneficial microbes for disease suppression and plant growth promotion. *Plant-Microbe Interactions in Agro-Ecological Perspectives: Volume 2: Microbial Interactions and Agro-Ecological Impacts*, 395-432.
- Meena, S. K., Kumar, A., Meena, K. R., Sinha, S. K., Rana, L., Kumar, N.,...Meena, V. S. (2024). Advanced and Emerging Techniques in Soil Health Management. *Advancements in Microbial Biotechnology for Soil Health*, 343-362.
- Micheni, E., Machii, J., & Murumba, J. (2022). Internet of things, big data analytics, and deep learning for sustainable precision agriculture. 2022 IST-Africa Conference (IST-Africa),
- Misbah, K., Laamrani, A., Khechba, K., Dhiba, D., & Chehbouni, A. (2021). Multi-sensors remote sensing applications for assessing, monitoring, and mapping NPK content in soil and crops in African agricultural land. *Remote Sensing*, 14(1), 81.

- Morgan, C., Daniels, E., Van den Berg, E., Heinstedt, L., & Huck, D. (2021). Soil Health & Integrity Affect Soils' Ability to Perform Vital Ecosystem Services for Sustainable Cities: Recommendations for an Increasingly Urban Bozeman. *Montana*.
- Muscolo, A., Settineri, G., & Attinà, E. (2015). Early warning indicators of changes in soil ecosystem functioning. *Ecological Indicators*, 48, 542-549.
- Nawar, S., & Mouazen, A. M. (2017). Predictive performance of mobile vis-near infrared spectroscopy for key soil properties at different geographical scales by using spiking and data mining techniques. *Catena*, 151, 118-129.
- Pagliai, M., Vignozzi, N., & Pellegrini, S. (2004). Soil structure and the effect of management practices. *Soil and tillage research*, 79(2), 131-143.
- Pandao, M. R., Thakare, A. A., Choudhari, R. J., Navghare, N. R., Sirsat, D. D., & Rathod, S. R. (2024). Soil Health and Nutrient Management. *International Journal of Plant & Soil Science*, 36(5), 873-883.
- Pennock, D. (2019). Soil erosion: The greatest challenge for sustainable soil management.
- Ponziani, F., Berni, N., Stelluti, M., Zauri, R., Pandolfo, C., Brocca, L.,...Tamagnini, C. (2013). LANDWARN: an operative early warning system for landslides forecasting based on rainfall thresholds and soil moisture. *Landslide Science and Practice: Volume 2: Early Warning, Instrumentation and Monitoring*, 627-634.
- Quansah, J. E., Engel, B., & Rochon, G. L. (2010). Early warning systems: a review. *Journal of Terrestrial Observation*, 2(2), 5.
- Rafi, S., Balasani, R., Qadir, F., Tahir, M., Ahmed, F., & Ahmad, W. S. (2022). Role of artificial intelligence in agriculture sustainability, an example from India. In *Towards sustainable natural resources: Monitoring and managing ecosystem biodiversity* (pp. 275-293). Springer.
- Raji, E., Ijomah, T. I., & Eyieyien, O. G. (2024). Integrating technology, market strategies, and strategic management in agricultural economics for enhanced productivity. *International Journal of Management & Entrepreneurship Research*, 6(7), 2112-2124.
- Razzaghi, S., Islam, K. R., & Ahmed, I. A. M. (2022). Deforestation impacts soil organic carbon and nitrogen pools and carbon lability under Mediterranean climates. *Journal of soils and sediments*, 22(9), 2381-2391.

- Razzaghi, S., Kapur, S., Islam, R. K., Rezaei, M., Valizadeh, A., & Lagomarsino, A. (2021). Protected carbon and nitrogen stoichiometry in soils under red pine and oak forests. *Fresenius Environ Bull*, 30, 11047-11056.
- Razzaghi, S., Oskouei, R., & KR, I. (2016). EVALUATE SOIL QUALITY AND PASTURE BIOMASS YIELD RELATIONSHIP IN THE SEMI-ARID REIGONS OF THE WESTERN AZERBAIJAN, IRAN. *International Journal of Agriculture and Environmental Research*, 2, 673-690.
- Rinot, O., Levy, G. J., Steinberger, Y., Svoray, T., & Eshel, G. (2019). Soil health assessment: A critical review of current methodologies and a proposed new approach. *Science of the Total Environment*, 648, 1484-1491.
- Ryo, M. (2022). Explainable artificial intelligence and interpretable machine learning for agricultural data analysis. *Artificial Intelligence in Agriculture*, 6, 257-265.
- Sachan, K., Saxena, A., Kumar, S., Mishra, A., Verma, A., Tiwari, D., & Kumar, A. (2024). Urban Soil Health Check and Strategies for Monitoring and Improvement. *Journal of Diversity Studies*.
- Saiz-Rubio, V., & Rovira-Más, F. (2020). From smart farming towards agriculture 5.0: A review on crop data management. *Agronomy*, 10(2), 207.
- Sankhyan, N. K., Sharma, N., Sharma, R. P., Sharma, G., & Thakur, A. (2024). Sustainable soil management: Insights from a 47-year maize-wheat cropping system study. *Applied Soil Ecology*, 195, 105230.
- Schoenholtz, S. H., Van Miegroet, H., & Burger, J. (2000). A review of chemical and physical properties as indicators of forest soil quality: challenges and opportunities. *Forest ecology and management*, 138(1-3), 335-356.
- Shadrin, D., Pukalchik, M., Kovaleva, E., & Fedorov, M. (2020). Artificial intelligence models to predict acute phytotoxicity in petroleum contaminated soils. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 194, 110410.
- Shaikh, T. A., Rasool, T., & Lone, F. R. (2022). Towards leveraging the role of machine learning and artificial intelligence in precision agriculture and smart farming. *Computers and Electronics in Agriculture*, 198, 107119.
- Singh, S., & Jain, P. (2022). Applications of artificial intelligence for the development of sustainable agriculture. In *Agro-biodiversity and Agri-ecosystem Management* (pp. 303-322). Springer.

- Sokolov, M., Dorodnykh, Y. L., & Marchenko, A. (2010). Healthy soil as a necessary condition of human life. *Eurasian Soil Science*, 43, 802-809.
- Sudarsan, B. (2015). *Assessment of soil properties using microscope based computer vision*. McGill University (Canada).
- Talaviya, T., Shah, D., Patel, N., Yagnik, H., & Shah, M. (2020). Implementation of artificial intelligence in agriculture for optimisation of irrigation and application of pesticides and herbicides. *Artificial Intelligence in Agriculture*, 4, 58-73.
- Taneja, P., Vasava, H. K., Daggupati, P., & Biswas, A. (2021). Multi-algorithm comparison to predict soil organic matter and soil moisture content from cell phone images. *Geoderma*, 385, 114863.
- Uddin, M. J., Sherrell, J., Emami, A., & Khaleghian, M. (2024). Application of Artificial Intelligence and Sensor Fusion for Soil Organic Matter Prediction. *Sensors*, 24(7), 2357.
- Umutoni, L., & Samadi, V. (2024). Application of machine learning approaches in supporting irrigation decision making: A review. *Agricultural Water Management*, 294, 108710.
- Usharani, K., Roopashree, K., & Naik, D. (2019). Role of soil physical, chemical and biological properties for soil health improvement and sustainable agriculture. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 8(5), 1256-1267.
- Valentine, T. A., Hallett, P. D., Binnie, K., Young, M. W., Squire, G. R., Hawes, C., & Bengough, A. G. (2012). Soil strength and macropore volume limit root elongation rates in many UK agricultural soils. *Annals of botany*, 110(2), 259-270.
- Velarde, M., Felker, P., & Gardiner, D. (2005). Influence of elemental sulfur, micronutrients, phosphorus, calcium, magnesium and potassium on growth of *Prosopis alba* on high pH soils in Argentina. *Journal of Arid Environments*, 62(4), 525-539.
- Wang, X. (2022). Managing land carrying capacity: Key to achieving sustainable production systems for food security. *Land*, 11(4), 484.
- Wilhelm, R. C., van Es, H. M., & Buckley, D. H. (2022). Predicting measures of soil health using the microbiome and supervised machine learning. *Soil Biology and Biochemistry*, 164, 108472.

- Yadav, P., Sharma, S., Tiwari, P., Dey, N., Ashour, A. S., & Nguyen, G. N. (2018). A modified hybrid structure for next generation super high speed communication using TDLTE and Wi-Max. *Internet of Things and Big Data Analytics Toward Next-Generation Intelligence*, 525-549.
- Yang, J.-L., & Zhang, G.-L. (2011). Water infiltration in urban soils and its effects on the quantity and quality of runoff. *Journal of soils and sediments*, 11, 751-761.
- Zhang, X., Yang, P., & Lu, B. (2024). Artificial intelligence in soil management: The new frontier of smart agriculture. *Advances in Resources Research*, 4(2), 231-251.
- Zuazo, V. H. D., Pleguezuelo, C. R. R., Flanagan, D., Tejero, I. G., & Fernández, J. L. M. (2011). Sustainable land use and agricultural soil. *Alternative Farming Systems, Biotechnology, Drought Stress and Ecological Fertilisation*, 107-192.

BÖLÜM 6

THE EFFECT OF SALINITY ON SOIL HEALTH

Dr. Emrah RAMAZANOĐLU¹

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.13774755>

¹ Department of Soil Science and Plant Nutrition. Agriculture Faculty of Harran University, Osmanbey Kampus, Sanliurfa / TURKEY. ORCID ID: 0000-0002-7921-5703, E-mail: ramazanoglu@harran.edu.tr

Introduction

Soil is an indispensable resource for the continuity of life. It plays vital roles in a wide range of functions, from plant production to ecosystem services, water cycling to climate regulation. However, natural processes and human activities have introduced various stress factors that threaten soil health. One of these factors, salinity, is a significant issue that endangers the productivity of millions of hectares of agricultural land worldwide and complicates sustainable farming practices. Soil salinity is one of the most critical environmental problems affecting the sustainability of agricultural production, especially in arid and semi-arid regions. Salinity not only reduces soil fertility but also leads to degradation throughout the entire ecosystem (Qadir et al., 2014). Understanding the impacts of salinity on soil health and managing and mitigating these effects is crucial for both environmental sustainability and food security.

Salinity typically occurs as a result of the accumulation of dissolved salts in the soil. This condition increases osmotic stress by making it difficult for plants to absorb water in the root zone. Osmotic stress causes water to exit plant cells, leading to the shrinkage of these cells, a slowdown in metabolic activities, and ultimately, the cessation of growth. Plants alter their metabolic processes to survive under these water-limiting conditions, but such adaptations are not always sufficient. Under high salinity conditions, plant cells may experience damage to their cell walls and membranes, leading to tissue damage and potentially plant death (Munns and Tester, 2008). Soil salinity restricts plant growth and productivity by causing osmotic stress that hampers water uptake, leading to nutrient imbalances and disruptions in vital physiological processes in plants (Shrivastava and Kumar, 2015).

The effects of soil salinity on soil health are a broad reaching process that impacts not only plant growth but also all components of the soil ecosystem. One of the most affected components is the soil's microbial communities. Saline conditions limit the life cycle and activity

of soil microorganisms. Research has shown that salinity has negative impacts on microbial communities in the soil, leading to significant consequences for soil health and plant development (San Miguel et al., 2012). A reduction in microbial diversity slows down the decomposition rate of organic matter, restricts the bioavailability of nutrients, and decreases the biological productivity of the soil. Notably, critical biochemical processes such as nitrification and the phosphorus cycle are suppressed by salinity, which in turn reduces the transport and availability of essential nutrients in the deeper layers of the soil (Celik et al., 2019a; Rath and Rousk, 2015).

The physical structure of soil is also negatively impacted by salinity. Saline soils can weaken the stability and structural integrity of the soil, leading to the disintegration of soil aggregates. Research indicates that salinity severely disrupts the stability of soil aggregates, which in turn reduces the soil's resistance to erosion (Rengasamy and Olsson, 1991). This reduction in erosion resistance leads to increased surface runoff and, consequently, higher water losses. Erosion is a process that threatens both soil fertility and environmental balance. The removal of the topsoil layer results in the loss of nutrients and a decrease in the accumulation of organic matter in the soil. The topsoil carried away by erosion can irreversibly damage fertile agricultural lands (Lal, 2001). Additionally, issues such as soil compaction and reduced permeability may arise. This results in insufficient root development, weaker root systems, and restricted access to water and nutrients for plants (Abrol et al., 1988).

The management strategies used to mitigate the effects of salinity on soil health are complex due to the multifaceted nature of the problem. One of the most common methods is the installation of proper drainage systems. Drainage can help remove salts from the soil profile, preventing the escalation of salinity. Research shows that the effective use of drainage systems plays a critical role in managing salinity problems, particularly those associated with irrigation (Ghassemi et al., 1995).

Additionally, the selection and cultivation of salt-tolerant plant species are vital for maintaining agricultural production in these challenging environmental conditions. The genetic resistance of plants to salinity plays a crucial role in long-term agricultural sustainability. Genetically engineered salt-tolerant plant species emerge as a promising solution for the continuity of agricultural production in saline soils (Munns and Tester, 2008). Organic matter applications can improve soil structure, reduce the negative effects of salinity, and support microbial activity. Furthermore, the use of soil conditioners, chemical amendments, and biological agents can alter the chemical forms of salts or make them less harmful to plants (Qadir et al., 2006).

In conclusion, salinity is a complex issue with profound and far-reaching effects on soil health. Understanding and managing the impacts of salinity is crucial for ensuring the sustainability of agricultural production systems and preserving environmental balance. In this context, scientific research and innovative agricultural practices will play a critical role in combating salinity. Mitigating the effects of salt accumulation on the biological, chemical, and physical components of soil is not only a strategic necessity for current generations but also for the future of agriculture and food security.

1. Soil Salinity and Sources

Soil Salinity

Salinity occurs in soil due to the accumulation of dissolved salts, particularly when basic cations (Na, K, Ca, and Mg) form compounds with chloride and sulfate ions, leading to soil salinization. These ionic compounds disrupt soil structure by reducing its water retention capacity and hindering water uptake by plants (Rengasamy, 2010). Saline soils induce osmotic stress in plants, making it difficult for roots to absorb water. High salt concentrations cause plant cells to lose water, leading to slowed growth, leaf burn, and potentially plant death (Figure 1).



Figure 1. Saline Soil in Harran Bozyazı Village (Ramazanoğlu, 2024)

The degree of salinity is typically measured by the soil's electrical conductivity (EC). As the EC value increases, the amount of salt in the soil rises; values above 4 dS/m classify the soil as saline, making it harmful for plant production. In soil salinity management, EC values are a critical indicator as they can directly affect plant growth (Richards, 1954). Particularly in arid and semi-arid regions, factors such as lack of drainage, improper irrigation practices, and high salt content in irrigation water can rapidly increase soil salinity. In such soils, the EC value of saturated paste exceeds 4 dS/m, the exchangeable sodium percentage is below 15%, and the soil pH is less than 8.5.

Sources of Soil Salinity

Natural Salinity

Parent Rock and Minerals: Natural salinity largely originates from the parent rock and minerals from which the soil is formed. Some rocks in the Earth's crust contain soluble salts, which gradually break down and mix with the soil over time. For example, marine origin rocks

or evaporite minerals can contain high levels of salt, and the weathering of these rocks can increase the natural salinity of the soil (Warren, 2016).

Precipitation and Drought: Precipitation levels and climatic conditions are also natural sources of salinity. In arid regions, high evaporation rates lead to salt accumulation on the soil surface. During periods of low rainfall, salts from groundwater can rise to the surface, contributing to soil salinization (Rengasamy, 2006).

Anthropogenic Salinity

Irrigation: One of the most common causes of anthropogenic salinity is irrigation practices (Figure 2). Irrigation water can accumulate in the soil profile, especially under poor drainage conditions, leading to increased salinity. Additionally, the quality of the water used for irrigation can impact salinity levels. Irrigating with saline water can cause the soil to become progressively more saline over time (Ghassemi et al., 1995).



Figure 2. Examples of Improper Irrigation Practices in the Harran Plain (Bahçeci, 2019)

Excessive Fertilizer Use: The heavy application of fertilizers, particularly nitrogen-based fertilizers, can increase soil salinity levels. The soluble salts in fertilizers accumulate in the soil, raising its electrical conductivity and causing osmotic stress in plant roots (Qadir et al., 2000a).

Industrial and Urban Waste: Improper management of industrial activities and urban waste can also contribute to increased salinity. Wastewater from factories or drainage from cities can raise the salinity levels of both soil and water. These wastes disrupt the natural ionic balance in the soil, contributing to salinization (Bhattacharya et al., 2002).

Groundwater and Seawater Intrusion: The rise of groundwater levels and seawater intrusion, particularly in coastal areas, is another significant factor that increases soil salinity. Seawater contains high amounts of dissolved salts, and when it mixes with groundwater sources in coastal regions, it can lead to soil salinization (Werner et al., 2012).

Agricultural and Livestock Activities

Overgrazing: In livestock farming, overgrazing reduces vegetation cover and leaves the surface soil unprotected. This increases wind and water erosion, which can lead to the accumulation of salts on the soil surface. In areas with intense grazing, salt buildup on the soil surface is often observed (Yirdaw et al., 2017).

Monoculture Farming: The practice of growing a single crop type (monoculture) and intensive agricultural practices can deplete the soil and lead to a loss of organic matter. This reduction in organic matter decreases the soil's water retention capacity, thereby contributing to increased salinity (Lal, 2004).

Understanding the sources and effects of salinity is crucial because it can have profound and lasting impacts on the physical and chemical properties of soil. Salinity can arise from natural processes as well as from human activities. Therefore, a thorough understanding of the sources and effects of salinity is essential for maintaining soil fertility and supporting sustainable agricultural practices.

2. Effects of Salinity on Soil Health

Salinity is a significant environmental stress factor that creates profound, comprehensive, and long-term effects on soil health. Soil health refers to the capacity of a soil ecosystem to function productively, sustainably, and in balance. This capacity can be evaluated across a wide range of factors, including the soil's physical structure, chemical composition, biological diversity, and microbial activity (Celik, 2019b). Healthy soil performs vital functions such as supporting plant growth, effectively storing water, and maintaining biological diversity. However, increased salinity disrupts these essential characteristics, significantly weakening the functions of the soil ecosystem.

High salt concentrations weaken the bonds between soil particles, leading to the deterioration of soil structure (Abrol et al., 1988). This structural degradation reduces the soil's water-holding capacity, leading to compaction and increased surface crusting (Qadir et al., 2000b). Salt accumulation disrupts the soil's pH balance, limiting the availability of essential nutrients for plants and causing the accumulation of toxic substances (Rhoades and Loveday, 1990).

From a biological perspective, salinity negatively affects the diversity and activity of soil microorganisms, slowing down the decomposition of organic matter and interrupting nutrient cycling (Eynard et al., 2005). This disruption limits root development in plants and significantly reduces plant productivity (Flowers and Yeo, 1995). The increase in salinity results in serious, long-term negative consequences not only for plant growth but also for overall ecosystem health and soil fertility (Abrol et al., 1988).

2.1. Chemical Effects

One of the most significant chemical effects of salinity on soil is its hindrance of plant access to essential nutrients. Saline soils typically contain high concentrations of ions such as sodium (Na^+) and chloride (Cl^-). These ions can displace vital nutrients like potassium (K^+), calcium

(Ca⁺²), and magnesium (Mg⁺²) in the soil solution, making it difficult for plants to absorb these necessary elements. This leads to nutrient deficiencies in plants, resulting in stunted growth and reduced yields (Grattan and Grieve, 1998).

Salinity also impacts the soil's pH balance. In soils with high concentrations of sodium ions, alkalization occurs, raising the pH levels. Elevated pH reduces the availability of micronutrients such as iron, zinc, and copper, which are crucial for plant health. These deficiencies can cause various physiological problems in plants. Additionally, changes in pH negatively affect microbial activities in the soil, further deteriorating soil health (Brady et al., 2008).

Another adverse effect of salinity is the accumulation of sodium and chloride ions in the soil. This salt buildup can damage plant cell walls and membranes, leading to cellular toxicity. These conditions create a stressful environment for plants, significantly impairing their growth and productivity. High salt concentrations also reduce the ability of plant roots to absorb water, causing osmotic stress, which further hinders plant growth and health (Munns, 2002).

2.2 Physical Effects

Salinity is a critical factor that directly impacts soil structure. High sodium content weakens the bonds between soil particles, leading to the breakdown of soil structure and resulting in dispersion. The dispersion process causes the disintegration of soil aggregates and weakens the soil's physical stability. As a consequence, issues such as soil compaction, reduced water permeability, and surface crusting arise. These structural deteriorations make it difficult for plant roots to penetrate deeper into the soil and hinder the retention of water within the soil (Sumner, 1993).

Saline soils experience a significant reduction in water-holding capacity, making plants more vulnerable to drought stress. The degradation of soil structural integrity prevents water from infiltrating

into deeper layers, leading to surface water accumulation. This increases surface runoff, elevating the risk of erosion and limiting the access of plant roots to water. Additionally, the reduction in water-holding capacity affects the rate at which the soil warms and cools, creating unfavorable microclimatic conditions for plant growth (Hillel, 2000).

The impact of salinity on soil structure significantly increases erosion risk. Salt accumulation on the surface causes soil aggregates to disintegrate, making the soil more susceptible to being carried away by wind or water. The weakened soil structure becomes vulnerable to rain and wind erosion, leading to the loss of fertile topsoil and a consequent reduction in soil productivity (Bidalia et al., 2019).

2.3. Biological Effects

Salinity exerts a suppressive effect on soil microorganisms, and as the salt content in the soil increases, microbial diversity and activity significantly decrease. This reduction slows down the decomposition of organic matter, disrupting nutrient cycling. The nitrification process, in particular, is severely affected in saline soils, leading to a disruption in the nitrogen cycle and reduced nitrogen uptake by plants. This decline in microbial activity negatively impacts the biological productivity and overall health of the soil (Yan et al., 2015).

Saline conditions also directly affect the accumulation of organic matter in the soil by reducing the rate at which it decomposes. Organic matter plays a crucial role in improving soil structure, increasing water retention capacity, and facilitating the transfer of nutrients to plants. However, salinity slows down this vital process, leading to a deficiency of organic matter in the soil, thereby weakening overall soil health (Wong et al., 2008).

Additionally, salinity has direct negative effects on plant roots. In saline environments, plant roots often experience growth and development issues, reducing their capacity to absorb water and nutrients. This leads to stunted plant growth and yield loss. High salt

concentrations can damage root cells, weakening the root system and making plants more vulnerable to drought and other environmental stress factors (Shrivastava and Kumar, 2015).

Prevention of Salinity

Preventing salinity is crucial not only for maintaining soil health but also for ensuring agricultural productivity and environmental sustainability. Strategies for salinity prevention generally involve long-term soil and water management practices.

Implementation of Proper Drainage Systems: One of the most effective methods for preventing salinity is the installation of well-designed drainage systems. These systems help remove excess water and dissolved salts from the soil profile, preventing salt accumulation and preserving soil structure. Without adequate drainage in agricultural areas, salinity can rapidly increase, significantly reducing soil fertility (Qadir et al., 2006).

Water Resource Management: The quality and quantity of irrigation water are critical factors in salinity management. Overuse of groundwater or the use of low-quality water for irrigation can trigger salinity problems. Therefore, regular monitoring of irrigation water quality and the preference for low-salt water sources are important. Additionally, conserving water and avoiding unnecessary irrigation are effective approaches to preventing soil salinity (Rhoades, 1999).

Soil Testing and Monitoring: Soil salinity can be detected and managed at early stages through regular soil testing and monitoring. Soil tests are essential for determining salt concentrations in the soil and implementing timely interventions. Regular monitoring is necessary to prevent salinity from increasing and to maintain soil health. This also allows agricultural activities to be planned more sustainably and efficiently (Rhoades et al., 1992).

Conservation Farming Practices: Erosion control, organic matter enhancement, and minimal tillage are key conservation farming practices that play a significant role in preventing salinity. These practices help maintain soil structure, increase water retention capacity, and sustain the microbial balance in the soil. Additionally, protecting vegetation cover on the soil surface helps prevent salt accumulation and protects the soil from erosion risks (Corwin and Lesch, 2005).

The management and prevention of salinity are essential strategic approaches for ensuring the sustainability of agricultural production and preserving soil health. Various practices, from appropriate irrigation and drainage techniques to the use of soil conditioners, the selection of salt-tolerant plant species, and the effective management of water resources, can be used to minimize the negative impacts of salinity. The successful implementation of these strategies is crucial for the continuity of existing agricultural production systems and for the sustainable use of soil resources by future generations (Chhabra, 2017).

Conclusion

Salinity is a global issue that threatens agricultural production and severely degrades soil health, especially in semi-arid and arid regions where factors such as improper irrigation practices, inadequate drainage systems, and climate change exacerbate the problem. This condition creates osmotic stress by hindering water and nutrient uptake in plants, disrupts soil structure, and negatively impacts soil biota, leading to reduced agricultural productivity. If salinity is not effectively managed, it can result in permanent losses of soil fertility, jeopardizing both economic and environmental sustainability. Strategies to mitigate the effects of salinity include effective irrigation and drainage management, the use of salt-tolerant plant species, the application of soil conditioners, and farmer education. However, the success of these strategies depends on their careful planning and implementation according to local conditions.

Recommendations

Development of Integrated Management Strategies: Given that no single solution is sufficient to combat salinity, it is essential to develop integrated management strategies. These strategies should encompass various areas, including water management, soil improvement, plant selection, and farmer education. Improving water management and drainage systems, in particular, plays a critical role in controlling salinity.

Development of Salt-Tolerant Crop Varieties: Research should focus on developing and promoting crop varieties that can yield high productivity in saline soils. Genetic engineering and biotechnology offer significant opportunities for creating salt-tolerant plants. These varieties are crucial for ensuring the continuity of agricultural production in saline soils.

Expansion of Education and Awareness Programs: Raising awareness among farmers about salinity prevention and management is a critical factor for the adoption of sustainable agricultural practices. Education programs tailored to local conditions should be organized, providing farmers with knowledge about salinity control techniques, appropriate irrigation methods, and plant selection.

Promotion of Research and Innovation: Scientific research and innovation should be encouraged to address the salinity problem. The development of new soil conditioners, the widespread adoption of modern irrigation technologies, and the application of biotechnological innovations in agriculture are essential for the long-term management of salinity. Research in this field should be supported through collaboration between the public and private sectors.

Strengthening Policy and Governance Frameworks: Strong policy and governance frameworks at both national and local levels are needed to combat salinity. These policies should promote sustainable

water and soil management practices, provide incentives and support programs for farmers, and develop emergency response plans and long-term strategies for areas at high risk of salinity.

Integration with Climate Change Mitigation: Climate change is a factor that can exacerbate salinity issues. Therefore, salinity management strategies should be integrated with climate change mitigation and adaptation strategies. Focus should be placed on the sustainable use of water resources, drought management, and climate resilience.

Enhancing Local and International Collaborations: Combating salinity requires cooperation at both local and international levels. Knowledge and experience sharing between different countries and regions should be encouraged, and joint projects and research initiatives should be promoted. International organizations should support salinity control programs and provide resources to address this issue on a global scale.

REFERENCES

- Abrol, I. P., Yadav, J. S. P., & Massoud, F. I. (1988). Salt-affected soils and their management. FAO Soils Bulletin No. 39. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Bahçeci, B. (2019). Harran ovasında sulama, drenaj ve toprak tuzluluğu etkileşimi. *Derim*, 36(2), 183-191.
- Bhattacharya, P., Frisbie, S. H., Smith, E., Naidu, R., Jacks, G., & Sarkar, B. (2002). Arsenic in the environment: A global perspective. In *Handbook of heavy metals in the environment* (pp. 147-215). Marcell Dekker Inc.
- Bidalia, A., Vikram, K., Yamal, G., Rao, K. S. (2019). Effect of salinity on soil nutrients and plant health. In *Salt Stress, Microbes, and Plant Interactions: Causes and Solution: Volume 1* (pp. 273-297).
- Brady, N. C., Weil, R. R., Weil, R. R. (2008). The nature and properties of soils (Vol. 13, pp. 662-710). Prentice Hall.
- Celik, A., Sakin, E., Yalcin, H., Dilekoglu, M. F., & Seyrek, A. (2019a). Carbon dynamics in salt-affected calcareous soils in SE Turkey. *Fresenius Environmental Bulletin*, 28(9), 6749-6756.
- Celik, A. (2019b). Comparing the microbial biomass carbon and nitrogen contents of tobacco growing soils with scanning electron microscopy and some soil parameters. *Journal of Environmental Protection and Ecology*, 20(2), 589-598.
- Chhabra, R. (2017). *Soil salinity and water quality*. Routledge.
- Corwin, D. L., Lesch, S. M. (2005). Apparent soil electrical conductivity measurements in agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, 46(1-3), 11-43.
- Eynard, A., Lal, R., & Wiebe, K. (2005). Crop response in salt-affected soils. *Journal of Sustainable Agriculture*, 27(1), 5-50.
- Flowers, T. J., & Yeo, A. R. (1995). Breeding for salinity resistance in crop plants: Where next? *Functional Plant Biology*, 22(6), 875-884.
- Ghassemi, F., Jakeman, A. J., & Nix, H. A. (1995). Salinisation of land and water resources: Human causes, extent, management and case studies (pp. xviii+-526).
- Grattan, S. R., & Grieve, C. M. (1998). Salinity–mineral nutrient relations in horticultural crops. *Scientia Horticulturae*, 78(1-4), 127-157.

- Hillel, D. (2000). Salinity management for sustainable irrigation: Integrating science, environment, and economics. World Bank Publications.
- Lal, R. (2001). Soil degradation by erosion. *Land Degradation & Development*, 12(6), 519-539.
- Lal, R. (2004). Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science*, 304(5677), 1623-1627.
- Machado, R. M. A., Serralheiro, R. P. (2017). Soil salinity: Effect on vegetable crop growth. Management practices to prevent and mitigate soil salinization. *Horticulturae*, 3(2), 30.
- Munns, R. (2002). Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, Cell & Environment*, 25(2), 239-250.
- Munns, R., & Tester, M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, 59(1), 651-681.
- Qadir, M., Ghafoor, A., & Murtaza, G. (2000a). Amelioration strategies for saline soils: A review. *Land Degradation & Development*, 11(6), 501-521.
- Qadir, M., Noble, A. D., Schubert, S., Thomas, R. J., & Arslan, A. (2006). Sodicity-induced land degradation and its sustainable management: Problems and prospects. *Land Degradation & Development*, 17(6), 661-676.
- Qadir, M., Quill rou, E., Nangia, V., Murtaza, G., Singh, M., Thomas, R. J., Noble, A. D. (2014, November). Economics of salt-induced land degradation and restoration. In *Natural Resources Forum* (Vol. 38, No. 4, pp. 282-295).
- Qadir, M., Steffens, D., Yan, F., & Schubert, S. (2000b). Sodium removal from a calcareous saline-sodic soil through leaching and plant uptake during phytoremediation. *Land Degradation & Development*, 11(4), 299-309.
- Rath, K. M., Rousk, J. (2015). Salt effects on the soil microbial decomposer community and their role in organic carbon cycling: A review. *Soil Biology and Biochemistry*, 81, 108-123.
- Rengasamy, P. (2006). World salinization with emphasis on Australia. *Journal of Experimental Botany*, 57(5), 1017-1023.
- Rengasamy, P. (2010). Soil processes affecting crop production in salt-affected soils. *Functional Plant Biology*, 37(7), 613-620.

- Rengasamy, P., Olsson, K. A. (1991). Sodicty and soil structure. *Soil Research*, 29(6), 935-952.
- Rhoades, J. D. (1999). Use of saline drainage water for irrigation. In *Agricultural Drainage* (pp. 615-657). Agronomy Monograph No. 38.
- Rhoades, J. D., & Loveday, J. (1990). Salinity in irrigated agriculture. In B. A. Stewart & D. R. Nielsen (Eds.), *Irrigation of agricultural crops* (pp. 1089-1142). American Society of Agronomy.
- Rhoades, J. D., Kandiah, A., & Mashali, A. M. (1992). The use of saline waters for crop production. *FAO Irrigation and Drainage Paper* 48.
- Richards, L. A. (Ed.). (1954). *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils* (No. 60). U.S. Government Printing Office.
- San Miguel, C., Giménez, D., Krogmann, U., & Yoon, S. W. (2012). Impact of land application of cranberry processing residuals, leaves and biosolids pellets on a sandy loam soil. *Applied Soil Ecology*, 53, 31-38.
- Shrivastava, P., Kumar, R. (2015). Soil salinity: A serious environmental issue and plant growth promoting bacteria as one of the tools for its alleviation. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 22(2), 123-131.
- Sumner, M. E. (1993). Sodic soils New perspectives. *Soil Research*, 31(6), 683-750.
- Warren, J. K. (2016). *Evaporites: A geological compendium*. Springer.
- Werner, A. D., Ward, J. D., Morgan, L. K., Simmons, C. T., Robinson, N. I., & Teubner, M. D. (2012). Vulnerability indicators of sea water intrusion. *Groundwater*, 50(1), 48-58.
- Wong, V. N., Dalal, R. C., & Greene, R. S. (2008). Salinity and sodicity effects on respiration and microbial biomass of soil. *Biology and Fertility of Soils*, 44, 943-953.
- Yan, N., Marschner, P., Cao, W., Zuo, C., & Qin, W. (2015). Influence of salinity and water content on soil microorganisms. *International Soil and Water Conservation Research*, 3(4), 316-323.
- Yirdaw, E., Tigabu, M., & Monge, A. (2017). Rehabilitation of degraded dryland ecosystems—Review. *Silva Fennica*, 51(1B).

CHAPTER 7

SEEDING MECHANISMS IN UNIVERSAL SOWING MACHINES

Assist. Prof. Dr. Aytaç MORALAR^{1*}
Prof. Dr. Birol KAYIŞOĞLU²

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.13774774>

¹*Tekirdağ Namık Kemal University, Çorlu Engineering Faculty, Department of Mechanical Engineering, Çorlu, Tekirdağ, Türkiye <https://orcid.org/0000-0002-3964-4909>

² Tekirdağ Namık Kemal University, Faculty of Agriculture, Department of Biosystem Engineering, Tekirdağ, Türkiye <https://orcid.org/0000-0002-2885-3174>

*Corresponding Author: amoralar@nku.edu.tr

Produced from PhD Thesis. Thesis title: Optimization of Planter Systems at Grain Sowing Machines, Supervisor: Prof.Dr. Birol Kayışoğlu

1.1. Introduction

The agricultural sector is one of the most important industries globally, forming the foundation of food production. In this context, the sowing process is one of the most critical stages of agricultural production and efficient land use. Universal grain sowing machines, which perform row planting and enable the sowing of seeds of various sizes, are widely used in agriculture. For these machines to operate efficiently, the seed metering systems that ensure seed placement and the transmission systems that provide movement to these metering devices must function properly. The metering system and the transmission system are considered as a whole and referred to as the seeding mechanism. Grain sowing machines and their seeding mechanisms are modern technologies that enhance the efficiency and effectiveness of the sowing process. In this study, the importance of these machines and systems, their areas of application, and their impact on efficiency are examined in detail.

Since the transition from manual sowing to mechanization, various seeding mechanisms have been used to achieve accurate sowing (Dursun & Dursun, 2000). Initially, stepwise transmission systems, which were difficult to adjust accurately, were employed. However, with advancements in technology, stepwise transmission systems in grain sowing machines have been replaced by stepless transmission systems. Among stepless transmission systems, the most commonly used are cam mechanism-based, oil-bath transmission systems, which allow for stepless speed adjustment and seeding rate calibration.

Design errors in transmission systems and operational malfunctions directly affect seed distribution uniformity along the rows. Poor seed distribution can lead to unnecessary seed use, reduced efficiency in cultivated areas, and, most importantly, the waste of energy and negative impacts on soil health.

This study provides an overview of seeding mechanisms used from the past to the present, with an emphasis on the importance of cam

mechanism-based transmission systems, which have become widely used today.

Increased grain yield is influenced by the use of sowing machines and techniques suitable for regional climate and soil conditions. The expectations from sowing machines are that they should place seeds at the desired rate, depth, and row spacing, with an even distribution in the soil (Altuntaş, 1994).

An important factor influencing yield is the living space available to each plant. For plants to grow healthily and mature, they need a habitat that provides sufficient water, light, temperature, air, and nutrients. The proper plant density is determined by the number of seeds sown per unit area, in other words, the seeding rate (Barut, 2006).

Due to the different growth requirements of plants, as well as variations in climate, soil conditions, and economic and social factors, various sowing methods have been developed. Sowing methods can generally be classified into three groups: broadcast sowing, row sowing, and direct (no-till) sowing (Özmerzi, 1996; Barut, 2006). Based on these different sowing methods, grain sowing machines can be classified into pneumatic sowing machines, mechanical sowing machines, trailed, and mounted sowing machines, depending on their operating mechanisms (Önal, 2006).

1.2. Universal Grain Sowing Machines

Grain sowing machines are agricultural equipment designed to plant seeds of various types and sizes at the desired depth and row spacing. Various types of row seeding machines have been developed, capable of planting all kinds of seeds, from small-grain forage crops such as wheat, barley, and oats to large-seed legumes. While these machines can also be used for planting other field crops like corn and sunflower, these crops are more commonly sown using pneumatic seed drills. These machines not only place seeds on the soil surface but also cover the soil, initiating the germination process.

Sowing machines are composed of various parts, including the seed hopper, seeding mechanism, seed tubes, furrow openers, press wheels, covering devices, transmission system, depth and seeding rate adjustment mechanism, frame, and wheels (Figure 1) (Mutaf, 1984; Ülger et al., 1996; Barut, 2006). The essential component for achieving precision adjustment and obtaining efficient results from the soil is the transmission system, which works in conjunction with the seeding mechanism.

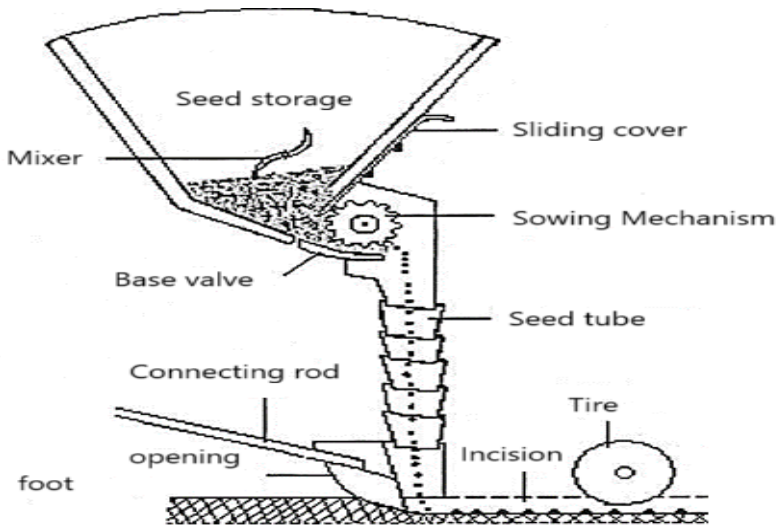


Figure 1. Symbolic representation of universal sowing machine units (Barut, 2006)

1.2.1. Seeding Mechanisms

Seeding mechanisms are systems designed to place seeds into the soil at specific intervals and patterns. These mechanisms work in tandem with sowing machines to enhance the precision of the sowing process. Throughout the development of sowing machines, various seeding mechanisms have been introduced. In modern agriculture, the most commonly used systems are continuous row sowing mechanisms, cluster sowing mechanisms, and single-seed sowing mechanisms (Barut, 2006). The movement of seeding mechanisms is powered by the sowing

machine's wheel, the tractor's power take-off shaft, or a separate motor. In practice, systems driven by the machine's wheel are most commonly used. Various types of transmission mechanisms are employed to provide variable speed settings for seeding systems. The transmission ratio between the machine's wheel and the seeder shaft is adjustable and is used for both seed and fertilizer dispensing mechanisms (Ülger et al., 1996; ASAE, 2001; Barut, 2006). These systems include:

1. Simple stepwise transmission system
2. Multi-step transmission system
 - a. Norton gear
 - b. Bevel gear
 - c. Planetary gear
3. Stepless speed-changing system
 - a. Cone pulley
 - b. Finger-type transmission systems

In the simple stepwise transmission system, a basic gear system is used to vary the transmission between the wheel and the seeder shaft in ratios such as $1/2$, $1/3$, or $1/5$ (Figure 2(a)). The gear (1) driven by the sowing machine's wheel transmits movement to the seeder shaft gear (6) through intermediate gears (2, 3, 4)

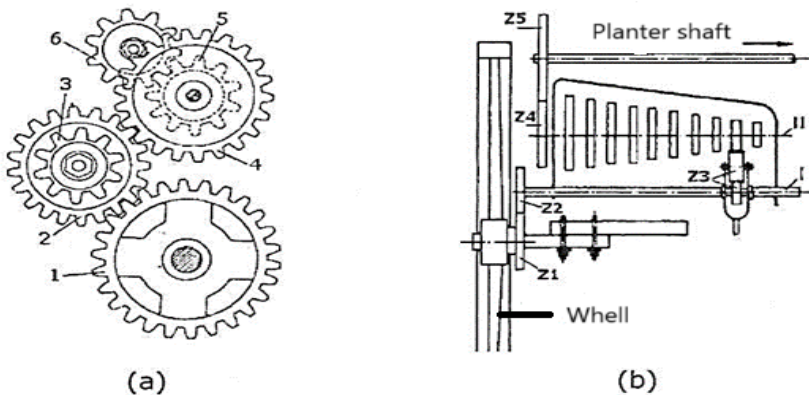


Figure 2. Simple stepwise (a) and Norton gear (b) transmission systems

In the Norton gear transmission system, the gear is placed between the seed hopper and the seeder shaft. While speed changes can be made using a single adjustment lever in simpler models, more advanced sowing machines typically use two adjustment levers to achieve a greater number of speed settings (Figure 2(b)). Motion is transferred from the wheel axle to the first shaft via an intermediate gear group ($Z1/Z2$). Another gear pair ($Z3$) on this shaft is then engaged with one of the gears on the second intermediate shaft (II), which has gears of varying diameters. The motion from the second intermediate shaft is transmitted to the seeder shaft through another gear pair ($Z4/Z5$). By using two or three gear groups on the first intermediate shaft, up to 30 speed levels can be achieved. In more advanced machines, this number can increase to 72 speed levels.

In sowing machines that use internally splined disc seeders, motion is transmitted through a bevel gear (Figure 3(a)). In this system, the rotation speed of the seeder shaft is adjusted using a multi-step bevel gear ($Z1$) located on the axle of the machine's wheel. Each step of the bevel gear functions as a separate gear. The sliding adjustment gear ($Z2$) on the square shaft is moved along the bevel gear and locked into one of the steps to provide the desired transmission ratio for the seeding rate. The motion is transmitted to the seeder shaft through a bevel gear pair ($Z3/Z4$) and a chain sprocket ($Z5/Z6$). This system typically uses a bevel gear with 12 different steps, and by adding a gear, up to 24 different transmission ratios can be obtained (Barut, 2006).

In planetary gear systems, the motion taken from the wheel axle is transferred to two clutch gears of different diameters through an intermediate gear and then to the planetary gears (Figure 3(b)). Each planetary gear consists of two gears of different diameters. The planetary gears rotate the sun gear, transmitting the motion to the seeder shaft. As shown in the figure, when the planetary gears are disengaged from the clutch gears, the transmission of motion from the wheel to the seeder shaft stops. In such a transmission system, four planetary gears, driven

by two clutch gears of different diameters, rotate the sun gear at eight (2x4) different speeds. Additionally, by changing the gears between the sun gear shaft and the seeder shaft, 16 different transmission ratios can be achieved (Ülger et al., 1996; Barut, 2006).

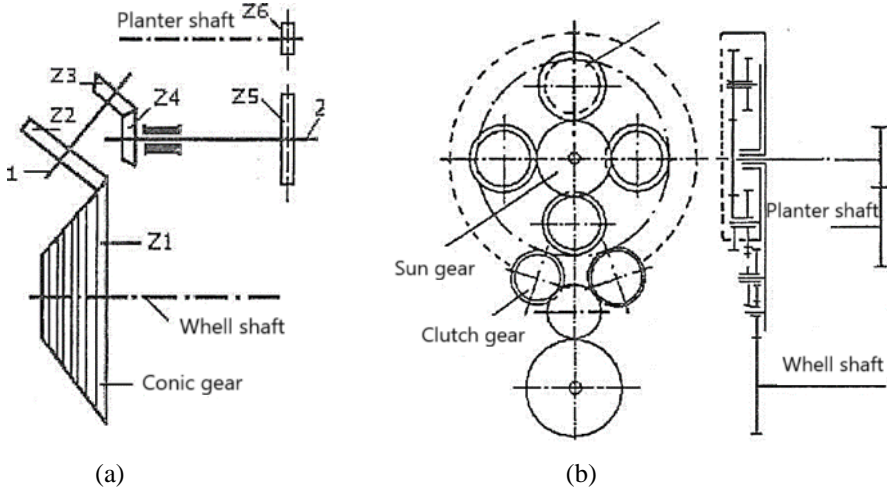


Figure 3. Cone Stepwise (a) and Planetary Gear (b) Transmission Systems

Although different rotational speeds can be achieved in advanced stepwise transmission systems, a step difference always occurs during speed transitions. These step differences prevent precise adjustment of the seeding rate, allowing only the closest available step to the desired seeding rate to be selected. To enable more precise adjustment of the seeding rate, stepless transmission systems have been developed.

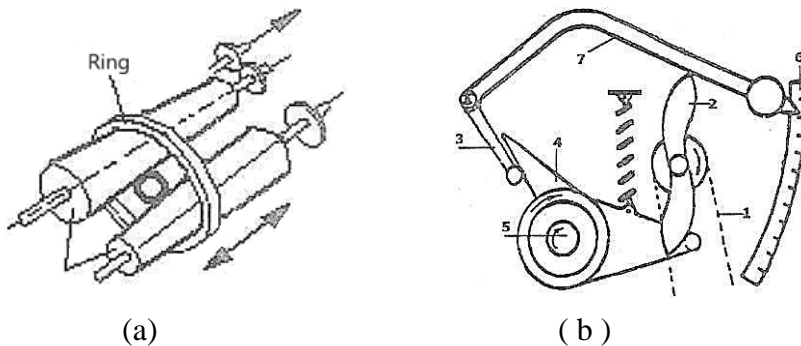


Figure 4. Conical pulley (a) and finger-type (b) transmission systems

A stepless speed-changing system with conical pulleys consists of two conical pulleys, a steel sleeve that can slide forward and backward on these pulleys, and a pulley between them (Figure 4(a)). Speed adjustment is made by changing the positions of the pulleys with an adjustment screw. The system, known as the finger-type transmission system, is easier to manufacture and use compared to other systems (Figure 4 (b)). It allows for seeding rate adjustments between 40 g/da and 58 g/da. The rotational movement from the wheel axle is transmitted to the seeder shaft through plastic pushers driven by a chain sprocket, and adjustable metal fingers. The stroke of the metal fingers is adjusted using an indicator-equipped adjustment lever. As the stroke range decreases, the seeder shaft rotates more slowly. Although stepless speed-changing systems allow for precise adjustment of the seeding rate, if maintenance is not meticulously performed, wear on frictional parts after short-term use can occasionally cause slippage, disrupting the seed quantity adjustment.

1.3. Technological Innovations in Seeding Mechanisms

Today, the most commonly used motion transmission and seeding rate adjustment system in sowing machines is the cam mechanism combined with a bath-lubricated transmission system, which operates similarly to the finger-type transmission system. These systems transfer motion from the machine's wheel to the seeder shaft without steps, allowing for smooth speed changes. Stepless speed changes enable precise adjustment of the seeding rate and the ability to dispense the desired amount of seed from the seeding mechanism.

Improper design of the cam profile can lead to disruptions in motion transmission. Additionally, since cams operate with continuous contact, friction and wear over time can cause system failures (Söylemez, 2007).

Moralari (2011) emphasized the importance of cam profile design in achieving smooth motion transmission in his study on the development of sowing machine transmission systems. The commonly

used cam profile is shown in Figure 4 and Figure 5 presents an alternative cam profile. Figures 6 and 7 illustrate the smoothness of motion transmission with various cam profiles.

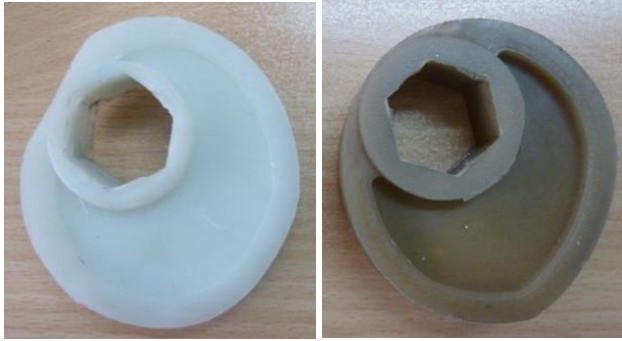


Figure 4. Profile of the old type cam **Figure 5.** Profile of the new type cam

The motion smoothness achieved by cams during a full rotation is shown in Figures 6 and 7. Both cam profiles provide the desired displacement amounts and rotational speeds; however, the older type cam exhibits a wavy motion during its peak point. In contrast, the newly developed cam profile demonstrates that the desired motion occurs linearly.

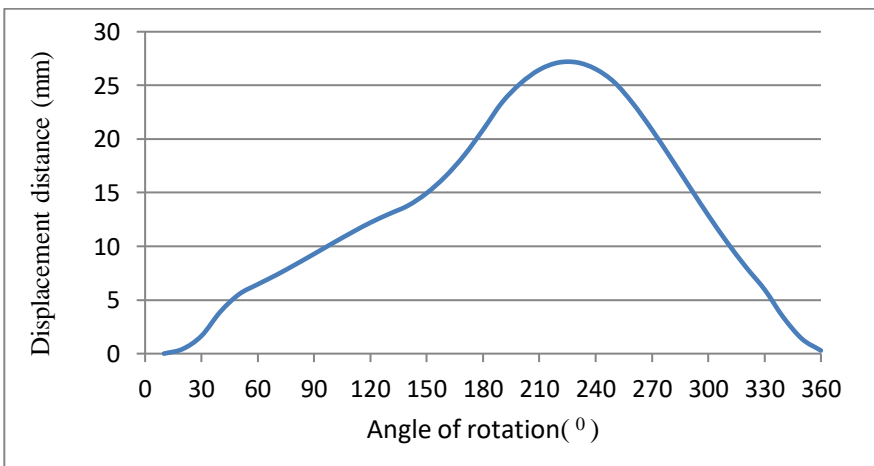


Figure 6. Motion graph of the old type cam

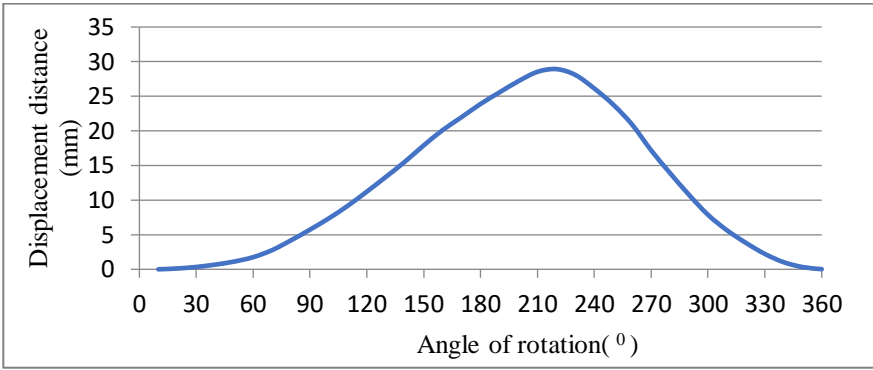


Figure 7. Motion graph of the new type cam

Additionally, two different cam mechanisms were operated at the standard test speed of 6 km/h for sowing machines. The study investigated how the motion transferred from the wheel is conveyed to the seed distribution shaft via the seeding mechanism (Figure 8).

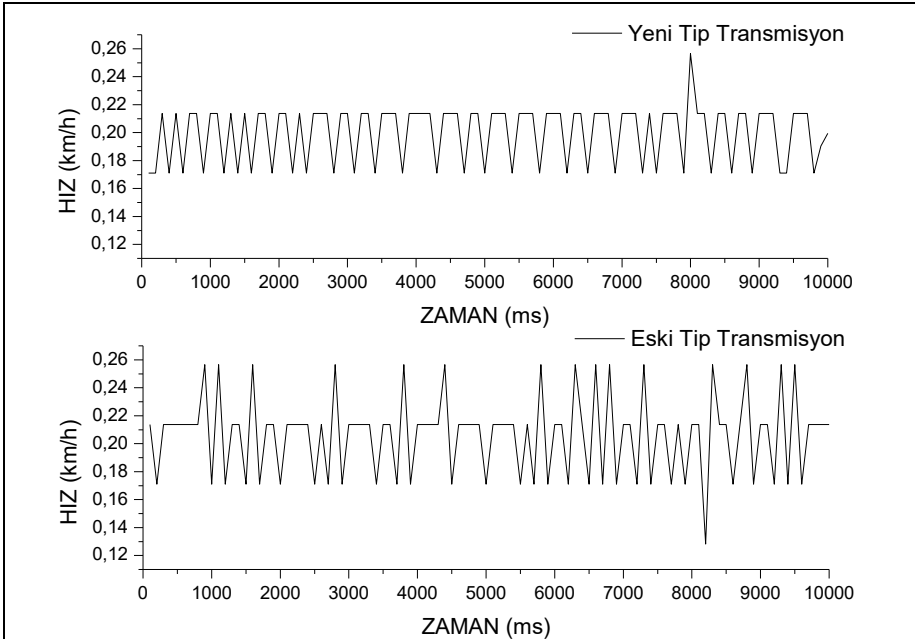


Figure 8. Comparison of Motion Transmission between Old and New Cam Profiles at a Forward Speed of 6 km/h

1.4. Conclusion

Seed drills and sowing mechanisms play a critical role in enhancing agricultural productivity. The proper use of these technologies enables farmers to achieve higher yields and profitability. As emphasized in the study, to obtain optimal yield from the soil, it is essential to use appropriate machinery. Although many sowing systems have been tested to date, the best results have been obtained from cam-operated oil-bath systems with stepless speed adjustments. The correct selection of the cam profile is crucial for the uninterrupted transmission of motion to the sowing shaft. As shown in the graphs provided in previous sections, the proper design of the cam profile ensures continuous movement to the sowing shaft. Consequently, the seeds dropped from the seed metering rollers can be sown at the desired row spacing and in an orderly manner.

In recent years, sowing systems equipped with GPS and sensor technologies have been developed. These technologies further increase efficiency by enhancing the accuracy of the sowing process.

Note: Produced from PhD Thesis. Thesis title: Optimization of Planter Systems at Grain Sowing Machines, Supervisor: Prof.Dr. Birol Kayışoğlu

REFERENCES

- Altuntaş, E., (1994). Çeşitli Tip Hububat Ekim Mibzerlerinin Dağılım Düzgünlükleri Üzerine Bir Araştırma. Yüksek Lisans Tezi, G.O.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Tokat (In Turkish).
- ASAE., (2001). ASAE S477, Terminology for Soil –Engaging Components for Conservation-Tillage Planters, Drills and Seeders. ASAE Standarts.
- Barut, Z., (2006). Ekim Makinaları. Tarım Makinaları 2, Editör Serdar ÖZTEKİN. Nobel Kitabevi. Syf: 55-110 (In Turkish).
- Dursun, İ., Dursun, E., (2000). Ekim Makinası Sıra Üzeri Tohum Dağılımının Görüntü İşleme Yöntemi ile Belirlenmesi. Tarım Bilimleri Dergisi, 6(4): 21-28 (In Turkish).
- Moralar, A., (2011). Optimization Of Planter Systems At Grain Sowing Machines (PhD Thesis) Tekirdağ Namık Kemal University, Institute of Science and Technology, Tekirdağ.
- Mutaf, E., (1984). Tarım Alet ve Makinaları I. Cilt. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No:218, İzmir (In Turkish).
- Önal, İ., (2006). Ekim, Bakım, Gübreleme Makinaları. (3. Baskı, Ders kitabı). E.Ü.Z.F. Yayınları No:490, Bornova-İzmir (In Turkish).
- Özmerzi, A., (1996). Bahçe bitkilerinin mekanizasyonu. Akdeniz Üniversitesi Basımevi., yayın No: 63, Syf 148, Antalya (In Turkish).
- Söylemez, E., (2007). Makine Teorisi I Mekanizma Tekniği. Birsen Yayınevi, S. 359-416, İstanbul (In Turkish).
- Ülger, P., Güzel, E., Akdemir, B., Kayışoğlu, B., Pınar, Y., Eker, B., Bayhan, Y., (1996). Tarım Makinaları İlkeleri. Fakülte Matbaası, İstanbul, s: 163-240 (In Turkish).

CHAPTER 8

USE OF BIOGAS DIGESTED SLURRY IN AGRICULTURE: BENEFITS AND RISKS

Dr. Volkan ATAV^{1*}

Assoc. Prof. Dr. Orhan YÜKSEL²

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.13774792>

*¹ Atatürk Soil Water and Agricultural Meteorology Research Institute, Plant Nutrition and Soil Department, Kırklareli Turkey. Orcid No: 0000-0003-2719-8398, volk.atav@gmail.com

²Tekirdag Namık Kemal University, Faculty of Agriculture, Soil Science and Plant Nutrition Department, Tekirdağ Turkey, Orcid No: 0000-0003-0679-8722, oyuksel@nku.edu.tr

*Corresponding Author: volk.atav@gmail.com

1. Introduction

1.1. Renewable Energy and Biogas Production

Today, a significant portion of the world's energy demand is met by unsustainable sources such as fossil fuels. This reliance leads to increasing environmental and economic problems. The combustion of fossil fuels releases carbon dioxide (CO₂) emissions, which contribute to serious environmental issues such as global warming and climate change, leaving long-lasting impacts on the future of our planet (Geisseler and Scow, 2014). In this context, interest in renewable energy sources has grown significantly in recent years. Renewable energy sources play a crucial role in promoting environmental sustainability and reducing dependency on fossil fuels.

Biogas stands out among these renewable energy sources as an environmentally friendly and sustainable alternative. Biogas is produced by the breakdown of organic waste by microorganisms in an oxygen-free environment (Figure 1). It mainly consists of methane (CH₄) and carbon dioxide (CO₂) gases (Barduca et al., 2021). This process, known as anaerobic fermentation, enables the production of biogas from animal waste, plant materials, and other organic waste (Insam et al., 2009).

Globally, China ranks first in the number of biogas plants, with 7 million facilities. India follows with 2.9 million plants. Approximately 49,500 plants exist in Nepal, 29,000 in Korea, and 23,000 in Brazil (Şirin, 2022). In Turkey, there are 95 plants across 32 cities (Anonim, 2023).

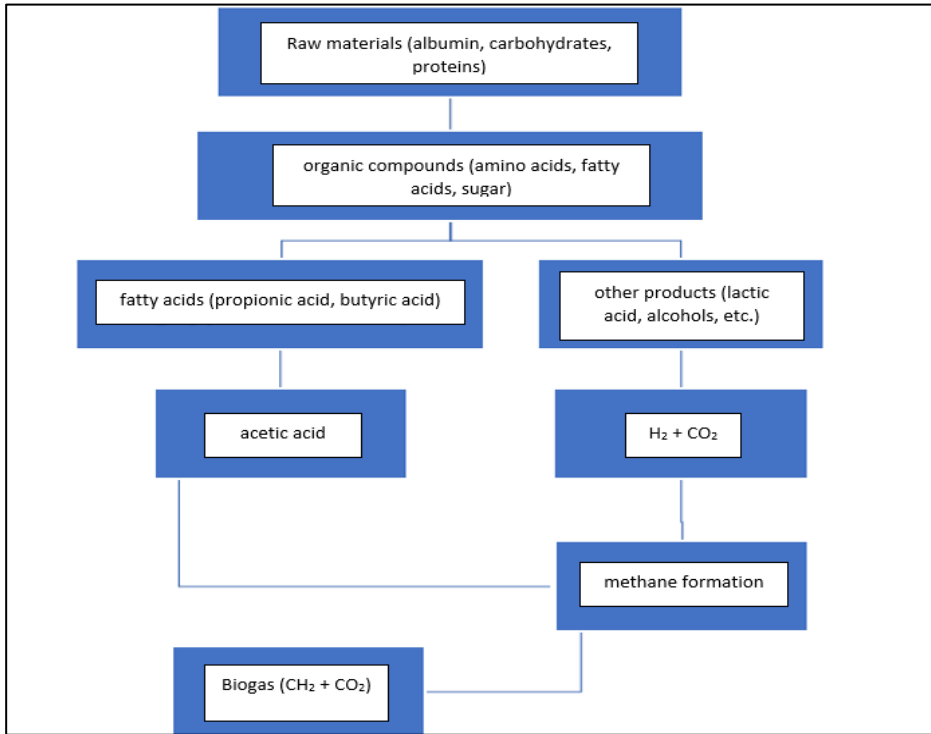


Figure 1. Stages of biogas production (Anonymous, 2022)

Biogas production can significantly reduce carbon dioxide emissions compared to fossil fuels. The methane gas released during this process is converted into energy before being directly released into the atmosphere, thus contributing to the reduction of greenhouse gas effects (Chookietwattana et al., 2016). Additionally, the energy produced in biogas plants (Figure 2) serves as an alternative to fossil fuels, reducing fossil fuel consumption and associated emissions, thereby supporting environmental sustainability (Yılmaz and Atalay, 2000).



Figure 2. Biogas plant (Anonymous 2024a)

Biogas energy holds great potential in terms of environmental benefits, economic contributions, and energy security. By offering a renewable alternative to the environmental problems caused by fossil fuels, it represents an important step towards a cleaner and greener future (Möller, 2015). For this reason, biogas production is critically important in the development of sustainable energy sources and the minimization of environmental impacts (Weiland, 2000).

1.2. The Role of Biogas in the Ecological Cycle and Sustainable Agriculture

The ecological cycle is a model that emphasizes minimizing waste, reusing resources, and prioritizing environmental sustainability. This model is based on transforming waste into valuable resources and reusing these resources. The biogas production process plays an important role in this model by converting organic waste into energy and digested slurry (Al Seadi et al., 2013). With the increasing number of biogas plants, the amount of waste materials from these facilities is also growing. One method of disposing of this waste is its use for agricultural purposes.

Digested slurry plays a crucial role in the ecological cycle. These products, obtained during biogas production, can be used as agricultural inputs, replacing chemical fertilizers, and enhancing soil fertility due to

their organic matter content (Ramezani et al., 2015). In this way, reusing waste reduces environmental impacts and creates economic value.

Sustainable agriculture is closely related to the ecological cycle and can be considered part of this cycle. Modern agricultural practices, aimed at high productivity to meet the rapidly growing food needs of the world population, have led to intensive agricultural activities. However, these intense activities, especially the excessive use of chemical fertilizers, have deteriorated the physical and chemical properties of the soil. The overuse of chemical fertilizers can alter soil pH levels, negatively affect microbial communities, and contribute to the pollution of water bodies (Geisseler and Scow, 2014; Marschner et al., 2003; Zhong et al., 2010). This results in a decrease in soil fertility and a reduction in agricultural productivity in the long term.

The use of digested slurry in agriculture supports sustainable farming practices and contributes to the ecological cycle. By enhancing soil biological activity, preventing erosion, and restoring disrupted nutrient balances, sustainable agriculture can provide both environmental and economic benefits (Aksakal, 2009; Yılmaz and Uysal, 2010). Additionally, converting waste into agricultural inputs helps reduce environmental pollution, thereby supporting sustainable agricultural practices (Warnars and Oppenoorth, 2014).

2. General Characteristics of Digested Slurry

2.1. Types of Raw Materials Used in Biogas Production

Biogas production is generally carried out through the anaerobic digestion of various organic materials. These materials include animal waste, plant residues, food waste, and other organic wastes. Animal waste is one of the most commonly used raw materials in biogas production. Specifically, manure from farm animals is frequently preferred due to its abundance and high organic matter content, which makes biogas production more efficient. Plant residues, such as corn silage, also serve as a significant resource for biogas production. Food

waste, sourced from both urban and industrial areas, contains rich organic matter that can be utilized for biogas production (Yaraşır et al., 2018).

The selection of raw materials for biogas production depends on the region where the facility is located and the availability of resources. For example, in regions with intensive agricultural production, plant residues and animal manure are commonly used, whereas food waste is more prevalent in biogas plants located near urban centers. The composition of these raw materials directly affects the biogas production process and the characteristics of the resulting products (Insam et al., 2015).

2.2. Types of Raw Materials Used in Biogas Production

During biogas production, a by-product known as digested slurry is produced at the end of the anaerobic digestion process. The characteristics of digested slurry vary depending on the type of raw material used and the conditions of the biogas production process. However, digested slurry generally contains essential nutrients required for plant growth, particularly nitrogen (N), phosphorus (P), and potassium (K). These nutrients are vital for the growth and development of plants. The high $\text{NH}_4^+\text{-N}$ content in digested liquid provides nitrogen in a form readily available to meet plants' nitrogen needs (Chookietwattana et al., 2016). Additionally, the organic compounds in digested liquid enhance biological activity in the soil, improving the bioavailability of nutrients (Insam et al., 2009).

Digested slurry is divided into two phases: solid and liquid (Table 1, Table 2). Digested solid contains a high amount of organic matter and is typically used as a soil conditioner (Möller, 2015). It has the potential to increase the carbon content of the soil and improve soil structure, making it a preferred option in organic farming. On the other hand, digested liquid is rich in plant nutrients (Xu et al., 2019) and, considering the risk factors discussed in section 5.3, can be used as agricultural fertilizer. The nitrogen in the liquid fraction, particularly in the $\text{NH}_4^+\text{-N}$

form, is rapidly absorbed by plants, making it a valuable nitrogen source for agricultural use (Tambone et al., 2017).

Table 1. Nutrient content of solid and liquid digested slurry for plants (Wenland, 2009)

	Total N (g kg ⁻¹)	NH ₄ ⁺ -N (g kg ⁻¹)	P ₂ O ₅ (g kg ⁻¹)	K ₂ O (g kg ⁻¹)
Solid fraction	5.8	2.7	5.0	5.8
Liquid fraction	4.9	3.0	2.3	6.2

Table 2. Some properties of the solid and liquid digested slurry (Panuccio et al., 2021)

	Total solid (%)	Organic Matter (g kg ⁻¹)	pH	EC (dS/m)	C/N
Solid fraction	22.0	769.0	8.7	1.46	10.9
Liquid fraction	8.0	632.0	7.7	23.2	1.8

The characteristics of the solid and liquid phases of the digested slurry (Figure 3) may vary depending on the feedstock used in the fermentation process at the facilities (Table 3).

Table 3. Some properties of the solid and liquid digested slurry from different plants (Tambone et al., 2017)

Plants		DM (g kg ⁻¹)	Inorganic N (g kg ⁻¹ DM)	NH ₄ ⁺ -N (g kg ⁻¹ DM)	P ₂ O ₅ (g kg ⁻¹)
1	Solid fraction	176	33.6	14.3	26.0
	Liquid fraction	35.9	119.0	82.9	26.1
2	Solid fraction	174.0	39.4	15.4	38.2
	Liquid fraction	46.6	124.0	84.1	28.9

DM: Dry matter



Figure 3. Solid and liquid fractions of the biogas digested slurry (Anonymous, 2024b)

3. Use of Digested Slurry in Agriculture

3.1. Types of Raw Materials Used in Biogas Production

The use of digested slurry (DS) in agriculture provides significant benefits for improving agricultural productivity and enhancing soil health. Particularly, the solid fraction of DS improves the physical properties of the soil, increasing its water retention capacity and supporting plant growth. The organic matter present in DS enhances soil aggregate stability, reducing water erosion and promoting root development, which contributes to maintaining soil fertility and ensuring the sustainability of agricultural production (Rousk et al., 2009). The application of DS not only reduces irrigation costs but also helps plants access water more easily during drought periods, leading to increased yields (Minogue et al., 2011).

The pH-regulating effect of DS improves the chemical properties of the soil. A DS with a high pH value can raise the pH level of acidic soils, improving root development and nutrient uptake (Ren et al., 2020). However, in some cases, a decrease in soil pH may be observed due to the presence of organic acids and ammonium ions in DS, which should be monitored closely (El-Khatib et al., 2018).

In addition to these benefits, DS contains essential nutrients such as nitrogen, phosphorus, and potassium, which support plant growth and development. For example, applications of DS can enhance photosynthetic efficiency, leading to higher yields. In a study conducted by Zhao et al. (2022), the use of DS significantly improved the root and shoot growth of rapeseed, resulting in higher yields. Du et al. (2019) found that increasing the dose of DS in corn trials led to a proportional increase in yield when compared to irrigation alone. The high $\text{NH}_4^+\text{-N}$ content in the liquid fraction of DS (Möller and Müller, 2012) is expected to have a positive impact on crop yield, similar to that of organic fertilizers (Arthurson, 2009; Odlare et al., 2008). Al-Juhaimi et al. (2014) reported that the application of liquid DS increased the height, branch count per square meter, and biomass yield of alfalfa compared to a control group.

However, there are potential risks associated with the use of DS. Excessive application can lead to soil salinity problems, which may negatively affect plant growth (Atav et al., 2023). Additionally, the accumulation of antibiotic residues and heavy metals in the soil from DS can pose environmental hazards (Spielmeyer et al., 2017). Therefore, detailed analysis and careful management of DS applications are essential before use.

3.2. Application Methods and Strategies

The effective use of DS in agriculture depends on selecting the appropriate application methods. These methods vary depending on the form of the product, soil structure, climate conditions, and plant species. DS can be applied directly to the soil (Figure 4), used after composting and stabilization processes, or integrated into irrigation systems.

Direct application of DS allows for the rapid delivery of essential nutrients such as nitrogen, phosphorus, and potassium to plant root zones. DS increases soil water retention capacity, ensuring that plants receive the necessary nutrients for growth. In this method, it is essential to ensure even distribution and uniform application across the soil

surface. When integrated with irrigation systems, DS can be more effectively dispersed throughout the soil (Bachmann et al., 2014).

Composting DS can enhance its agricultural value while reducing environmental risks. Composting increases the organic matter content of DS and supports microbial activity. The stabilization process helps break down or immobilize potential contaminants in DS, minimizing environmental risks (Chookietwattana et al., 2016; Ren et al., 2020).

The integration of DS with irrigation systems ensures the efficient delivery of nutrients to plant root zones. This method facilitates the application of DS along with water, ensuring better distribution, water conservation, and optimized agricultural productivity. Especially in arid regions, this method improves soil moisture levels, supports plant growth, and contributes to sustainable agricultural practices (Minogue et al., 2011; Yaraşır et al., 2018).



Figure 4. Methods of Applying Digested Slurry to Soil (a, b: Atav, 2023) (c: Anonymous, 2024c)

3.3. Environmental Risks and Management

While DS offers numerous agricultural benefits, it also presents environmental risks that must be carefully managed. These risks include salinity, antibiotic residues, heavy metal contamination, nitrate leaching, and greenhouse gas emissions.

One of the most significant environmental risks of DS is antibiotic residues. DS derived from animal waste often contains antibiotic residues, which can lead to the development of antibiotic resistance in soil microbiota (Spielmeyer et al., 2017; Martinez, 2009). Furthermore, the accumulation of heavy metals is a serious concern. Depending on the feedstock used, DS can introduce heavy metals into the soil, with saturated conditions potentially exacerbating these effects (Jia et al., 2013). To mitigate such risks, DS should comply with environmental standards, and detailed analyses should be conducted before application.

DS can support soil health by increasing microbial biomass, but its high ammonium and salinity content may also negatively impact microbial activity (Atav et al., 2024). While DS is known to stimulate microbial activity by increasing soil CO₂ respiration, this effect may vary depending on the digestion type and soil conditions (Chen et al., 2012). Understanding how DS affects soil microbial community structure and activity is crucial for managing its environmental impacts (Barduca et al., 2021).

Nitrate leaching and greenhouse gas emissions are other significant environmental risks associated with DS application. The high inorganic nitrogen content of DS can lead to nitrate leaching into groundwater during rainy seasons, contaminating drinking water sources (Knight et al., 2000). Additionally, DS applications can increase nitrous oxide (N₂O) emissions due to enhanced microbial denitrification of organic carbon substrates in the soil (Robertson and Groffman, 2007; Köster et al., 2011). Proper management and optimization of DS application techniques are necessary to minimize these environmental risks (Piccoli et al., 2022).

4. Conclusion

The use of digested slurry (DS) in agriculture holds great potential for increasing soil fertility, supporting plant growth, and promoting environmental sustainability. However, realizing this potential requires careful management of environmental risks and potential negative effects. DS offers a natural alternative to chemical fertilizers due to its nutrient-rich content and soil-improving properties. Nonetheless, controlling potential contaminants such as antibiotic residues, heavy metals, and organic toxic compounds is critical to ensuring the safe and sustainable use of DS.

DS can reduce chemical fertilizer use, improve soil health, and recycle organic waste, offering numerous advantages. However, the high salinity and ammonium content of DS can pose risks to soil and plant health. Therefore, comprehensive analyses should be conducted before its application, and appropriate strategies should be developed considering environmental impacts.

Long-term studies would be beneficial to better understand the agricultural and environmental effects of DS. Future research should examine the impacts of DS on different soil types and under varying climate conditions. Additionally, further investigations into the long-term effects of DS on soil microbial activity, CO₂ respiration, and plant growth are essential. More studies on managing antibiotic residues and organic toxic compounds are also needed to develop strategies that minimize these environmental risks. In conclusion, DS's role in sustainable agricultural practices can be further enhanced, and its usage can be optimized with a strategy that minimizes environmental impacts.

REFERENCES

- Aksakal, E. L. (2009). The effects of polymer (PVA&PAM) and humic acid (HA) applications on the stability criteria of soils exposed to freezing-thawing processes (PhD Thesis). Atatürk University, Institute of Science, Erzurum.
- Al Seadi, T., Drosch, B., Fuchs, W., Rutz, D. and Janssen, R. (2013). Biogas digestate quality and utilization. In *The biogas handbook* (pp. 267-301). Woodhead Publishing.
- Al-Juhaimi, F. Y., Hamad, S. H., Al-Ahaideb, I. S., Al-Otaibi, M. M. and El-Garawany, M. M. (2014). Effects of fertilization with liquid extracts of biogas residues on the growth and forage yield of alfalfa (*Medicago sativa* L.) under arid zone conditions. *Pakistan Journal of Botany*, 46(2), 471-475.
- Anonymous (2022). Biogas production. Accessed from: <https://www.altacaenerji.com/biyogaz/uretim/> (Accessed on 20.08.2022).
- Anonymous (2023). Biogas YEKDEM list. Accessed from: <https://www.biyogazder.org/biyogaz-tesisleri/> (Accessed on 15.02.2023).
- Anonymous (2024a). Accessed from: <https://www.piagrid.com/rehber/biyokutle-enerjisi> (Accessed on 02.02.2024).
- Anonymous (2024b). Accessed from: <https://fertilizer-machinery.com/solution/biogas-slurry-fertilizer-production-solut.html> (Accessed on 05.03.2024).
- Anonymous (2024c). Accessed from: <https://doyleag.com.au/portfolio-items/ibf3001-ibr3001-liquid-waste-soil-injector/> (Accessed on 10.04.2024).
- Arthurson, V. (2009). Closing the global energy and nutrient cycles through application of biogas residue to agricultural land—potential benefits and drawbacks. *Energies*, 2(2), 226-242.
- Atav, V. (2023). The effect of liquid fermented biogas digestate on soil properties and maize yield (PhD Thesis). Namık Kemal University, Institute of Science, Tekirdağ.

- Atav, V., Yüksel, O. and Namlı, A. (2023). Effects of biogas digested liquid on some soil properties. V. International Agricultural, Biological & Life Science Conference, 4(8), 643-650.
- Atav, V., Yüksel, O. Namlı, A., and Gürbüz, M. A. (2024). Biogas liquid digestate application: Influence on soil microbial biomass and CO₂ respiration. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 1-10.
- Bachmann, S., Gropp, M. and Eichler-Löbermann, B. (2014). Phosphorus availability and soil microbial activity in a 3-year field experiment amended with digested dairy slurry. *Biomass and Bioenergy*, 70, 429-439.
- Barduca, L., Wentzel, S., Schmidt, R., Malagoli, M. and Joergensen, R. G. (2021). Mineralisation of distinct biogas digestate qualities directly after application to soil. *Biology and Fertility of Soils*, 57(2), 235-243.
- Bolan, N. S., Khan, M. A., Donaldson, J., Adriano, D. C. and Matthew, C. (2003). Distribution and bioavailability of copper in farm effluent. *Science of the Total Environment*, 309(1-3), 225-236.
- Chantigny, M. H., Angers, D. A., Bélanger, G., Rochette, P., Eriksen-Hamel, N., Bittman, S. and Gasser, M. O. (2008). Yield and nutrient export of grain corn fertilized with raw and treated liquid swine manure. *Agronomy Journal*, 100(5), 1303-1309.
- Chen, R., Blagodatskaya, E., Senbayram, M., Blagodatsky, S., Myachina, O., Dittert, K. and Kuzyakov, Y. (2012). Decomposition of biogas residues in soil and their effects on microbial growth kinetics and enzyme activities. *Biomass and Bioenergy*, 45, 221-229.
- Chookietwattana, K., Chumpol, J. and Sumphanwanich, P. (2016). Liquid fermented organic products: A potential alternative for chemical fertilizer and soil amendments. In *Liquid Organic Fertilizer* (pp. 79-100). Springer.
- Du, H., Gao, W., Li, J., Shen, S., Wang, F., Fu, L. and Zhang, K. (2019). Effects of digested biogas slurry application mixed with irrigation water on nitrate leaching during wheat-maize rotation in the North China Plain. *Agricultural Water Management*, 213, 882-893.
- El-Khatib, A. A., Al-Muhtaseb, A. H., Al-Makhadmeh, L. A. and Abu-Nameh, E. S. (2018). Impact of liquid fermented organic waste on soil

- characteristics, plant growth, and yield. *Journal of Plant Nutrition*, 41(4), 499-508.
- Fransman, B. and Nihlgård, B. (1995). Water chemistry in forested catchments after topsoil treatment with liming agents in South Sweden. *Water, Air, and Soil Pollution*, 85(2), 895-900.
- Geisseler, D. and Scow, K. M. (2014). Long-term effects of mineral fertilizers on soil microorganisms—A review. *Soil Biology and Biochemistry*, 75, 54-63.
- Insam, H., Franke-Whittle, I. H., Knapp, B. A. and Plank, R. (2009). Use of wood ash and anaerobic sludge for grassland fertilization: Effects on plants and microbes. *Die Bodenkultur*, 60(2), 39-50.
- Insam, H., Gómez-Brandón, M. and Ascher, J. (2015). Manure-based biogas fermentation residues—Friend or foe of soil fertility? *Soil Biology and Biochemistry*, 84, 1-14.
- Jia, Y., Sun, G. X., Huang, H. and Zhu, Y. G. (2013). Biogas slurry application elevated arsenic accumulation in rice plant through increased arsenic release and methylation in paddy soil. *Plant and Soil*, 365(1), 387-396.
- Juárez, M. F. D., Mostbauer, P., Knapp, A., Müller, W., Tertsch, S., Bockreis, A. and Insam, H. (2018). Biogas purification with biomass ash. *Waste Management*, 71, 224-232.
- Knight, R. L., Payne Jr, V. W., Borer, R. E., Clarke Jr, R. A. and Pries, J. H. (2000). Constructed wetlands for livestock wastewater management. *Ecological Engineering*, 15(1-2), 41-55.
- Köster, J. R., Cárdenas, L., Senbayram, M., Bol, R., Well, R., Butler, M. and Dittert, K. (2011). Rapid shift from denitrification to nitrification in soil after biogas residue application as indicated by nitrous oxide isotopomers. *Soil Biology and Biochemistry*, 43(8), 1671-1677.
- Martinez, J. L. (2009). Environmental pollution by antibiotics and by antibiotic resistance determinants. *Environmental Pollution*, 157(11), 2893-2902.
- Minogue, D., French, P., Bolger, T. and Murphy, P. (2011). The fertiliser potential of dairy soiled water in temperate grasslands. In *Agricultural Research Forum*.
- Möller, K. (2015). Effects of anaerobic digestion on soil carbon and nitrogen turnover, N emissions, and soil biological activity. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 35(3), 1021-1041.

- Odlare, M., Pell, M. and Svensson, K. (2008). Changes in soil chemical and microbiological properties during 4 years of application of various organic residues. *Waste Management*, 28(7), 1246-1253.
- Panuccio, M. R., Romeo, F., Mallamaci, C. and Muscolo, A. (2021). Digestate application on two different soils: Agricultural benefit and risk. *Waste and Biomass Valorization*, 12, 4341-4353.
- Piccoli, I., Francioso, O., Camarotto, C., Delle Vedove, G., Lazzaro, B., Giandon, P. and Morari, F. (2022). Assessment of the short-term impact of anaerobic digestate on soil C stock and CO₂ emissions in shallow water table conditions. *Agronomy*, 12(2), 504.
- Ramezani, A., Dahlin, A. S., Campbell, C. D., Hillier, S. and Öborn, I. (2015). Assessing biogas digestate, pot ale, wood ash and rockdust as soil amendments: Effects on soil chemistry and microbial community composition. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B—Soil & Plant Science*, 65(5), 383-399.
- Ren, T., Yu, X., Liao, J., Du, Y., Zhu, Y., Jin, L. and Ruan, H. (2020). Application of biogas slurry rather than biochar increases soil microbial functional gene signal intensity and diversity in a poplar plantation. *Soil Biology and Biochemistry*, 146, 107825.
- Robertson, G. P. and Groffman, P. M. (2007). Nitrogen transformations. In *Soil Microbiology, Ecology and Biochemistry* (pp. 341-364). Academic Press.
- Rousk, J., Brookes, P. C. and Bååth, E. (2009). Contrasting soil pH effects on fungal and bacterial growth suggest functional redundancy in carbon mineralization. *Applied and Environmental Microbiology*, 75(6), 1589-1596.
- Spielmeier, A., Stahl, F., Petri, M., Zerr, W., Brunn, H. and Hamscher, G. (2017). Transformation of sulfonamides and tetracyclines during anaerobic fermentation of liquid manure. *Journal of Environmental Quality*, 46(1), 160-168. <https://doi.org/10.2134/jeq2016.04.0152>.
- Şirin, E. (2022). Investigation of the effect of the slurry released during bioethanol production from sugar beet on biogas production (Master's Thesis). Necmettin Erbakan University, Institute of Science, Department of Energy Systems Engineering, Konya.

- Tambone, F., Orzi, V., D'Imporzano, G. and Adani, F. (2017). Solid and liquid fractionation of digestate: Mass balance, chemical characterization, and agronomic and environmental value. *Bioresource Technology*, 243, 1251-1256.
- Urta, J., Alkorta, I. and Garbisu, C. (2019). Potential benefits and risks for soil health derived from the use of organic amendments in agriculture. *Agronomy*, 9(9), 542.
- Warnars, L. and Oppenoorth, H. (2014). Bioslurry: A supreme fertilizer. A study on bioslurry results and uses. Hivos. Available online at https://www.hivos.org/sites/default/files/bioslurry_book.pdf.
- Weiland, P. (2000). Anaerobic waste digestion in Germany—Status and recent developments. *Biodegradation*, 11(6), 415-421.
- Wendland, M. (2009). Biogas digestate: Use of digestate from biogas production as fertilizer. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Germany.
- Xu, M., Xian, Y., Wu, J., Gu, Y., Yang, G., Zhang, X. and Li, L. (2019). Effect of biogas slurry addition on soil properties, yields, and bacterial composition in the rice-rape rotation ecosystem over 3 years. *Journal of Soils and Sediments*, 19(5), 2534-2542.
- Yaraşır, N., Ereku, O. and Yiğit, A. (2018). The effects of different doses of liquid biogas fermentation waste on yield and quality of bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Adnan Menderes University Faculty of Agriculture*, 15(2), 9-16.
- Yılmaz, A. H. and Atalay, F. S. (2000). Modeling studies on anaerobic fermentation of solid waste. In *Proceedings of the 4th National Chemical Engineering Congress*, pp. 77-81, İzmir.
- Yılmaz, G. and Uysal, H. (2010). Effects of PVA and PAM applications on surface runoff and soil loss. *Journal of Ege University Faculty of Agriculture*, 47(2), 191-199.
- Zhao, Q., Cheng, J., Zhang, T., Cai, Y., Sun, F., Li, X. and Zhang, C. (2022). Biogas slurry increases the reproductive growth of oilseed rape by decreasing root exudation rates at bolting and flowering stages. *Plant and Soil*, 1-16.

Zhong, W., Gu, T., Wang, W., Zhang, B., Lin, X., Huang, Q. and Shen, W. (2010). The effects of mineral fertilizer and organic manure on soil microbial community and diversity. *Plant and Soil*, 326(1), 511-522.

BÖLÜM 9

THE EFFECT OF CADMIUM POLLUTION ON SOIL HEALTH

Dr. Emrah RAMAZANOĞLU¹

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.13774811>

¹ Department of Soil Science and Plant Nutrition. Agriculture Faculty of Harran University, Osmanbey Kampus, Sanliurfa / TURKEY. ORCID ID: 0000-0002-7921-5703, E-mail: ramazanoglu@harran.edu.tr

INTRODUCTION

Human activities and industrial processes have significantly contributed to global soil contamination by heavy metals, which poses risks to both ecosystems and human health (Chen et al., 2015). Common heavy metals found in soils include chromium, mercury, cadmium, lead, copper, and nickel (Alvarez et al., 2017; Tang et al., 2020). Although certain heavy metals are toxic at high concentrations, they are also essential in trace amounts for plant development. These metals play crucial roles in plant metabolism by facilitating enzymatic activity, improving conductivity, and ensuring cation balance (Stohs et al., 1995).

However, when heavy metals exceed required concentrations, they become harmful to plants and can negatively impact agricultural productivity and human health. Essential heavy metals such as molybdenum (Mo), manganese (Mn), copper (Cu), nickel (Ni), iron (Fe), and zinc (Zn) are necessary for proper plant growth, and their deficiency can lead to poor yields and health issues. On the other hand, non-essential metals like cadmium (Cd), nickel (Ni), arsenic (As), mercury (Hg), and lead (Pb) are toxic even at low concentrations and persist in the environment due to their inability to degrade or decompose naturally. Human activities such as industrial, agricultural, domestic, medical, and technological processes, combined with natural factors like volcanic eruptions and rock weathering, contribute to the release of these metals into ecosystems (Guidotti et al., 2008).

Heavy metal contamination significantly hampers plant growth and development, affecting processes from seed germination to overall productivity. These metals can disrupt plants' physiological, biochemical, and genetic functions (Guidotti et al., 2008). Several factors, including atmospheric deposition, improper waste disposal, irrigation with polluted water, and excessive fertilizer use, play a role in the accumulation of heavy metals in soils (Palansooriya et al., 2020; Khan et al., 2021).

Soil is vital for sustaining primary productivity, regulating nutrient cycles, and maintaining terrestrial ecosystem health (Doran et al., 1997; Haberern, 1992). However, the accumulation of toxic elements, particularly heavy metals, can degrade ecosystem health by adversely affecting soil microbial communities. Heavy metals can negatively impact the activities of various enzymes that regulate important biochemical processes in the soil, thereby degrading soil health and fertility. Arylsulfatase plays a key role in the sulfur cycle, β -glucosidase in the carbon cycle, phosphatases (acid and alkaline) in the phosphorus cycle, and protease and urease in the nitrogen cycle. Additionally, cellulase is crucial for the decomposition of organic matter and cellulose breakdown. Heavy metal contamination inhibits the activity of these enzymes, disrupting sulfur, carbon, phosphorus, and nitrogen cycles, which limits nutrient uptake by plants. Furthermore, the inhibition of enzymes like dehydrogenase and invertase weakens microbial activities, negatively affecting soil biological processes and overall fertility (Efron et al., 2004; Kunito et al., 2001).

The degree of heavy metal impact on these enzymes is influenced by specific soil characteristics, with research showing that the response to heavy metal contamination varies depending on soil properties (Doelman and Haanstra, 1986). Globally, soil contamination with heavy metals is a growing environmental issue, threatening crop productivity (Abdu et al., 2017).

Limit Values for Heavy Metals in Soil

The permissible limits for heavy metals in soils are derived from reference values established by the World Health Organization (WHO). These values serve as benchmarks for environmental policies and regulations in many countries and regions (Figure 1). However, they can vary depending on the soil characteristics of different regions. In Turkey, for example, the Ministry of Environment adjusts the heavy metal limit values according to soil pH levels. Because acidic soils ($\text{pH} < 6$) are more

prone to dissolving heavy metals, stricter limits are applied (Figure 1). In contrast, the limits for alkaline soils (pH > 6) are higher due to the reduced solubility of metals in such conditions. This variation highlights the significance of local regulations in addressing the risks of heavy metal contamination based on soil properties (Figure 1).



Figure 1. Limit Values of Heavy Metals in Soil (mg kg⁻¹)

Sources of Heavy Metal Pollution

Heavy metals enter agricultural ecosystems through both natural processes and human activities, with research indicating that human activities contribute more significantly to heavy metal pollution than natural sources (Dixit et al., 2015). The primary origin of heavy metals in soils is the rock material they derive from. Approximately 95% of the Earth's crust is composed of igneous rocks, while the remaining 5% consists of sedimentary rocks (Sarwar et al., 2017). Basaltic igneous rocks are known to contain heavy metals like copper (Cu), cadmium (Cd), nickel (Ni), and cobalt (Co), whereas schists are abundant in lead (Pb), copper (Cu), zinc (Zn), manganese (Mn), and cadmium (Cd). These metals may enter the soil through various natural processes, such as meteoritic, biogenic, and terrestrial activities, volcanic eruptions, as well as through erosion, underground seepage, and wind action on the surface (Muradoglu et al., 2015).

Human activities have significantly altered the natural geochemical cycle, resulting in the accumulation of heavy metals in soils

(Dixit et al., 2015). The expansion of agriculture, industrial growth, and urbanization are key drivers of this contamination. Heavy metal pollution arises from various anthropogenic activities that contribute to the accumulation of toxic metals in the environment, posing a risk to both ecological and human health. One of the major contributors is mining and metal processing, where metals such as cadmium, lead, mercury, and arsenic are released into the surrounding soil and water bodies. These activities often lead to the contamination of large areas, especially in regions where mining operations are extensive and regulations are poorly enforced (Chen et al., 2015).

Another significant source is the burning and refining of fossil fuels, particularly coal and oil, which releases heavy metals like mercury and lead into the atmosphere. These metals eventually settle into the soil and water systems, leading to long-term environmental contamination. Fossil fuel combustion in power plants, industries, and vehicles is a major source of airborne heavy metal pollution (Muradoglu et al., 2015).

Improper disposal of municipal waste is also a growing problem. Waste that contains batteries, electronics, and other metal-containing products can leach heavy metals into the soil and water if not disposed of properly. Municipal landfills, especially those not designed for hazardous waste, are common sources of heavy metal pollution, exacerbating contamination in urban and rural areas alike (Khan et al., 2016b).

Pesticide application in agriculture often introduces metals such as copper, zinc, and arsenic into the soil. Historically, metal-based pesticides were widely used, and even modern pesticides can contribute to heavy metal buildup in soils, especially in regions where there is over-reliance on chemical inputs (Ogunlade and Agbeniyi, 2011). The use of wastewater for irrigation in agriculture is another key source of heavy metal pollution. Wastewater, especially from industrial sources, can contain high concentrations of metals like cadmium, chromium, and

lead. When used for irrigation, these metals accumulate in the soil and can be absorbed by crops, entering the food chain (Sun et al., 2013a).

Finally, the excessive use of fertilizers contributes to heavy metal contamination, particularly from phosphatic fertilizers that contain trace amounts of cadmium and other metals. Continuous and high doses of fertilizers over time increase the metal content in soils, which can affect plant growth and soil health (Atafar et al., 2010). In recent years, global annual emissions of heavy metals have been estimated at 22,000 tons for cadmium (Cd), 939,000 tons for copper (Cu), 783,000 tons for lead (Pb), and 135,000 tons for zinc (Zn) (Thambavani and Prathipa, 2012). These numbers clearly highlight the substantial role human activities play in heavy metal pollution.

Effects of Heavy Metals on Soil Biochemistry and Enzyme Activity

Heavy metal contamination has widespread detrimental effects on both plant quality and crop yield, while also leading to significant alterations in the size, composition, and metabolic activity of soil microbial communities. These metals interfere with plant growth by disrupting nutrient uptake, enzyme activities, and overall plant physiology, often resulting in reduced productivity and compromised food quality. Moreover, the toxic effects of heavy metals extend to soil ecosystems, where they inhibit microbial diversity and activity, leading to a decline in essential soil functions such as nutrient cycling, organic matter decomposition, and soil structure maintenance (Giller et al., 1998).

As a major source of soil pollution, heavy metals are frequently found in contaminated soils, including elements like copper (Cu), nickel (Ni), cadmium (Cd), zinc (Zn), chromium (Cr), and lead (Pb). These metals can accumulate to toxic levels due to industrial activities, agricultural practices, and urbanization, making their presence a persistent environmental issue (Alloway, 2013). Their impact on the

biological and biochemical properties of soils is well-documented, with research showing how heavy metals can inhibit key soil enzymes, reduce microbial biomass, and disrupt the balance of soil nutrient cycles (Nannipieri et al., 2003). Over time, this degradation of soil health can lead to reduced agricultural productivity and long-term environmental damage.

Heavy metals indirectly affect soil enzymatic activities by disrupting the microbial communities responsible for enzyme production (Huang et al., 2009). These metals exhibit toxic effects on soil biota, impairing essential microbial functions and significantly reducing both the abundance and activity of soil microorganisms. As a result, critical soil processes such as organic matter decomposition, nutrient cycling, and soil structure formation are negatively impacted. However, prolonged exposure to heavy metals can lead to the development of increased tolerance in certain bacterial populations and arbuscular mycorrhizal (AM) fungi, which are essential for nutrient exchange and the restoration of contaminated ecosystems (Mora et al., 2005). Studies show that heavy metals tend to reduce bacterial species richness while simultaneously increasing the relative presence of soil actinomycetes, a group of bacteria known for their resilience in harsh conditions. Additionally, there is a noted reduction in the biomass and diversity of bacterial communities in soils contaminated with heavy metals, further indicating their profound impact on soil microbial ecology (Chen et al., 2010).

The impact of different metals on enzyme activity varies according to the enzymes' chemical affinities within the soil environment. For instance, cadmium (Cd) is more detrimental than lead (Pb) due to its greater mobility and lower affinity for soil colloids (Karaca et al., 2010). Copper (Cu) has been found to more strongly inhibit β -glucosidase activity compared to cellulase, while lead (Pb) reduces the activities of enzymes such as urease, catalase, invertase, and acid phosphatase. Phosphatase and sulfatase enzymes are inhibited by arsenic (As), though

urease remains unaffected. Cadmium contamination also hampers the activities of protease, urease, alkaline phosphatase, and arylsulfatase, but does not significantly affect invertase. Each soil enzyme has varying degrees of sensitivity to heavy metal inhibition, with the inhibition of urease generally following the order of Cr > Cd > Zn > Mn > Pb (Karaca et al., 2010).

Effect of Cadmium Pollution on Soil Biology

The activities of dehydrogenase (DHG) and urease enzymes in soil have been analyzed in connection with cadmium (Cd) concentrations. Research by Pan et al. (2011) highlights that both enzymes are vital for the carbon (C) and nitrogen (N) cycles in soil. Dehydrogenase contributes to the biological oxidation of organic matter and serves as an indicator of soil health, while urease plays a key role in nitrogen mineralization by converting urea into ammonia. The study found that higher cadmium levels significantly reduced the activity of both enzymes, underscoring cadmium's toxic effects on soil microorganisms and biochemical processes (Figure 2). Cadmium's toxicity can interfere with enzyme-substrate interactions or modify the structure of enzyme proteins, thereby diminishing their function. Consequently, the carbon and nitrogen cycles in the soil are disrupted, negatively impacting nutrient uptake and the overall health of plants and other soil organisms.

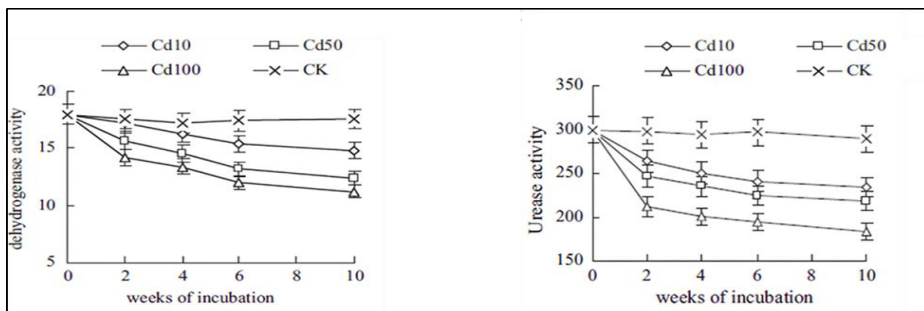


Figure 2. Effect of Cd Pollution on Dehydrogenase and Urease Enzyme Activities

A study on lettuce plants revealed that elevated cadmium (Cd) levels had a pronounced negative impact on the plants' photosynthetic capacity (Dias et al., 2013). The research showed that as cadmium concentrations increased, the photosynthetic efficiency of the lettuce plants declined significantly (Figure 3). Moreover, the stomatal conductivity, which controls water loss and gas exchange, also diminished, resulting in lower transpiration rates. These results suggest that cadmium impairs stomatal function, restricting the plant's ability to take in water and nutrients and properly manage water flow. This stress had a direct adverse effect on the plant's overall growth and development (Figure 3).

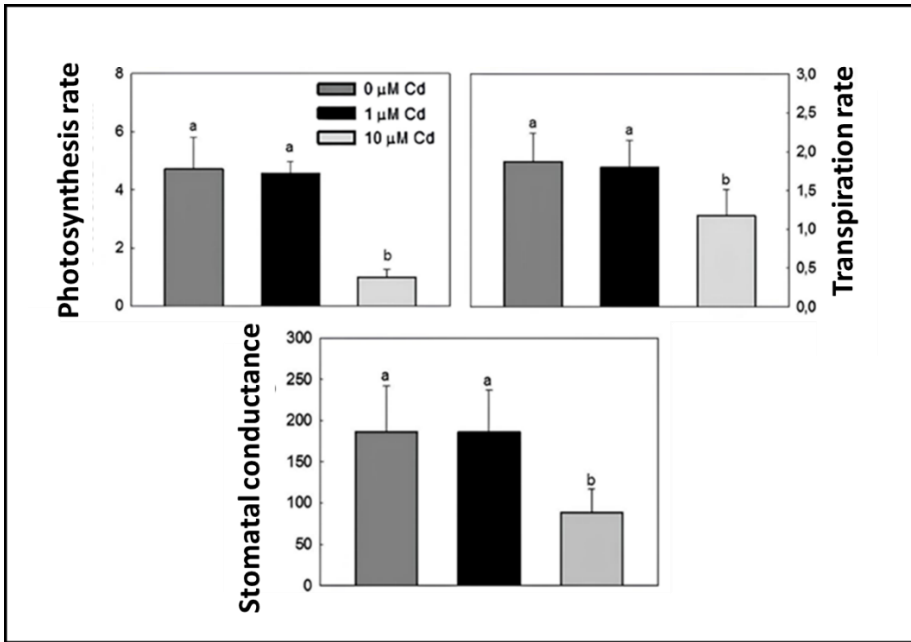


Figure 3. Effect of Cd Pollution on Photosynthesis Efficiency

The research findings indicate that higher cadmium (Cd) concentrations result in a marked decrease in the plant's dry matter content (Figure 4). This suggests that cadmium significantly impairs the plant's growth and developmental processes.

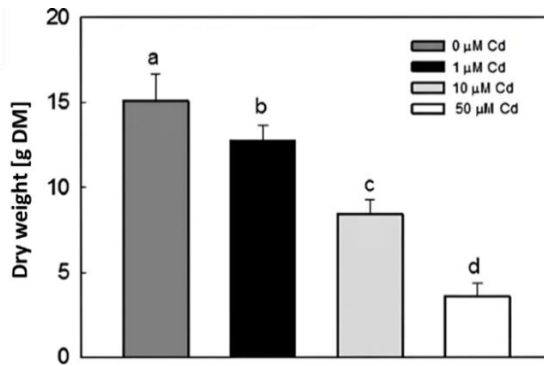


Figure 4. Effect of Cd Pollution on Plant Dry Matter Accumulation

Effect of Cadmium Pollution on the Nitrogen Cycle

The nitrogen (N) cycle, which involves the conversion of various nitrogen compounds in the soil, plays a crucial role in agricultural production by making nitrogen available for plant growth. However, in recent years, heavy metal contamination in soils has significantly disrupted this cycle (Hou et al., 2020). A meta-analysis of 160 studies found that heavy metal pollution can reduce soil nitrogen concentrations by 17.9% (Zhou et al., 2016), indicating that heavy metals hinder key processes such as nitrogen mineralization and nitrification, thereby disrupting the nitrogen cycle. These disruptions lead to reduced nitrogen uptake by plants, negatively impacting both agricultural productivity and soil health.

Nitrification and denitrification are two vital processes in nitrogen transformation, governed by nitrifying and denitrifying microorganisms. Nitrification, the aerobic oxidation of ammonium (NH_4^+) to nitrite (NO_2^-), is typically facilitated by ammonia-oxidizing bacteria (AOB) and archaea. Nitrite-oxidizing bacteria (NOB), which play a key role in the oxidation of nitrite to nitrate ($\text{NO}_2^- \rightarrow \text{NO}_3^-$), include *Nitrobacter* as a significant member. These microorganisms are crucial in the nitrogen cycle and are responsible for the biological transformation of nitrite, particularly in soil and aquatic ecosystems (Ishii et al., 2011). High nitrification rates can lead to nitrogen loss through leaching, as

ammonium is converted into mobile nitrate (NO_3^-), reducing soil nitrogen retention efficiency. This, in turn, lowers nitrogen-use efficiency and contributes to nitrogen loss in agricultural systems (Ju and Zhang, 2017).

A study on nitrification, a critical part of the nitrogen cycle, found that cadmium significantly suppressed the activity of nitrifying microorganisms. Afzal et al. (2019) reported that as cadmium levels rose and incubation time increased, the activity of these microorganisms was notably reduced. This suppression decreased nitrification efficiency, causing ammonium to accumulate in soils. The reduced conversion of ammonium to nitrite and nitrate limited nitrogen availability for plant uptake. Additionally, this process affected soil pH, impairing the absorption of other essential nutrients needed for plant growth.

Cadmium's inhibitory effects likely result from the disruption of microbial metabolic functions when exposed to metal ions. These ions are known to inhibit enzyme activity or damage microbial cell structures. Such impacts can dramatically alter the composition and function of nitrifying microbial communities, preventing the nitrogen cycle from operating efficiently in the soil.

Denitrification, the anaerobic process by which nitrate (NO_3^-) and nitrite (NO_2^-) are reduced to gaseous nitrogen forms such as nitric oxide (NO), nitrous oxide (N_2O), and nitrogen gas (N_2), is primarily driven by a variety of bacteria (Yin et al., 2019). The greenhouse gases generated through this process not only contribute to climate change but also result in the loss of nitrogen from agricultural systems. For instance, in a wheat and maize rotation, denitrification led to an annual nitrogen loss of approximately 12 kg da^{-1} (Sun et al., 2010). Studies have shown that heavy metal contamination leads to a reduction in both the biomass and abundance of nitrifying and denitrifying organisms, thereby affecting microbial nitrification and denitrification rates (Chen et al., 2014; Yu et al., 2016). For instance, nitrification has been found to be inhibited by heavy metals like Hg, Zn, Ni, and Pb (Gupta and Chaudhry, 1994).

Additionally, the population of ammonia-oxidizing bacteria (amoA) and nitrite-oxidizing bacteria (nirB) decreases in soils contaminated with Cu (Subrahmanyam et al., 2014) and As (Ouyang et al., 2016) (Figure 5).

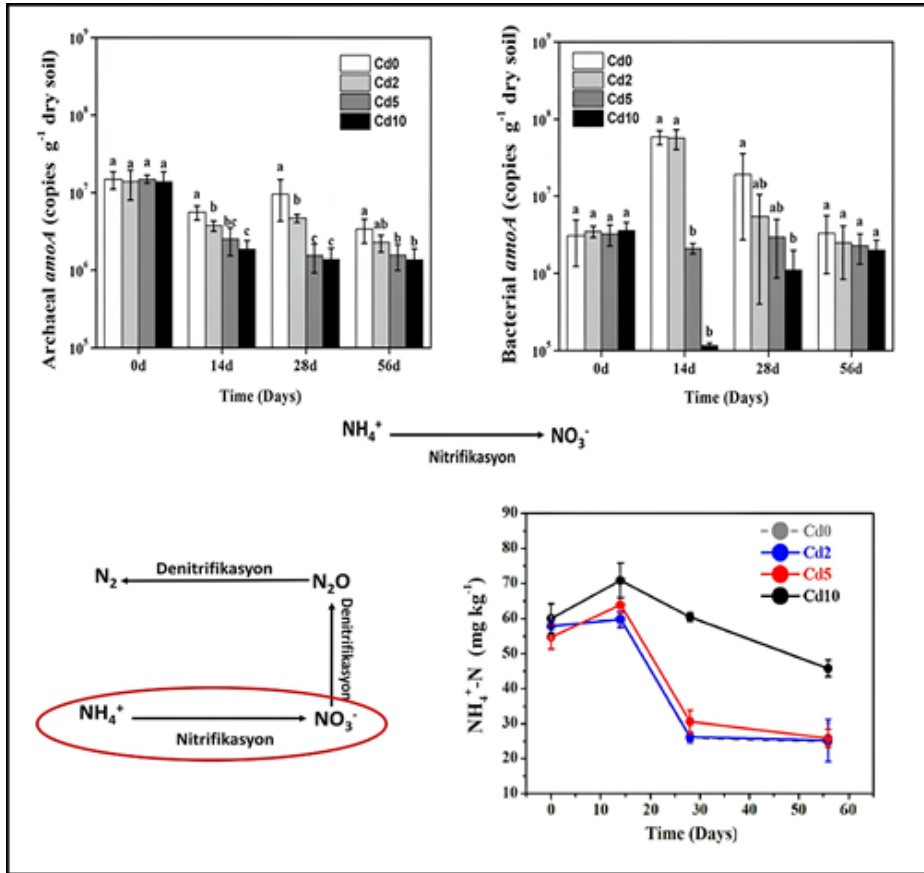


Figure 5. Effect of Cd Pollution on Soil Nitrification Process

A study investigating the impact of cadmium on the enzymes involved in the denitrification process crucial for the final stage of the nitrogen cycle revealed that cadmium significantly suppresses and inhibits their activity. Afzal et al. (2019) found that the enzymes responsible for converting nitrite (NO_2^-) to nitrous oxide (N_2O) and subsequently converting N_2O to elemental nitrogen (N_2) are severely affected in the presence of cadmium. One possible reason for cadmium's

inhibitory effect on denitrification is its direct interaction with these enzymes, disrupting their structural integrity and function.

This inhibition is particularly evident in the case of nitrite reductase and nitrous oxide reductase. Nitrite reductase converts nitrite to N_2O , while nitrous oxide reductase converts N_2O to elemental nitrogen (N_2). The suppression of these enzymes by cadmium may reduce nitrogen gas release into the atmosphere, causing nitrogen to accumulate in the soil. Furthermore, this can lead to higher N_2O levels, which contribute to increased greenhouse gas emissions and exacerbate global warming.

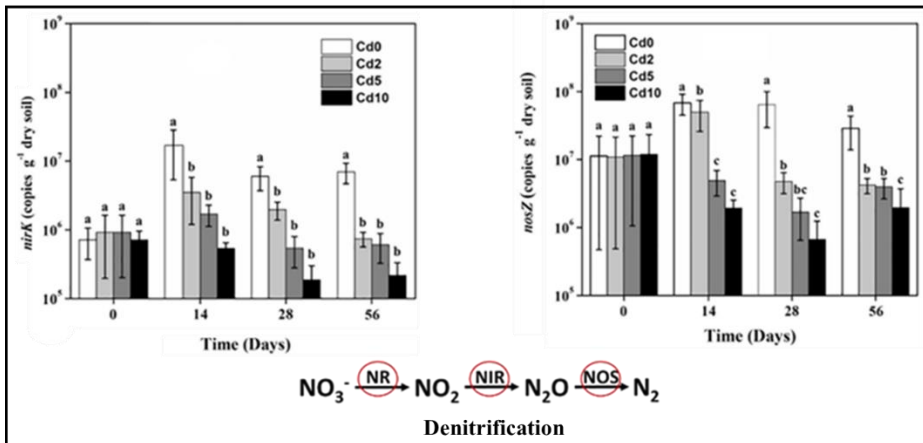


Figure 6. Effect of Cd Pollution on Soil Denitrification Process

Research has shown that heavy metals inhibit N_2O reductase (Figure 6), leading to increased emissions of N_2O , a greenhouse gas with 298 times the global warming potential of CO_2 (Wang et al., 2018). Soils are the primary source of N_2O , accounting for 65% of global N_2O emissions, with 6.0 Tg N_2O -N emitted annually from natural soils and 4.2 Tg N_2O -N from agricultural soils (IPCC, 2001). Thus, understanding the effects of heavy metals on nitrogen transformation processes in soil is essential for addressing global warming.

CONCLUSION

Heavy metal pollution creates significant negative effects on agricultural ecosystems and the natural environment. These metals exert suppressive effects on both plant growth and soil biochemical processes, particularly impacting vital processes such as photosynthesis, enzymatic activities, and the nitrogen cycle. Studies have shown that heavy metals like cadmium inhibit the activities of soil microorganisms, disrupt nitrification and denitrification processes, and negatively affect the soil nitrogen cycle. Cadmium reduces the photosynthetic capacity of plants, disrupts stomatal functions, and impairs water and nutrient uptake, directly affecting plant growth and development. Additionally, the inhibitory effect of heavy metals on the N₂O reductase enzyme increases greenhouse gas emissions, contributing to global warming.

To manage these adverse effects of heavy metal accumulation in soil, effective global and local policies and sustainable management strategies must be developed to address heavy metal pollution. Limiting the sources of heavy metal pollution, protecting agricultural soils, and improving soil health will not only enhance agricultural productivity but also play a crucial role in combating global warming.

REFERENCES

- Abdu, N., Abdullahi, A. A., Abdulkadir, A. (2017). Heavy metals and soil microbes. *Environmental chemistry letters*, 15(1), 65-84.
- Afzal, M., Yu, M., Tang, C., Zhang, L., Muhammad, N., Zhao, H., Xu, J. (2019). The negative impact of cadmium on nitrogen transformation processes in a paddy soil is greater under non-flooding than flooding conditions. *Environment international*, 129, 451-460.
- Alloway, B. J. (Ed.). (2012). *Heavy metals in soils: trace metals and metalloids in soils and their bioavailability* (Vol. 22). Springer Science & Business Media.
- Alvarez, A., Saez, J. M., Costa, J. S. D., Colin, V. L., Fuentes, M. S., Cuozzo, S. A., Amoroso, M. J. (2017). Actinobacteria: current research and perspectives for bioremediation of pesticides and heavy metals. *Chemosphere*, 166, 41-62.
- Atafar, Z., Mesdaghinia, A., Nouri, J., Homae, M., Yunesian, M., Ahmadimoghaddam, M., Mahvi, A. H. (2010). Effect of fertilizer application on soil heavy metal concentration. *Environmental monitoring and assessment*, 160, 83-89.
- Chen, G. Q., Chen, Y., Zeng, G. M., Zhang, J. C., Chen, Y. N., Wang, L., Zhang, W. J. (2010). Speciation of cadmium and changes in bacterial communities in red soil following application of cadmium-polluted compost. *Environmental engineering science*, 27(12), 1019-1026.
- Chen, L., Zhang, J., Zhao, B., Yan, P., Zhou, G., Xin, X. (2014). Effects of straw amendment and moisture on microbial communities in Chinese fluvo-aquic soil. *Journal of soils and sediments*, 14, 1829-1840.
- Chen, M., Xu, P., Zeng, G., Yang, C., Huang, D., Zhang, J. (2015). Bioremediation of soils contaminated with polycyclic aromatic hydrocarbons, petroleum, pesticides, chlorophenols and heavy metals by composting: applications, microbes and future research needs. *Biotechnology advances*, 33(6), 745-755.
- Dias, M. C., Monteiro, C., Moutinho-Pereira, J., Correia, C., Gonçalves, B., Santos, C. (2013). Cadmium toxicity affects photosynthesis and plant growth at different levels. *Acta physiologiae plantarum*, 35, 1281-1289.

- Dixit, R., Wasiullah, X., Malaviya, D., Pandiyan, K., Singh, U. B., Sahu, A., Paul, D. (2015). Bioremediation of heavy metals from soil and aquatic environment: an overview of principles and criteria of fundamental processes. *Sustainability*, 7(2), 2189-2212.
- Doelman, P., Haanstra, L. (1986). Short-and long-term effects of heavy metals on urease activity in soils. *Biology and Fertility of Soils*, 2, 213-218.
- Doran, J. W., Safley, M. (1997). Defining and assessing soil health and sustainable productivity.
- Effron, D., De la Horra, A. M., Defrieri, R. L., Fontanive, V., Palma, R. M. (2004). Effect of cadmium, copper, and lead on different enzyme activities in a native forest soil. *Communications in soil science and plant analysis*, 35(9-10), 1309-1321.
- Giller, K. E., Witter, E., Mcgrath, S. P. (1998). Toxicity of heavy metals to microorganisms and microbial processes in agricultural soils: a review. *Soil biology and biochemistry*, 30(10-11), 1389-1414.
- Guidotti, T. L., McNamara, J., Moses, M. S. (2008). The interpretation of trace element analysis in body fluids. *Indian Journal of Medical Research*, 128(4), 524-532.
- Gupta, S. K., Chaudhry, M. L. (1994). Influence of heavy metals and temperature on urea transformation in a Typic Ustochrept. *Journal of the Indian Society of Soil Science*, 42(2), 203-208.
- Haberern, J. (1992). A soil health index. *Journal of Soil and Water Conservation*, 47(1), 6.
- Hou, D., O'Connor, D., Igalavithana, A. D., Alessi, D. S., Luo, J., Tsang, D. C., Ok, Y. S. (2020). Metal contamination and bioremediation of agricultural soils for food safety and sustainability. *Nature Reviews Earth & Environment*, 1(7), 366-381.
- Huang, S. H., Bing, P. E. N. G., Yang, Z. H., Chai, L. Y., Zhou, L. C. (2009). Chromium accumulation, microorganism population and enzyme activities in soils around chromium-containing slag heap of steel alloy factory. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 19(1), 241-248.
- IPCC, 2001. The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

- Ishii, S., Ikeda, S., Minamisawa, K., Senoo, K. (2011). Nitrogen cycling in rice paddy environments: past achievements and future challenges. *Microbes and environments*, 26(4), 282-292.
- Ju, X. T., Zhang, C. (2017). Nitrogen cycling and environmental impacts in upland agricultural soils in North China: A review. *Journal of Integrative Agriculture*, 16(12), 2848-2862.
- Karaca, A., Cetin, S. C., Turgay, O. C., Kizilkaya, R. (2010). Effects of heavy metals on soil enzyme activities. *Soil heavy metals*, 237- 262.
- Khan, I., Ghani, A., Rehman, A. U., Awan, S. A., Noreen, A., Khalid, I. (2016b). Comparative analysis of heavy metal profile of *Brassica campestris* (L.) and *Raphanus sativus* (L.) irrigated with municipal waste water of sargodha city. *J Clin Toxicol*, 6(307), 2161-0495.
- Khan, S., Naushad, M., Lima, E. C., Zhang, S., Shaheen, S. M., Rinklebe, J. (2021a). Global soil pollution by toxic elements: Current status and future perspectives on the risk assessment and remediation strategies—A review. *Journal of Hazardous Materials*, 417, 126039.
- Kunito, T., Saeki, K., Goto, S., Hayashi, H., Oyaizu, H., Matsumoto, S. (2001). Copper and zinc fractions affecting microorganisms in long-term sludge-amended soils. *Bioresource Technology*, 79(2), 135-146.
- Mora, A. P., Ortega-Calvo, J. J., Cabrera, F., Madejón, E. (2005). Changes in enzyme activities and microbial biomass after “in situ” remediation of a heavy metal-contaminated soil. *Applied soil ecology*, 28(2), 125-137.
- Muradoglu, F., Gundogdu, M., Ercisli, S., Encu, T., Balta, F., Jaafar, H. Z., Zia-Ul-Haq, M. (2015). Cadmium toxicity affects chlorophyll a and b content, antioxidant enzyme activities and mineral nutrient accumulation in strawberry. *Biological research*, 48, 1- 7.
- Nannipieri, P., Ascher, J., Ceccherini, M., Landi, L., Pietramellara, G., Renella, G. (2003). Microbial diversity and soil functions. *European journal of soil science*, 54(4), 655-670.
- Ogunlade, M. O., Agbeniyi, S. O. (2011). Impact of pesticides use on heavy metals pollution in cocoa soils of Cross-River State, Nigeria. *African Journal of Agricultural Research*, 6(16), 3725-3728.
- Ouyang, F., Zhai, H., Ji, M., Zhang, H., Dong, Z. (2016). Physiological and transcriptional responses of nitrifying bacteria exposed to copper in activated sludge. *Journal of hazardous materials*, 301,172- 178.

- Palansooriya, K. N., Shaheen, S. M., Chen, S. S., Tsang, D. C., Hashimoto, Y., Hou, D., Ok, Y. S. (2020). Soil amendments for immobilization of potentially toxic elements in contaminated soils: A critical review. *Environment international*, 134, 105046.
- Pan, J., Yu, L. (2011). Effects of Cd or/and Pb on soil enzyme activities and microbial community structure. *Ecological Engineering*, 37(11), 1889-1894.
- Sarwar, N., Imran, M., Shaheen, M. R., Ishaque, W., Kamran, M. A., Matloob, A., Hussain, S. (2017). Phytoremediation strategies for soils contaminated with heavy metals: modifications and future perspectives. *Chemosphere*, 171, 710-721.
- Stohs, S. J., Bagchi, D. (1995). Oxidative mechanisms in the toxicity of metal ions. *Free radical biology and medicine*, 18(2), 321-336.
- Subrahmanyam, G., Hu, H. W., Zheng, Y. M., Gattupalli, A., He, J. Z., Liu, Y. R. (2014). Response of ammonia oxidizing microbes to the stresses of arsenic and copper in two acidic alfisols. *Applied Soil Ecology*, 77, 59-67.
- Sun, H., Shen, Y., Yu, Q., Flerchinger, G. N., Zhang, Y., Liu, C., Zhang, X. (2010). Effect of precipitation change on water balance and WUE of the winter wheat–summer maize rotation in the North China Plain. *Agricultural Water Management*, 97(8), 1139-1145.
- Sun, W. H., Jiang, Y. X., Li, X. (2013). Research of the evaluation on heavy-metal pollution in rice by sewage irrigation. *Applied Mechanics and Materials*, 295, 1594-1599.
- Tang, J., Zhang, L., Zhang, J., Ren, L., Zhou, Y., Zheng, Y., Chen, A. (2020). Physicochemical features, metal availability and enzyme activity in heavy metal-polluted soil remediated by biochar and compost. *Science of the Total Environment*, 701, 134751.
- Thambavani, D. S., Prathipa, V. (2012). Quantitative assessment of soil metal pollution with principal component analysis, geo accumulation index and enrichment index.
- Wang, K., Wu, Y., Wang, Z., Wang, W., Ren, N. (2018). Insight into effects of electro-dewatering pretreatment on nitrous oxide emission involved in related functional genes in sewage sludge composting. *Bioresource technology*, 265, 25-32.

- Yin, X., Chen, L., Tang, D., Zhang, Y., Liu, G., Hua, Y., Zhu, D. (2019). Seasonal and vertical variations in the characteristics of the nitrogen-related functional genes in sediments from urban eutrophic lakes. *Applied soil ecology*, 143, 80-88.
- Yu, H. Y., Li, F. B., Liu, C. S., Huang, W., Liu, T. X., Yu, W. M. (2016). Iron redox cycling coupled to transformation and immobilization of heavy metals: implications for paddy rice safety in the red soil of South China. *Advances in agronomy*, 137, 279-317.
- Zhou, T., Li, L., Zhang, X., Zheng, J., Zheng, J., Joseph, S., Pan, G. (2016). Changes in organic carbon and nitrogen in soil with metal pollution by Cd, Cu, Pb and Zn: a meta-analysis. *European Journal of Soil Science*, 67(2), 237-246.

BÖLÜM 10

TOPRAK SAĞLIĞINI DEĞERLENDİRMEDE TOPRAK MİKROORGANİZMALARINDAN YARARLANABİLİR MİYİZ?

Prof. Dr. Nur OKUR¹
Dr. Öğr. Üyesi Bülent YAĞMUR²

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.13774823>

¹Ege University, Faculty of Agriculture, Department of Soil Science and Plant Nutrition, Bornova, Izmir, Turkey. ORCID ID: 0000-0002-7796-1227, E-mail:nur.okur@ege.edu.tr

²Ege University, Faculty of Agriculture, Department of Soil Science and Plant Nutrition, Bornova, Izmir, Turkey. ORCID ID: 0000-0002-7645-8574, E-mail:bulent.yagmur@ege.edu.tr

GİRİŞ

İnsan sağlığı, tarıma dayalı-ekonomiler, hava-su kalitesi ve gıda güvenliği ile yakın ilişkili son derece değerli doğal kaynaklar olan toprakların sağlığı, dünya çapında tehdit altındadır. Bu tehditler; iklim değişikliği, tuzlulaşma, erozyon, toprak sıkışması, besin maddelerinin azalışı, toksik ağır metaller veya pestisitlerle kirlenme, toprak kaynaklı zararlıların insan yoluyla göçü ve aşırı otlatma olarak sıralanabilir (FAO, 2015). Bu tehditlerin çoğu uzun süreden beri devam etmektedir ve genellikle iyileştirilmeleri/düzeltilmeleri zordur. İçilebilir içme suyu temininden atmosferdeki karbonun tutulumuna kadar çok sayıda ekosistem hizmetleri sağlayan sağlıklı topraklara ihtiyacımız gittikçe artmaktadır. Dünya tarım topraklarının yaklaşık %40'ı insan kaynaklı bozulma nedeni ile tahrip olmuştur (Doran et al., 1996). Toprakların çöplerin toplandığı bir atık deposu olmadığı ve ekonomik, toplumsal ve halk sağlığı açısından geniş etkilerinin olduğu bilinci toplum tarafından çok iyi bilinmelidir.

Topraklar, tarımsal ve doğal bitki topluluklarının yaşam alanıdır. Dünyanın yüzeyini kaplayan bu ince toprak tabakası, kara tabanlı yaşamın çoğu için hayatta kalma ve yok olma arasındaki çizgiyi temsil eder (Doran et al., 1996). Üretken tarım arazilerinin bozulması ve kaybı, insanoğlunun küresel iklim değişikliği, koruyucu ozon tabakasının incilmesi ve biyolojik çeşitlilikteki ciddi azalmalar gibi insan kaynaklı çevre sorunları kadar önemli ve acil tedbirler alınması gerekli ekolojik endişelerinden birisidir (Lal, 1998).

Toprak kaynaklarının kalitesini ve sağlığını değerlendirmeye yönelik ilgi, toprağın, yalnızca gıda ve lif üretiminde değil aynı zamanda yerel, bölgesel ve küresel çevre kalitesinin korunmasında da işlev gören, dünya biyosferinin kritik öneme sahip bir bileşeni olduğu konusundaki farkındalığın artmasıyla uyarılmıştır (Glanz, 1995). 'İyi' bir toprağı tanımlamak için çeşitli ifadeler geliştirilmiştir. Toprak verimliliği ve kalitesi gibi kavramlar toprakların fonksiyon görürken fiziksel, kimyasal ve biyolojik yapısındaki çeşitli aşamaları ifade etmektedir. 'Toprak

sağlığı' kavramı, pozitif tarımsal ve çevresel çıktıları destekleyen bir toprağı tanımlama ve değerlendirme yönündeki en son kavramdır (Kibblewhite et al., 2008; Lehmann et al., 2020; Norris et al., 2020).

Toprak sağlığını kavramsal olarak diğerlerinden ayıran ifade, toprak biyotası ve biyotik süreçlerin entegre bir şekilde dahil edilmesine yapılan vurgudur (Doran & Zeiss, 2000). Toprak biyotasının önemi, modern toprak biliminin var olduğu zamandan daha uzun süredir kabul edilmiş olsa da (Darwin, 1881), toprak sağlığı kavramında yer almasını gerektiren üç yeni özelliğı vardır. Birincisi, toprağın biyolojik topluluklarını ve süreçlerini karakterize etme ve ölçme yöntemlerinde hızlı ilerlemeler kaydedildiğı için ampirik ölçümleri toprak biyolojisi ile ilişkilendirme kapasitesi de artmıştır. Böylece, toprak sağlığı değerlendirmelerine mikroorganizmaları ve diğer biyotaları dahil etmek için güçlü bir motivasyon oluşmuştur. Toprak sağlığının çok sayıda mikrobiyal tabanlı göstergesi önerilmiştir. Bu testlerden bazıları günümüzde rutin olarak kullanılmaktadır (Tablo 1). İkincisi, toprak kalitesini ölçmeye yönelik uzun süredir devam eden çabaların ana odağı olan sıralı ekim tarım sistemlerinin dışında da uygulanabilen toprak sağlığı göstergelerine yönelik bir talebin bulunmasıdır. Örneğın, meralarda toprak sağlığını karakterize edebilmeye yönelik artan bir ilgi olmasına karşın sıralı ekim tarım sistemleri için geliştirilen toprak sağlığı göstergeleri meralar için uygun olmayabilmektedir. Üçüncüsü ise, hassas tarım çağında hızlı, yönetimle ilgili toprak testlerine olan talepte artış bulunmasıdır. Toprak sağlığını iyileştirmek için taahhütlerde bulunan şirketler artık hızlı, ucuz ve toprak sağlığının fiziksel, kimyasal ve biyolojik göstergelerini en iyi ölçen deneysel testler talep etmektedir. Ancak mevcut yöntemlerin çoğı, sonuçlara ilişkin nedensel bağlantıların önemli olduğu arazi yönetimi veya pilot ölçeğindeki ekosistem değerlendirmeleri için değil, araştırma amaçları için geliştirilmiştir. Bu nedenle, mevcut biyolojik endeksler, toprak sağlığı durumu hakkında güvenilir çıkarımlar yapmak veya toprak sağlığını iyileştirmek için stratejiler seçmek ve izlemek için her zaman yararlı olmayabilmektedir.

Bu makalenin amacı, toprak sağlığını değerlendirmek ve izlemek için kullanılabilecek mikrobiyal endeksleri gözden geçirmek ve bunların kullanımı konusunda bir rehberlik yapmaktır. Makalede mikrobiyal endekslere odaklanmasına karşın, mikroorganizmaların toprak sağlığı değerlendirmelerinde dikkate alınabilecek tek canlı grubu olup olmadığı da tartışılacaktır.

1. TOPRAK SAĞLIĞI TANIMI NE ANLAMA GELMEKTEDİR?

Toprak sağlığı hem kavramsal hem de işlevsel olarak tanımlanabilmektedir (Bünemann et al., 2018; Lehmann et al., 2020). Kavramsal bir tanım olarak, ABD Tarım Bakanlığı Doğal Kaynak Koruma Servisine göre (USDA-NRCS) toprak kalitesi olarak da adlandırılabilen toprak sağlığı, toprağın bitkileri, hayvanları ve insanları destekleyen hayati bir canlı ekosistem olarak işlev görme kapasitesinin devamı olarak tanımlanır. Bu tanım, sağlıklı bir toprağın ne olduğunu tanımlamaya çalışır, ancak nasıl ölçüleceğini tanımlamaz. Bununla beraber USDA-NRCS, fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri içeren temel toprak sağlığı göstergelerini içeren bir liste yayımlayarak (Stott, 2019) bu göstergelerin nasıl değerlendirileceğini de açıklamışlardır (Norris et al., 2020).

'Optimum' toprak veya ideal toprak özelliklerini içeren evrensel bir liste yoktur (Bünemann et al., 2018; Lehmann et al., 2020). Toprak bünyesi, hacim ağırlığı, pH ve organik karbon konsantrasyonları (Stewart et al., 2018) gibi belirli toprak göstergeleri toprak sağlığını değerlendirmede her zaman önemli olabilse de, bunların yorumlanması her zaman aynı doğruyu göstermeyebilmektedir. Örneğin, düşük pH'a sahip topraklar birçok bitkinin gelişimi için uygun olmayabilir, fakat üretilmek istenen diğer bazı bitki tipleri veya ürün türleri (yaban mersini, çay gibi) için toprakta istenen bir özellik olabilir. Toprağın oluşumu ve fonksiyon görmesi her zaman altı toprak oluşturma faktörünün hepsine bağlı olacaktır: Bunlar; iklim, organizmalar, rölyef, ana materyal, zaman ve

insan faaliyetleridir (Jenny, 1994). Toprak sağlığı, bakış açısına göre değişir. Ancak, belirli toprak süreçlerini ve toprakla ilgili tarımsal ve çevresel sonuçları değerlendirmek için yararlı olabilecek toprak göstergeleri bulunmaktadır. Gerekli olan şey, bu göstergeleri zaman içinde etkili bir şekilde izleyerek iyi bir yönetim sergilemek ve bu ölçümlerin ve bu ölçümler için istenen değerlerin söz konusu toprağa bağlı olarak değişebileceğinin farkında olmaktır.

Tablo 1. Toprak sağlığının bazı yaygın mikrobiyal tabanlı göstergelerinin açıklaması, bu göstergeleri ölçmek için sıklıkla kullanılan yöntemler ve bu göstergelerle ilişkili yorum ve uyarılar

Mikrobiyal gösterge	Tanımı	Kullanılan yöntemler	Yorumlar	Uyarılar
Mikrobiyal biyokütle	Gram toprak, hacim toprak veya birim organik karbon başına mikrobiyal biyokütle miktarı	Doğrudan mikroskopi, kültüre alma, qPCR, kloroform fümigasyonu, PLFA, SIR	Daha yüksek bir mikrobiyal biyokütle daha sağlıklı bir toprağı göstermektedir.	- Hangi belirli taksonların mevcut olduğuna dair bir bilgi bulunmamaktadır - Daha fazla biyokütle mutlaka en optimum veya istenen şey olmayabilir - Daha fazla biyokütle mutlaka daha fazla mikrobiyal aktivite anlamına gelmeyebilir - Sonuçlar yöntemlere ve toprak özelliklerine bağlı olarak değişebilir
Fungus:Bakteri oranı	Belirli bir topraktaki fungus ve bakteri miktarı, biyokütle, hücre sayısı veya DNA miktarının oranı olarak ifade edilir	Doğrudan mikroskopi, qPCR, PLFA	Daha yüksek fungus: bakteri oranı daha sürdürülebilir bir toprak sistemini göstermektedir.	- Karmaşık, multi-trofik toprak besin ağlarının mevcut ekolojik durumunu yansıtmayabilir - Funguslar ve bakteriler genellikle toprakta örtüşen nişlere ve işlevlere sahiptirler

Mikrobiyal enzim aktiviteleri ve oranları	-Birim zamanda ve toprakta gerçekleşen mikrobiyal ekstraselüler enzimlerin potansiyel veya gerçek aktiviteleri. Enzimler genellikle C, N ve P döngüsüyle ilişkili olanları içerir.	Substrat inkübasyon yöntemleri	-Belirli bir enzimin daha yüksek aktivitesi, enzimin ilgili olduğu besin maddesinin daha sınırlayıcı olduğunu gösterir.	<p>- Fungus:bakteri oranları birçok nedenden dolayı değişebilir ve bu da yorumlamayı zorlaştırabilmektedir</p> <p>C/N/P metabolizmasıyla ilişkili enzimlerin aktiviteleri her zaman gerçek sınırlayıcı besin maddesini doğru bir şekilde tahmin edemeyebilir</p> <p>- Daha yüksek enzim aktiviteleri daha yüksek besin maddesi yararışlılığı veya daha az besin maddesi yararışlılığı olarak yorumlanabilir</p> <p>- Tipik olarak ölçülen enzimler potansiyel olarak önemli enzimlerin küçük bir bölümünü temsil edebilir</p> <p>- Nitrifikasyon bakteri sayısının yüksekliği azot yararışlılığı dışındaki faktörlerle ilişkili olabilir</p> <p>- Nitrifikasyon bakteri sayısının yüksekliği nitrifikasyon oranlarıyla mutlaka ilişkili olmayabilir</p> <p>- Mikorizalar ve bitkiler arasındaki ilişkiler dinamiktir, mutualizm-parazitizm sürekliliği arz eder.</p> <p>- Kök kolonizasyonu ve bitki büyümesi arasındaki ilişki</p>
Nitrifikasyon bakterilerinin varlığı ve bileşimi	Amonyak oksitleyen arkeler veya bakteriler ve nitrit oksitleyen bakteriler dahil olmak üzere nitrifikatörlerin varlığı ve taksonomisi	Potansiyel nitrifikasyon analizleri, qPCR, yüksek etkili işaretleyici gen dizilimi	Daha yüksek nitrifikasyon miktarı, nitrifikasyon ve nitrat yıkanması yoluyla toprak azotunun daha fazla kaybolduğunu gösterir	<p>- Nitrifikasyon bakteri sayısının yüksekliği azot yararışlılığı dışındaki faktörlerle ilişkili olabilir</p> <p>- Nitrifikasyon bakteri sayısının yüksekliği nitrifikasyon oranlarıyla mutlaka ilişkili olmayabilir</p> <p>- Mikorizalar ve bitkiler arasındaki ilişkiler dinamiktir, mutualizm-parazitizm sürekliliği arz eder.</p> <p>- Kök kolonizasyonu ve bitki büyümesi arasındaki ilişki</p>
Mikorizal fungusların varlığı ve bileşimi	Arbüsküler mikorizal fungusların varlığı ve bileşimi	Kök boyama ve mikroskopi, spor sayımı ve mikroskopi, qPCR, yüksek etkili işaretleyici gen dizilimi	Mikorizaların daha bol ve zengin olması bitki gelişimine daha fazla fayda sağladığını gösterir	<p>- Mikorizalar ve bitkiler arasındaki ilişkiler dinamiktir, mutualizm-parazitizm sürekliliği arz eder.</p> <p>- Kök kolonizasyonu ve bitki büyümesi arasındaki ilişki</p>

				önemli miktarda varyasyon vardır - Kök kolonizasyonu, haftalık zaman ölçümlerinde değişebilir
Bakteriyel ve fungal patojenler	Bilinen patojenik taksonların varlığı ve zenginliği	qPCR, yüksek etkili işaretleyici gen dizilimi	Daha yüksek patojen varlığı bitki gelişimine zararlı olduğunu gösterir	- Diğer faktörler bitki hastalığının şiddetini etkileyebilir - Patojen bolluğu hastalığın yaygınlığını göstermeyebilir
C ve N mineralizasyon hızları	Birim zaman ve toprak/organik C'da ortaya çıkan CO ₂ üretimi ve net inorganik N miktarı	Laboratuvar veya arazi inkübasyon çalışmaları	Daha yüksek C ve N mineralizasyon hızı daha fazla biyoyararlı C ve N miktarları ile daha aktif mikrobiyal topluluğu göstermektedir.	-Laboratuvar inkübasyonları arazideki C ve N mineralizasyon hızlarını yansıtmayabilir -Yüksek C ve N mineralizasyonu her zaan arzu edilen bir durum değildir.
Nitrifikasyon hızı	Birim zaman ve toprak/organik C'da ortaya çıkan net nitrat üretimi	Laboratuvar veya arazi inkübasyon çalışmaları	Daha yüksek nitrifikasyon hızı, toprak azotundan nitrifikasyon veya nitrat yıkanması ile meydana gelen daha yüksek kayıpları gösterir.	-Laboratuvar inkübasyonları arazideki C ve N mineralizasyon hızlarını yansıtmayabilir -Bitki tarafından alım veya yıkanma oranlarını dikkate almaz
Mikrobiyal topluluk bileşimi	Topraktaki belirli bakteri, arke, fungus ve/veya protist taksonlarının varlığını saptamak için DNA veya RNA kullanılması.	qPCR veya yüksek etkili işaretleyici gen (tipik olarak 16S, 18S, ITS) dizilemesi	Mikrobiyal topluluklar toprak sağlığının diğer ölçüm kriterleri ile ilişkili olarak değişebilmektedir . Topluluk yapısının çeşitliliği, daha yüksek besin madde döngüsü ve patojenlere karşı daha yüksek bir direnç sağlar	- Birçok taksonun toprak sağlığına katkıları genellikle belirsizdir - Çok fazla değişken nedeniyle ve yorumlanması zordur - Tüm DNA'lar sağlam hücrelerden gelmeyebilir (kalıntı DNA) - RNA oldukça kararsızdır ve bireysel taksonların

					aktivitelerini yansıtmayabilir
Mikrobiyal fonksiyonel gen bileşimi	Toprakta bilinen belirli genlerin (örn. amoA, nifK) varlığı	Yüksek etkili shotgun metagenomik dizileme, hedeflenen genlerin qPCR'si	Bir genin yüksek miktardaki varlığı, ilişkili yüksek hızını gösterir.	-Nadir bulunan taksonlar göz ardı edilebilir -Diğer faktörler süreçlerin oranlarını etkileyebilir - Ölçüm için en ilişkili genin hangisi olduğunu belirlemek zordur.	
Azot fiksasyonu	Birim zaman ve toprakta fikse edilen N miktarı	Asetilen redüksiyon yöntemi	Yüksek N-fiksasyonu yüksek yararlılığını gösterir	Yöntem, yüksek derecede zamansal değişim gösterebilen N-fiksasyonunun anlık değişimini gösterir.	
Bitki gelişimini teşvik eden kök bakterileri (PGPR)	Rizosferde bitkiler için yararlı olduğu düşünülen belirli bakterilerin varlığı	qPCR, yüksek etkili işaretleyici gen (16S) dizilemesi	Bu taksonların daha yüksek varlığı, bitki büyümesine daha fazla fayda sağladığını gösterir PGPR aşılması bitki büyümesini iyileştirir	- PGPR'nin yerli toprak biyomuna adapte olması gerekir, bu durum bazı topraklarda zor olabilir - Tüm PGPR'ler bitkiler üzerinde aynı etkiyi göstermeyebilir ve bu etkilerin büyüklüğü veya yönü büyük ölçüde koşullara bağlı olarak değişebilir.	

Toprak biyolojisi ölçümleri, 'iyi' bir toprağın ne olduğunun yorumlanmasının koşullara bağlı olacağını bilmesi açısından fiziksel ve kimyasal toprak özelliklerine benzerlik gösterir. Toprak sağlığını belirlemek için hangi mikrobiyal parametrelerin ölçüleceğinin seçimi, söz konusu toprağa veya alan ve ilgi duyulan toprak sağlığının özel alanlarına bağlı olacaktır. Bu makalede yapılan öneriler, evrensel bir toprak sağlığı göstergeleri setinden daha ziyade belirli yönetim ve/veya politika hedeflerini karşılamak için göstergelerin seçilmesine yönelik daha ayrıntılı bir öneri yapılmasına dayanmaktadır. Amacımız, tarım ve toprağı koruma perspektifinden bakarak toprak sağlığını izlemek için

hangi mikrobiyal bilgilerin yararlı olabileceğini vurgulamaktır. Ortak amaç toprakta karbonu tutma çabalarını en üst düzeye çıkarmak ve uzun vadeli bir bitkisel üretimi sağlamaktır.

2. MEVCUT YÖNTEMLERDEKİ KISITLAR

Arkeler, bakteriler, funguslar ve protistler de dahil olmak üzere toprak mikroorganizmalarının, toprak kalitesi ve sağlığı ile çok yakın ilişkileri vardır (Bach et al., 2020; Fierer, 2017). Toprak kalitesi ile ilgili olarak toprak mikroorganizmaları, besin maddesi yarayışlılığını, agregat stabilitesini, C tutulumunu, kirleticilerin bozunmasını, bitki hastalıklarının yayılmasını ve bitki gelişiminin uyarılmasını etkileyebilirler. Toprak mikroorganizmaları, toprak sağlığı açısından ne iyi ne de kötüdürler - sadece vardır. Bazı bakteri ve funguslar iyi bilinen bitki patojenleri olsa da, diğerleri (hatta yakın ilişkili taksonlar) patojenlere karşı bitkiye bir koruma sağlayabilirler (Schlatter et al., 2017). Benzer şekilde, pestisit bozunumu yapabilen mikroorganizmalar topraktaki pestisit konsantrasyonlarını etkili bir şekilde azaltabilirler, ancak pestisitlerdeki aktif bileşenlerin metabolitleri bozunma sırasında birikebilir ve aktif bileşenlerin kendisinden daha toksik hale gelebilirler (Odukkathil & Vasudevan, 2013). Son bir örnek olarak, topraktaki nitrifikasyon mikroorganizmaları için ideal bir durum olmadığı ve bu organizmaların azlığı veya çokluğunun amaca göre değişebilmesi verilebilir. Amacın topraktaki azot sınırlamasını azaltmak olduğu durumlarda zaman içinde nitrifikasyon mikroorganizmalarındaki artışların olması istenebilir. Alternatif olarak, hedef aşırı azot kayıplarını en aza indirmekse bu tür artışlar ise istenmeyebilir.

Toprakların oluşum ve fonksiyon görme süreçlerinde birçok açıdan toprak mikroorganizmalarının önemi göz önüne alındığında, toprak sağlığının belirlenmesinde mikrobiyal ölçümlerinin olması gerektiği düşüncesi mantıklıdır. Avrupa ve ABD’de toprak sağlığının potansiyel ölçümleri olarak mikrobiyal test hizmetleri sunan bazı şirketler bulunmaktadır (Trace Genomics, Ward Laboratories, Earth-

Fort, Prolfic Earth Sciences, Woods End Laboratories gibi). Tablo 1'de, toprak sağlığının yaygın kullanılan mikrobiyal metriklerinden bazıları, kullanımlarının altında yatan varsayımları ve bu ölçümlerle ilişkili bazı uyarılar yer almaktadır. Bu yöntemler, belirli taksonların ve ilgili genlerin varlığını ölçmeyi, mikrobiyal aktivite oranlarını belirlemeyi veya mikrobiyal biyokütle havuzlarını veya enzimatik kapasitelerini tahmin etmeyi içermektedir (Tablo 1). Bu mevcut ölçütler bazı durumlarda yararlı olabilir, ancak bu ölçütlerin kullanımı ve yorumlanmasında genellikle yetersiz kalınmaktadır. Örneğin, fungus:bakteri oranları ekosistemlerde etkili besin döngüsünün göstergeleri olarak kullanılmaktadır (de Vries & Bardgett, 2012; Six et al., 2006; Wardle et al., 2004), ancak fungal veya bakteriyal popülasyonların baskın olduğu durumlar arasındaki net ayırımı gösteren kanıtların eksikliği nedeniyle bu ölçütlerin yararlılığı ciddi şekilde sorgulanmaktadır (Rousk & Frey, 2015; Strickland & Rousk, 2010). Benzer şekilde, bakteri çeşitliliğinin toprak sağlığının yararlı bir göstergesi olabileceği öne sürülmüştür (Maron et al., 2018; van Bruggen & Semenov, 2000; Van Der Heijden et al., 2008), ancak daha yüksek bir bakteri çeşitliliği her zaman toprak için 'ideal' değildir (tıpkı bitki türü çeşitliliğini en üst düzeye çıkarmanın her zaman istenmediği gibi) Bakteri çeşitliliği genellikle toprak pH'sı ile iyi bir korelasyona sahiptir (Fierer & Jackson, 2006; Griffiths et al., 2011) ve toprağın pH seviyelerini değiştirmek her zaman uygulanabilir veya istenebilir bir durum değildir. Başka bir örnek olarak, bakteri ve fungus patojenlerinin daha fazla olduğu bir toprağın, daha az patojen yükü olan bir topraktan daha az sağlıklı olduğu görüşünün kabul görmesi verilebilir. Ancak, toprak patojenlerinin varlığı, bitki hastalığı olasılığının artmasıyla her zaman ilişkili değildir (Lievens et al., 2006). Aynı veri setleri tamamen farklı şekillerde yorumlanabilir. Bu durum genellikle N ve P yararıyla ilgili ortaya çıkarmak için ölçülen hücre dışı enzimlerin potansiyel aktiviteleri için geçerlidir. Daha yüksek enzim aktiviteleri besin kısıtlamasının kanıtı (Sinsabaugh et al., 2008) veya daha fazla besin yararıyla ilgili kanıtı

(Nannipieri et al., 2012) olarak yorumlanabilir. Son bir örnek olarak, toprak mikrobiyal biyokütlesinin ölçümü veya mikrobiyal biyokütlenin toprak organik karbonuna oranı (Anderson & Domsch, 1989) verilebilir. Bu parametre toprak sağlığının yararlı veya kolayca yorumlanabilir bir değerlendirmesini her zaman sağlamayabilir, çünkü toprak mikrobiyal biyokütlesindeki değişikliklere doğrudan veya dolaylı olarak katkıda bulunabilecek birçok biyotik ve abiyotik faktör bulunmaktadır (Dalal, 1998). Uzun süreden beri kullanılan mevcut mikrobiyal ölçümler bazı durumlarda yararlı olabilirken, bu ölçümlerin birçoğu mevcut bilimsel kanıtlarla iyi desteklenmemektedir veya bunların yararlılığını destekleyen kanıtlar mevcut değildir (Tablo 1). Bu ölçümlere güvenmek bazı durumlarda toprak sağlığı hakkında yanlış çıkarımlara yol açabilmektedir.

2.1. Mikrobiyal Topluluk Analizlerinin Potansiyel Faydası

Toprak sağlığının uzun bir süreden beri kullanılan mevcut mikrobiyal ölçümlerindeki hataları vurgulamak veya en azından bu ölçümlerin ne zaman yararlı olduğunu veya olmadığını belirtmek kolaydır. Ancak, önemli bir soru hala cevaplandırılmamıştır; Toprak sağlığının daha ilişkili ve uygulanabilir değerlendirmelerini sağlamak için mikrobiyal veri bilgileri kullanmaya çalışırken nasıl ilerleyebiliriz?

Mikrobiyal toplulukların DNA tabanlı analizleri, toprak sağlığının nasıl ölçüldüğü ve değerlendirildiği konusunda önemli bir potansiyele sahip, yeterince kullanılmayan bir toprak sağlığı ölçütüdür. Bu tür analizler genellikle belirli mikrobiyal genlerin veya taksonların varlığını ölçmek için kantitatif PCR, geniş topluluk analizleri için işaretleyici genlerin ampikon dizilimini (örneğin, sırasıyla fungus veya bakteri analizleri için ITS veya 16S rRNA gen dizilimi) veya belirli bir örnekte bulunan hem mikrobiyal taksonların hem de işlevsel genlerin shot-gun metagenomik dizilimini içerir. Bu ölçümler, toprak mikrobiyal topluluklarını karakterize etmek için kullanılacak tek moleküler

yöntemler değildir (Prosser, 2015; Schloter et al., 2018), ancak yaygın olarak benimsenmesi için bir dizi kriteri karşılarlar. Bu kriterler;

- Mikrobiyal analizler oldukça ucuz, hızlı ve yüksek etkili analizlerdir. Yüzlerce örnek, küçük bir laboratuvarında, bilinen birçok yöntemle aynı veya belki de daha ucuz bir maliyetle bir haftada analiz edilebilir. Örneğin, bakteri ve mantar topluluğu kompozisyonunu değerlendirmek için yüksek etkili DNA dizilimi artık yaygın olarak daha ucuz bir şekilde yapılmakta ve DNA dizileme teknolojilerindeki gelişmeler bu analitik maliyetleri daha da düşürmeye devam etmektedir. Dahası, bu verilerin işlenmesi ve analiz edilmesi hala uzmanlık ve eğitim gerektirse de biyoinformatik yollar daha fazla kullanıcının erişimine ulaşmaktadır.

- Mikrobiyal toplulukların zamansal olarak değişkenliği çok fazla değildir. Çok yavaş değişen toprak özellikleri, toprakların yönetim uygulamalarındaki değişikliklere nasıl tepki verdiğini izlemek için çok yararlı değildir. Örneğin, toprak organik karbon havuzu çok büyüktür ve bu havuzun boyutundaki yıllık değişimleri tespit etmek genellikle çok zor olabilir (Bradford et al., 2016). Benzer şekilde, çok hızlı değişen toprak özellikleri de genellikle sınırlı bir faydaya sahiptir, çünkü birkaç hafta arayla alınan örneklerin sonuçları çok farklı olabilir. Örneğin günler veya haftalar içinde önemli ölçüde değişebilen ekstrakte edilebilir NH_4^+ veya NO_3^- konsantrasyonlarını ölçmek bu değişkenlik nedeni ile bir sorundur. Mikrobiyal toplulukların bileşimi mevsimlere veya yıllara göre değişebilir, ancak DNA havuzu genellikle günler veya haftalar içinde çok fazla değişkenlik göstermez (Carini et al., 2020; Lauber et al., 2013). Bu durum, her ikisi de önemli sera gazları olan N_2O ve CH_4 emisyonlarını tarım arazilerinden tahminleme çalışmaları için önemli olabilir. Gaz emisyonlarının topraktan doğrudan ölçümleri, emisyon oranlarındaki yüksek zamansal değişkenlik nedeniyle değerlendirilmeleri açısından zordur (Groffman et al., 2009; Hendriks et al., 2010), ancak mikrobiyal analizler, bu eser gazların emisyonlarındaki

değişimin zamansal olarak entegrasyonunu sağlayabilir (Conrad, 2007; Deslippe et al., 2014; Nazaries et al., 2013).

-Mikrobiyal topluluklar oldukça çeşitlidir ve bu çeşitlilik toprak ortamını birçok açıdan karakterize etmede kullanılabilir. Toprak mikrobiyal topluluklarının yüksek çeşitliliği genellikle tek bir toprağın binlerce farklı mikrobiyal takson ve işlevsel gen barındırabilmesi nedeniyle göz korkutucu bir analitik problem olarak kabul edilir ki bu taksonların çoğu iyi bir şekilde tanımlanmamıştır (Delgado-Baquerizo et al., 2018; Howe et al., 2014). Ancak bu çeşitlilik aynı zamanda toprak ortamının birçok farklı yönünü keşfetmek için de çeşitli fırsatlar sunar. Tıpkı yapraktaki besin konsantrasyonlarının hiperspektral görüntüleme ile saptanabildiği gibi (Martin et al., 2018), belirli spektrumlar ve besin oranları arasındaki ilişkilerin altında yatan belirli mekanizmalar belirlenmemiş olsa bile, belirli mikrobiyal taksonların veya genlerin göreceli bolluğunu ölçerek belirli toprak özelliklerini ortaya çıkarabiliriz. Bu yaklaşımın potansiyeli, toprak kalitesiyle ilişkili temel fiziko-kimyasal değişkenleri tahmin etmek için toprak bakteri topluluğu bileşimine ilişkin bilgileri kullanan bir çalışmada gösterilmiştir (Hermans et al., 2020).

2.2. Biyoindikatör Olarak Mikroorganizmalar

Mikroorganizmalar sadece birçok önemli toprak sürecini yönlendirmekle kalmaz, aynı zamanda biyotik ve abiyotik toprak koşullarına da çabuk tepki verirler. Örneğin, toprak mikrobiyal topluluklarındaki kalıcı değişiklikler, yarayışlı P konsantrasyonlarında (Hermans et al., 2017), toprak pH'sında (Delgado-Ba-querizo et al., 2018), labil organik karbon havuzlarında (Ramírez et al., 2020) ve toprak nem seviyelerindeki (Isobe et al., 2020) değişikliklerle yakın ilişkilidir. Benzer şekilde, nitrifikasyon, metan üretimi, denitrifikasyon ve selüloz bozunumu dahil olmak üzere belirli toprak süreçleriyle ilişkili belirli mikrobiyal taksonları veya işlevsel genleri belirleyebiliriz. Toprak sağlığının göstergesi olması gerektiğini düşündüğümüz belirli

mikrobiyal niteliklere (taksonlar veya genler dahil) odaklanmak yerine, toprak sağlığının önemli bileşenleri olduğunu zaten bildiğimiz toprak özelliklerindeki ve süreçlerindeki değişiklikleri belirlemek için taksonları veya genleri kullanabilir ve DNA tabanlı mikrobiyal analizlerin potansiyel avantajlarından yararlanabiliriz. Şüphesiz, mikrobiyal toplulukların karmaşıklığı ve işlevsel nitelikleri, mikrobiyal topluluk verilerinin analiz edilmesini ve yorumlanmasını zorlaştırır. Bir çiftçiye toprağında bulunan mikrobiyal genlerin veya taksonların bir listesini vermek pratik olarak bir yarar sağlamaz. Bu tür veriler belirli toprak koşullarının veya süreçlerinin belirli biyo-göstergelerini tanımlamak için kullanılırsa, mikrobiyal bilgi çok daha yararlı olur, ilgili mikrobiyal bilgiyi üretmeyi kolaylaştırır ve sonuçların yorumlanması daha kolay olur. Mikroorganizmaların toprak biyo-sensörleri veya biyo-göstergeleri olarak kullanma fikri yeni değildir (Visser & Parkinson, 1992; Waksman, 1927) ancak bu yaklaşım henüz yaygın olarak benimsenmemiştir.

Farklı toprak koşullarının mikrobiyal tabanlı endekslerinin, geniş bir toprak ve ekosistem türü yelpazesinde yaygın olarak uygulanabilmesi durumunda yararlı bilgiler sunabilir. Belirli taksonların tek bir bölgedeki P yarayırlılığına yanıt olarak artması veya azalması, aynı taksonların farklı topraklardaki P yarayırlılığını genel olarak gösterdiği anlamına gelmez. Tüm taksonlar veya genler tüm topraklarda bulunmayacaktır, ancak mikrobiyal biyo-göstergeleri tanımlamak, bu taksonların veya genlerin söz konusu toprak veya ekosistem türleri için toprak sağlığının belirli yönleriyle tutarlı bir şekilde ilişkili olduğunu doğrulamayı gerektirir. Bu nedenle bu mikrobiyal biyo-göstergeleri tanımlamak, iyi karakterize edilmiş toprakların kapsamlı, çapraz bölge analizlerini gerektirir (Hermans et al., 2017).

Mikrobiyal biyo-göstergeleri belirlemek, mikrobiyal verilerin karar alma süreçlerine entegre edilmesini büyük ölçüde basitleştirir çünkü ilgili parametreler hakkında genellikle önceden mevcut bilgiler vardır. Örneğin, ağır metallerle toprak kirliliğinin derecesini belirlemek,

toprak kirliliğini izlemek ve yönetmek için kritik öneme sahiptir, ancak ağır metal konsantrasyonlarını ölçmek pahalı yöntemlerdir. Bu nedenle, ağır metal kirliliğinin mikrobiyal göstergeleri, tarım için alanların uygunluğunu belirleme, iyileştirme stratejileri tasarlama ve iyileştirme çabalarının başarısını izleme ile doğrudan ilgili bilgiler sağlayabilir (Tang et al., 2019). Ağır metal konsantrasyonlarının kimyasal analizleri yerine metal kontaminasyonunun mikrobiyal göstergeleri ile değiştirilmesi önerilmemekte, bunun yerine ayrıntılı kimyasal analizlerinin ne zaman veya nerede yararlı olabileceğini önceliklendirmek için mikrobiyal verilerin metal konsantrasyonlarının yardımcı olabileceği önerilmektedir. Aynı düşünce, kimyasal test yaklaşımlarının sınırlamaları göz önüne alındığında, topraktaki P biyoyararlılığının ölçümü için de geçerlidir (Das et al., 2019). Mikroorganizmalar P yararlılığının biyo-göstergeleri olarak kullanılabilir (Hermans et al., 2017), bu da tarımsal sistemlerde topraktaki yararlı P miktarlarını azaltmak için yönetim stratejileri hakkında onlarca yıllık birikmiş bilgiye doğrudan entegre edilebilecek bilgiler sağlayabilmektedir.

3. BİLGİLERİMİZİ GELECEKTE NASIL GELİŞTİRECEĞİZ?

Bilim adamları, mikrobiyal verilerin günümüzdeki mevcut bilinen toprak sağlığı ölçümlerini tamamlama potansiyeline sahip olduğunu bilse de mikrobiyal topluluk ölçümlerinin henüz yaygın olarak benimsenmesi gereken noktada olmadıkları konusunda hemfikirdir. DNA tabanlı mikrobiyal analizlerin yaygın olarak benimsenmesi gerektiğinden önce dikkatlice düşünülmesi gereken bazı önemli uyarılar ve sınırlamalar bulunmaktadır;

- Metodolojik sorunlar, DNA tabanlı mikrobiyal ölçümlerin faydasını sınırlayabilmektedir. DNA tabanlı mikrobiyal analizler tam bir çözüm şekli değildir. Mevcut yürütülen mikrobiyal sağlık ölçümlerinin yorumlanabilirliğini sınırlayan sorunlardan bazıları (Tablo 1), ölçümler

dikkatlice doğrulanmadığı sürece alternatif yaklaşımları da etkileyecektir. Ayrıca, dikkate alınması gereken DNA tabanlı mikrobiyal topluluk yöntemlerinin bazı özel yönleri de vardır. Örneğin, yaklaşımlardaki çok küçük farklılıklar bile (DNA ekstraksiyon yöntemlerindeki farklılıklar, PCR primerleri veya biyoenformatik bilgi yolları gibi) sonuçları tutarlı bir şekilde karşılaştırmayı zorlaştırabilir. Benzer şekilde, topraktaki tüm DNA yalnızca 'aktif' mikroorganizmalardan ortaya çıkmayabilir ve 'kalıntı' DNA'nın varlığı (Carini et al., 2020), mikrobiyal veriler ile toprak koşulları arasındaki ilişkileri gizleyebilir. Son olarak, toprak mikrobiyal topluluklarının karmaşıklığı ve birçok mikrobiyal veri setinin çok değişkenli yapısı, analizlerin akış şemasını zorlaştırabilir ve sonuçların yorumlanmasını güçleştirebilir.

- İlgilendiğiniz toprak sağlığı parametreleriyle eşleşen mikrobiyal testlerin seçimi. Mikrobiyal topluluğun detaylı bir profiline odaklanmak yerine, belirli toprak sağlığı sonuçları için belirli mikrobiyal endeksler geliştirmenin daha iyi bir yol olduğu ileri sürülmektedir. Amaç topraktan nitrat kayıplarını sınırlamaksa, nitrifikasyon ve denitrifikasyon için anahtar olduğu bilinen taksonların (veya genlerin) varlığını belirlemek, bakteri topluluğunun genel çeşitliliğini karakterize etmeye çalışmaktan daha faydalı bir bilgi verecektir. Daha fazla test yapmak daha uygulanabilir bilgiler sağlamayacak ve maliyeti artıracaktır. Örneğin tıp alanında, testler olası bir sorunun uzman değerlendirmesine dayanarak yürütülür; toprak sağlığının mikrobiyal ölçümlerini kullanırken de aynı yaklaşım olmalıdır.

- Mikrobiyal ölçümlerin nasıl pratiğe dönüştürülebilir bilgi üretebileceği gösterilmelidir. Birçok toprak mikrobiyal ölçümü böyle bir bilgi vermemektedir. Örneğin, USDA'nın toprak sağlığı ölçüm set önerileri (Stott, 2019), mikrobiyal topluluk verilerinin normatif bir yorumu olmadığını ve bu verilerin bir toprak sağlığı ölçütü olarak yararlı olması için bunun gerekli olduğunu kabul eder. USDA yönergeleri ayrıca, kısa süreli C mineralizasyon oranları ve enzimatik aktivite dahil

olmak üzere mikrobiyal aktivitenin önerilen genomik olmayan ölçümlerinin yorumlama konusunda belirsizlik içerdiğini kabul eder. Buna karşılık, toprak pH'ı hakkındaki veriler, bir tarlanın kireçlenmesinin gerekip gerekmediği ve optimum bitki gelişimini elde etmek için ne kadar kireç uygulanması gerektiği konusunda öneriler verebilmektedir. Bu duruma benzer şekilde, topraktaki fosfor biyoyararlanabilirliği veya topraktaki oksijen düzeyinin güçlü mikrobiyal göstergeleri varsa, bu tür mikrobiyal bilgiler karar alma süreçlerine doğrudan rehberlik etmek için kullanılabilir. Mikrobiyal toprak sağlığı ölçümlerinin genel olarak yararlı olması için net bir şekilde yorumlanabilir özelliğe sahip olmaları gerekir.

- Spesifik durumlarda mikrobiyal verilerin nasıl yorumlanacağına dair bilgi eksikliği. Toprak özellikleri ve mikrobiyal topluluklardaki güçlü coğrafi farklılıklar nedeniyle, mikrobiyal analizlerin sonuçlarını bağlama özel bir şekilde yorumlamak kritik öneme sahiptir. Mikrobiyal biyokütlenin, toprak sağlığıyla doğrudan ilgili olmayabilecek birçok faktörden etkilenebilmesi nedeniyle, bir arazideki mikrobiyal biyokütleyi diğer arazilerde bildirilen biyokütle seviyeleriyle karşılaştırmanın sınırlı bir faydası vardır. Bir benzetme yapılacak olursa, belirli bir kişinin Türkiye ortalamasına kıyasla ağırlığı, o kişinin sağlıklı olup olmadığını belirlemek için tek başına kullanılmamalıdır. Ancak, belirli bir yetişkinin ağırlığındaki değişiklikler sağlık sorunlarına işaret edebilir veya en azından sağlık durumunun daha ayrıntılı değerlendirmelerinin gerekli olabileceğini düşündürebilir. Mikrobiyal tabanlı ölçümlerde, daha önce tanımlanmış belirli değerleri kullanarak toprak sağlığının 'iyi' mi yoksa 'kötü' mü olduğunu belirleyemeyiz. Ancak, belirli lokasyonlardan alınan örneklerin nasıl değiştiğinin karşılaştırılması, lokasyona özgü bağlamı sağladığı için daha fazla bilgi akışı sağlayacaktır.

- 'İdeal' bir toprak mikrobiyal topluluğu yoktur. Tıpkı sağlıklı insanların oldukça değişken bağırsak biyotasına sahip olabilmesi (Falony et al., 2016) ve hatta oldukça üretken, bozulmamış

ekosistemlerin bile çok belirgin bitki topluluklarına (her zaman yüksek çeşitlilikte olmayan) sahip olabilmesi gibi, sağlıklı toprakların tek bir 'optimum' topluluk türüne sahip olmasını veya daha fazla mikrobiyal çeşitliliğin her zaman daha iyi olmasını beklememeliyiz. Belirli bir toprağı idealize edilmiş 'optimum' bir toprak mikrobiyal topluluğıyla karşılaştırmak asla yararlı olmayacaktır çünkü böyle bir 'optimum' toprak mikrobiyal topluluğı mevcut değildir. Bunun yerine, mikrobiyal taksonları veya bunların işlevsel niteliklerini, toprak koşullarının zaman, mekan veya yönetim uygulamalarındaki değişimlere yanıt olarak nasıl değiştiğini izlemek için belirli toprak özelliklerinin ölçütleri olarak kullanabiliriz.

-Mevcut yöntemler yetersiz olduğunda mikrobiyal ölçümler kullanılmalıdır. Toprak sıcaklığı (Oliverio et al., 2017) ve toprak pH'sı ile bağlantılı (Delgado-Baquerizo et al., 2018) mikrobiyal taksonlar vardır. Ancak, hem pH hem de sıcaklığın ölçülmesi oldukça ucuz ve hızlıdır, bu nedenle bu toprak özellikleri yerine mikrobiyal verileri kullanmak daha az yorumlanabilir bilgi sağlayacaktır. pH veya sıcaklığı değerlendirmek için mikrobiyal analizler kullanmak, birine yakın zamanda antibiyotik alıp almadığını sormak yerine, antibiyotik kullanımını ortaya çıkarmak için bireyin dışkısının mikrobiyal analizlerini kullanmaya benzer. Bunun yerine, doğrudan ölçülmesi genellikle zor (veya pahalı) olabilen, ancak önemli olan toprak özelliklerinin mikrobiyal biyo-göstergelerini belirlemeye odaklanmalıdır. Bu göstergeler; O₂ seviyeleri, N/P yarayışlılığı, labil C miktarları, brüt N/P mineralizasyon oranları, biyojeokimyasal süreçlerin potansiyel 'sıcak noktaları' (örn. denitrifikasyon, nitrifikasyon, metanogenez) ve belirli kirleticilerin konsantrasyonları olabilir.

-Topraklar mekansal ve zamansal olarak heterojen yapıdadırlar. Birçok toprak koşulu zamana ve mekana göre önemli ölçüde değişebilmektedir. Örneğin, N mineralizasyonu, nitrifikasyon ve denitrifikasyon oranları 0,5 ha'lık alanda bile birkaç kat farklılık gösterebilirler (Robertson et al., 1988). Benzer şekilde, tek bir konumda

ölçülen N₂O toprak emisyonlarının haftalık ölçümleri birkaç kat fazla veya az olabilir (Kaiser et al., 1998). Bu değişim korkutucu olabilir, ancak uygun bir örnekleme tasarımıyla sorun giderilebilir. Bu nedenle, mikrobiyal ölçümler belirli bir zaman noktasında belirli bir sürecin belirli oranlarını ölçmekten ziyade, belirli mikrobiyal süreçlerin potansiyel 'sıcak noktalarını' (Kuzuyakov ve Blagodatskaya, 2015) belirlemek için muhtemelen daha yararlı olacaktır.

- Belirli bir mikrobiyal parametrede ne kadar fazla mekansal veya zamansal değişim varsa, bu değişimi yeterince yakalamak ve analitik sonuçlara dayalı sağlam kararlar almak için o kadar fazla örneğin analiz edilmesi gerekecektir. Bu mekansal-zamansal değişim sorununun toprak sağlığının mikrobiyal göstergelerine özgü olmadığını biliyoruz. Toprak nitelikleri nadiren homojendir ve toprak koşullarındaki en ufak farklar bile toprak yönetimi çalışmaları için doğrudan sonuçlara sahip olabilir.

- Mikrobiyal verilerin sınırlamalarına ve potansiyel faydasına rağmen, mikrobiyal parametreleri ölçmek ve bunları daha pratik hale getirmek için gereken bilgi tabanını oluşturmak için özellikle 'temel' araştırma alanının dışındakiler olmak üzere daha fazla çalışma yapılması gerekmektedir. Bu tür çabalar, mikrobiyal ölçümleri daha geleneksel ölçümlerle doğrudan karşılaştırmak için çok çeşitli toprak ve ekosistem türlerini kapsayan kapsamlı veri kümelerinin toplanmasını, belirli mikrobiyal biyo-göstergelerin yönetim uygulamalarındaki değişikliklere nasıl yanıt verdiğinin (veya yanıt vermediğinin) değerlendirmelerini, mikrobiyal ölçümler ile bitki sağlığı veya bitki üretkenliği arasındaki ilişkileri ölçmek için daha uzun vadeli çalışmaların uygulanmasını ve farklı laboratuvarlarda yürütülen mikrobiyal analizlerin tutarlı sonuçlar verip vermediğini değerlendirmek için yöntemlerin çapraz doğrulamasını içerebilir. Bu tür faaliyetler ve diğer "yaparak öğrenme" modelleri, bu ölçümleri araştırma laboratuvarlarının dışına ve gerçek dünya ortamlarına taşımak için önemli ve gereklidir. Ancak, ölçümlerin ne zaman ve nasıl etkili bir şekilde yorumlanabileceği iyi bir şekilde

belirlenene kadar, bu verilerin yararlılığı konusunda aşırı vaatlerde bulunulmaması önemlidir.

KAYNAKLAR

- Anderson, T.H., & Domsch, K.H., (1989). Ratios of microbial biomass carbon to total organic carbon in arable soils. *Soil Biology and Biochemistry* 21, 471–479.
- Bach, E.M., Ramirez, K.S., Fraser, T.D., & Wall, D.H., (2020). Soil biodiversity integrates aolutions for a sustainable future. *Sustainability: Science, Practice and Policy* 12, 2662.
- Bradford, M.A., Wieder, W.R., Bonan, G.B., Fierer, N., Raymond, P.A., & Crowther, T.W., (2016). Managing uncertainty in soil carbon feedbacks to climate change. *Nature Climate Change* 6, 751–758.
- Bünemann, E.K., Bongiorno, G., Bai, Z., Creamer, R.E., De Deyn, G., de Goede, R., Fleskens, L., Geissen, V., Kuyper, T.W., Mader, P., Pulleman, M., Sukkel, W., van Groenigen, J.W., & Brussaard, L., (2018). Soil quality – a critical review. *Soil Biology and Biochemistry* 120, 105–125.
- Carini, P., Delgado-Baquerizo, M., Hinckley, E.-L.S., Holland-Moritz, H., Brewer, T.E., Rue, G., Vanderburgh, C., McKnight, D., & Fierer, N., (2020). Effects of spatial variability and relic DNA removal on the detection of temporal dynamics in soil microbial communities. *mBio* 11 e02776-19.
- Conrad, R., (2007). Microbial ecology of methanogens and methanotrophs. *Advances in Agronomy* 96, 1–63.
- Dalal, R.C., 1998. Soil microbial biomass—what do the numbers really mean? *Australian Journal of Experimental Agriculture* 38, 649–665.
- Darwin, C., (1881). *The Formation of Vegetable Mould through the Action of Worms, with Observations on Their Habits*. J. Murray, London.
- Das, B., Huth, N., Probert, M., Condrón, L., Schmidt, S., 2019. Soil phosphorus modeling for modern agriculture requires balance of science and practicality: a perspective. *Journal of Environmental Quality* 48, 1281–1294.
- Delgado-Baquerizo, M., Oliverio, A.M., Brewer, T.E., Benavent-González, A., Eldridge, D. J., Bardgett, R.D., Maestre, F.T., Singh, B.K., & Fierer, N., (2018). A global atlas of the dominant bacteria found in soil. *Science* 359, 320–325.

- Deslippe, J.R., Jamali, H., Jha, N., & Sagggar, S., (2014). Denitrifier community size, structure and activity along a gradient of pasture to riparian soils. *Soil Biology and Biochemistry* 71, 48–60.
- de Vries, F.T., & Bardgett, R.D., (2012). Plant–microbial linkages and ecosystem nitrogen retention: lessons for sustainable agriculture. *Frontiers in Ecology and the Environment* 10, 425–432.
- Doran, J.W., & Zeiss, M.R., (2000). Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. *Applied Soil Ecology* 15, 3–11.
- Falony, G., Joossens, M., Vieira-Silva, S., Wang, J., Darzi, Y., Faust, K., Kurilshikov, A., Bonder, M.J., Valles-Colomer, M., Vandeputte, D., Tito, R.Y., Chaffron, S. Rymenans, L., Verspecht, C., De Sutter, L., Lima-Mendez, G., D’hoë, K., Jonckheere, K., Homola, D., Garcia, R., Tigchelaar, E.F., Eeckhaut, L., Fu, J., Henckaerts, L., Zhernakova, A., Wijmenga, C., & Raes, J., (2016). Population-level analysis of gut microbiome variation. *Science* 352, 560–564.
- FAO, (2015). Status of the World’s Soil Resources (SWSR)—main Report, vol. 650. Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils, Rome, Italy.
- Fierer, N., (2017). Embracing the unknown: disentangling the complexities of the soil microbiome. *Nature Reviews Microbiology* 15, 579–590.
- Fierer, N., & Jackson, R.B., (2006). The diversity and biogeography of soil bacterial communities. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 103, 626–631.
- Griffiths, R.I., Thomson, B.C., James, P., Bell, T., Bailey, M., & Whiteley, A.S., (2011). The bacterial biogeography of British soils. *Environmental Microbiology* 13, 1642–1654.
- Groffman, P.M., Butterbach-Bahl, K., Fulweiler, R.W., Gold, A.J., Morse, J.L., Stander, E. K., Tague, C., Tonitto, C., & Vidon, P., (2009). Challenges to incorporating spatially and temporally explicit phenomena (hotspots and hot moments) in denitrification models. *Biogeochemistry* 93, 49–77.
- Hendriks, D., van Huissteden, J., & Dolman, A.J., (2010). Multi-technique assessment of spatial and temporal variability of methane fluxes in a peat meadow. *Agricultural and Forest Meteorology* 150, 757–774.

- Hermans, S.M., Buckley, H.L., Case, B.S., Curran-Cournane, F., Taylor, M., & Lear, G., (2020). Using soil bacterial communities to predict physico-chemical variables and soil quality. *Microbiome* 8, 79.
- Hermans, S.M., Buckley, H.L., Case, B.S., Curran-Cournane, F., Taylor, M., & Lear, G., (2017). Bacteria as emerging indicators of soil condition. *Applied and Environmental Microbiology* 83 e02826-16.
- Howe, A.C., Jansson, J.K., Malfatti, S.A., Tringe, S.G., Tiedje, J.M., & Brown, C.T., (2014). Tackling soil diversity with the assembly of large, complex metagenomes. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 111, 4904–4909.
- Isobe, K., Bouskill, N.J., Brodie, E.L., Sudderth, E.A., & Martiny, J.B.H., (2020). Phylogenetic conservation of soil bacterial responses to simulated global changes. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London - Series B: Biological Sciences* 375, 20190242.
- Jenny, H., (1994). *Factors of Soil Formation: A System of Quantitative Pedology*. Dover Publications, New York.
- Kaiser, E.-A., Kohrs, K., Kücke, M., Schnug, E., Heinemeyer, O., Munch, J.C., 1998. Nitrous oxide release from arable soil: importance of N-fertilization, crops and temporal variation. *Soil Biology and Biochemistry* 30, 1553–1563.
- Kibblewhite, M.G., Ritz, K., & Swift, M.J., (2008). Soil health in agricultural systems. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London - Series B: Biological Sciences* 363, 685–701.
- Kuzyakov, Y., & Blagodatskaya, E., (2015). Microbial hotspots and hot moments in soil: concept & review. *Soil Biology and Biochemistry* 83, 184–199.
- Lauber, C.L., Ramirez, K.S., Aanderud, Z., Lennon, J., & Fierer, N., (2013). Temporal variability in soil microbial communities across land-use types. *The ISME Journal* 7, 1641–1650.
- Lehmann, J., Bossio, D.A., Kogel-Knabner, I., & Rillig, M.C., (2020). The concept and future prospects of soil health. *Nature Reviews Earth & Environment*. <https://doi.org/10.1038/s43017-020-0080-8>.
- Lehman, R.M., Acosta-Martinez, V., Buyer, J.S., Cambardella, C.A., Collins, H.P., Ducey, T.F., Halvorson, J.J., Jin, V.L., Johnson, J.M.F., & Kremer, R.J., (2015). Soil biology for resilient, healthy soil. *Journal of Soil and Water Conservation* 70, 12A–18A.

- Lievens, B., Brouwer, M., Vanachter, A.C.R.C., Cammue, B.P.A., & Thomma, B.P.H.J., (2006). Real-time PCR for detection and quantification of fungal and oomycete tomato pathogens in plant and soil samples. *Plant Science: An International Journal of Experimental Plant Biology* 171, 155–165.
- Maron, P.-A., Sarr, A., Kaisermann, A., L'ev^eque, J., Mathieu, O., Guigue, J., Karimi, B., Bernard, L., Dequiedt, S., Terrat, S., Chabbi, A., & Ranjard, L., (2018). High microbial diversity promotes soil ecosystem functioning. *Applied and Environmental Microbiology* 84 e02738-17.
- Martin, R.E., Chadwick, K.D., Brodrick, P.G., Carranza-Jimenez, L., Vaughn, N.R., & Asner, G.P., (2018). An approach for foliar trait retrieval from airborne imaging spectroscopy of tropical forests. *Remote Sensing* 10, 199.
- McBratney, A., Field, D.J., & Koch, A., (2014). The dimensions of soil security. *Geoderma* 213, 203–213.
- Nannipieri, P., Giagnoni, L., Renella, G., Puglisi, E., Ceccanti, B., Masciandaro, G., Fornasier, F., Moscatelli, M.C., & Marinari, S., (2012). Soil enzymology: classical and molecular approaches. *Biology and Fertility of Soils* 43, 743–762.
- Nazaries, L., Murrell, J.C., Millard, P., Baggs, L., & Singh, B.K., (2013). Methane, microbes and models: fundamental understanding of the soil methane cycle for future predictions. *Environmental Microbiology* 15, 2395–2417.
- Neher, D.A., (2001). Role of nematodes in soil health and their use as indicators. *Journal of Nematology* 33, 161–168.
- Norris, C.E., Bean, G.M., Cappellazzi, S.B., Cope, M., Greub, K.L.H., Liptzin, D., Rieke, E. L., Tracy, P.W., Morgan, C.L.S., & Honeycutt, C.W., (2020). Introducing the North American project to evaluate soil health measurements. *Agronomy Journal* 112, 3195–3215.
- Odukkathil, G., & Vasudevan, N., (2013). Toxicity and bioremediation of pesticides in agricultural soil. Reviews in *Environmental Science and Biotechnology* 12, 421–444.
- Oliverio, A.M., Bradford, M.A., & Fierer, N., (2017). Identifying the microbial taxa that consistently respond to soil warming across time and space. *Global Change Biology* 23, 2117–2129.

- Prosser, J.I., (2015). Dispersing misconceptions and identifying opportunities for the use of 'omics' in soil microbial ecology. *Nature Reviews Microbiology* 13, 439–446.
- Ramírez, P.B., Fuentes-Alburquenque, S., Díez, B., Vargas, I., & Bonilla, C.A., (2020). Soil microbial community responses to labile organic carbon fractions in relation to soil type and land use along a climate gradient. *Soil Biology and Biochemistry* 141, 107692.
- Robertson, G.P., Hutson, M.A., Evans, F.C., & Tiedje, J.M., (1988). Spatial variability in a successional plant community: patterns of nitrogen availability. *Ecology* 69, 1517–1524.
- Rousk, J., & Frey, S.D., (2015). Revisiting the hypothesis that fungal-to-bacterial dominance characterizes turnover of soil organic matter and nutrients. *Ecological Monographs* 85, 457–472.
- Sanderman, J., Savage, K., & Dungal, S.R.S., (2020). Mid-infrared spectroscopy for prediction of soil health indicators in the United States. *Soil Science Society of America Journal* 84, 251–261.
- Schlatter, D., Kinkel, L., Thomashow, L., Weller, D., & Paulitz, T., (2017). Disease suppressive soils: new insights from the soil microbiome. *Phytopathology* 107, 1284–1297.
- Schloter, M., Nannipieri, P., Sørensen, S.J., & van Elsas, J.D., (2018). Microbial indicators for soil quality. *Biology and Fertility of Soils* 54, 1–10.
- Sinsabaugh, R.L., Lauber, C.L., Weintraub, M.N., Ahmed, B., Allison, S.D., Crenshaw, C., Contosta, A.R., Cusack, D., Frey, S., Gallo, M.E., Gartner, T.B., Hobbie, S.E., Holland, K., Keeler, B.L., Powers, J.S., Stursova, M., Takacs-Vesbach, C., Waldrop, M. P., Wallenstein, M.D., Zak, D.R., & Zeglin, L.H., (2008). Stoichiometry of soil enzyme activity at global scale. *Ecology Letters* 11, 1252–1264.
- Six, J., Frey, S.D., Thiet, R.K., & Batten, K.M., (2006). Bacterial and fungal contributions to carbon sequestration in agroecosystems. *Soil Science Society of America Journal* 70, 555–569.
- Stewart, R.D., Jian, J., Gyawali, A.J., Thomason, W.E., Badgley, B.D., Reiter, M.S., & Strickland, M.S., (2018). What we talk about when we talk about soil health. *Agricultural & Environmental Letters* 3, 1–5.

- Stott, D.E., (2019). Recommended Soil Health Indicators and Associated Laboratory Procedures. *Soil Health Technical Note No. 450-03*. U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service.
- Strickland, M.S., & Rousk, J., (2010). Considering fungal: bacterial dominance in soils– methods, controls, and ecosystem implications. *Soil Biology and Biochemistry* 42, 1385–1395.
- Tang, J., Zhang, J., Ren, L., Zhou, Y., Gao, J., Luo, L., Yang, Y., Peng, Q., Huang, H., & Chen, A., (2019). Diagnosis of soil contamination using microbiological indices: a review on heavy metal pollution. *Journal of Environmental Management* 242, 121–130.
- Van Bruggen, A.H.C., & Semenov, A.M., (2000). In search of biological indicators for soil health and disease suppression. *Applied Soil Ecology* 15, 13–24.
- Van Der Heijden, M.G.A., Bardgett, R.D., & Van Straalen, N.M., (2008). The unseen majority: soil microbes as drivers of plant diversity and productivity in terrestrial ecosystems. *Ecology Letters* 11, 296–310.
- Velasquez, E., Lavelle, P., & Andrade, M., (2007). GISQ, a multifunctional indicator of soil quality. *Soil Biology and Biochemistry* 39, 3066–3080.
- Visser, S., & Parkinson, D., (1992). Soil biological criteria as indicators of soil quality: soil microorganisms. *American Journal of Alternative Agriculture* 7, 33–37.
- Waksman, S.A., (1927). *Principles of Soil Microbiology*. Williams & Wilkins, Baltimore.
- Wardle, D.A., Bardgett, R.D., Klironomos, J.N., Setälä, H., van der Putten, W.H., & Wall, D. H., (2004). Ecological linkages between aboveground and belowground biota. *Science* 304, 1629–1633.

BÖLÜM 11

TOPRAK SAĞLIĞI ve SAYISAL TOPRAK MODELLEME

Arş. Gör. Abdullah ATUM^{1*}

Dr. Öğr. Üyesi Miraç KILIÇ²

Dr. Öğr. Üyesi İbrahim Halil YANARDAĞ³

Dr. Öğr. Üyesi Asuman YANARDAĞ⁴

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.13774864>

¹ Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Ziraat Fakültesi, Malatya Turgut Özal Üniversitesi, Malatya/Türkiye, Adres, OrcID: 0009-0003-7666-5148

E-posta: abdullah.atum@ozal.edu.tr

² Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Ziraat Fakültesi, Malatya Turgut Özal Üniversitesi, Malatya/Türkiye, Adres, OrcID: 0000-0001-8026-5540

E-posta: mirac.kilic@ozal.edu.tr

³ Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Ziraat Fakültesi, Malatya Turgut Özal Üniversitesi, Malatya/Türkiye, Adres, OrcID: 0000-0003-2558-9600

E-posta: ibrahim.yanardag@ozal.edu.tr

⁴ Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Ziraat Fakültesi, Malatya Turgut Özal Üniversitesi, Malatya/Türkiye, Adres, OrcID: 0000-0003-3236-1532

E-posta: asuman.yanardag@ozal.edu.tr

*Corresponding Author: abdullah.atum@ozal.edu.tr

1. Giriş

Toprak sağlığı, sürdürülebilir tarım için kritik bir role sahiptir. Bitkisel verim, çevre sağlığı ve ekosistem dayanıklılığını etkilediği bildirilmiştir (Tahat vd, 2020; Pandao vd, 2024). Toprak sağlığı toprakta fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçlerin dengeli bir şekilde işlenmesini ifade eder (Moulik vd, 2024; Vezzani vd, 2024). Toprak kalitesi, bitkisel üretimi, bitkilerin stres faktörlerine karşı dayanıklılığını, su yönetimini, karbon tutulumunu ve genel ekosistem sağlığını doğrudan etkilemektedir. (Mondal vd, 2024; Sharma ve Kumar, 2024). Artan gıda talebini karşılamak için tarımsal faaliyetlerin artması, toprak ekosisteminde ve toprak sağlığında önemli değişikliklere neden olmuştur (Pandao vd, 2024). Bu nedenle, toprak sağlığı sürdürülebilir tarım için kritik bir konudur ve gıda güvenliğinin sağlanmasında önemli bir rol oynamaktadır. (Vezzani vd, 2024; Moulik vd, 2024). Toprak sağlığının korunması koruyucu toprak işleme, vermikompostlama, ürün çeşitliliğini artırma, bitkisel artıkların yönetimi, organik toprak düzenleyiciler, gübre kullanımının yönetimi, sulama yönetimi, doğal mineral düzenlemeler, toprak biyolojisini iyileştirmek için yararlı mikroorganizmalar ve biyopestisit uygulamaları yapılabilir (Mondal vd, 2024; Sharma ve Kumar, 2024). Bu uygulamalar, toprak sağlığının iyileştirilmesine katkıda bulunurken, besin döngüsünün iyileştirilmesine, girdilerin azaltılmasına ve tarım arazilerinin sürdürülebilir hale getirilmesine yardımcı olmaktadır. (Vezzani vd, 2024; Moulik vd, 2024).

Sürdürülebilir tarım uygulamalarının uzun vadede ekosistemlerin sağlığına etkilerini anlayabilmek için toprak sağlığı ve toprak verimliliği arasındaki ilişki önemlidir. Topraktaki mikroorganizma faaliyetlerinin toprak ve bitki sağlığının artırılmasında çok önemli bir rolü vardır (Prasad vd, 2015; Boroujeni vd, 2021), bu da sürdürülebilir tarım açısından önemli bir strateji olarak görülmektedir (Boroujeni vd, 2021). Toprak sağlığının toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik bileşenlerinin bitki büyümesi ve besin yönetimi üzerindeki etkilerini inceleyen Grover

ve arkadaşları (2024) toprak sağlığını iyi hale getirmenin bitkisel verimliliği artırdığını ve çevresel sürdürülebilirliğe olumlu katkısının olduğunu bildirmişlerdir.

2. Toprak Sağlığı ve Sürdürülebilir Toprak Yönetimi Arasındaki İlişki

Sürdürülebilir toprak yönetiminin temel yapıtaşı toprak sağlığıdır. Ekosistemin uzun vadede işlevselliğinin korunması ve tarımsal verimliliğin artırılmasında büyük bir rol oynamaktadır. Toprağın kimyasal, biyolojik ve fiziksel bütünlüğün korunması gelecekte yaşanması muhtemel gıda güvenliği ve iklim değişikliğine karşı dayanıklılık açısından vazgeçilmez bir unsurdur. (Maharjan vd, 2024). Toprak koruma yöntemlerine erozyonun azaltılması, su tutma kapasitesinin artırılması ve bitki besin elementlerinin döngüsünün iyileştirilmesi gibi unsurlar örnek verilebilir. Ara ürün bitkiler yetiştirmek ve sıfır toprak işleme (no-till) gibi uygulamalar, toprak yapısının korunmasına ve mikroorganizma aktivitelerinin artırılmasını sağlamaktadır (Lal, 2015). Toprak sağlığı; bitki, hayvan ve insanları ayakta tutan hayati bir öneme sahip olan ekosistemin devam edebilmesi açısından işlevini tanımlamak için kullanılabilir (NRCS, 2023). Buna ek olarak, tarımsal üretim ve iklim değişikliğinden meydana gelen sorunlara karşı uyum sağlayarak, iklim değişikliğinin etkilerini en aza indirmek için ekosistemin bir parçasını kapsayan bir ilke olarak da görülebilir (IPCC, 2014). Toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri, özetle toprak sağlığı göstergeleri, tarımsal üretim gerçekleştirilen bölgelerdeki toprak sağlığı hakkında fikir verici olmaktadır (Das vd, 2023). Bagnal vd, (2023) Kuzey Amerika toprak sağlığı ölçme ve değerlendirme projesinde, 37 toprak özelliği parametresi incelenmiş; toprak organik karbon potansiyeli ve agregat stabilitesini kritik toprak sağlığı göstergesi olarak belirlenmiştir. Toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerin korunup toprağın sürdürülebilir şekilde yönetilebilmesi için sürdürülebilir toprak yönetimi uygulamaları vasıtasıyla korunması

tarımsal üretimde devamlılığı sağlama bakımından çok önemlidir. Bazı araştırmalar, toprak biyoçeşitliliğinin korunması ve organik madde seviyesinin artırılmasının toprak sağlığının iyileştirilmesine önemli düzeyde katkıda bulunduğunu göstermektedir (Lehman vd, 2015).

3. Toprak Sağlığı Göstergeleri

Toprak sağlığı göstergeleri, toprak ekosisteminin işleyişini ve bitkisel verimliliği belirleyen fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerin bir araya gelmesiyle meydana gelir. Fiziksel toprak sağlığı göstergeleri toprak strüktürü, toprak yoğunluğu ve su tutma kapasitesi gibi parametrelerdir. Bu özellikler toprağın su ve hava geçirgenliği, bitki köklerinin gelişimi ve erozyona karşı direnç konusunda kritik rol oynamaktadır (Lal, 2015). Bitkisel verim ve toprak sağlığı arasında doğrudan bir ilişki vardır. Sağlıklı topraklarda mikroorganizma faaliyeti daha yüksek olurken bitkilerin besin elementine erişimi de yüksektir bu da tarımsal verimliliğe olumlu katkı da bulunur (Lehman vd., 2015). Buna karşın sağlıklı topraklar insan ve çevre sağlığı açısından olumsuz etkilere sahip ör: ağır metal, mikroplastik gibi inorganik bileşikler içermektedir. Biyolojik toprak sağlığı göstergeleri arasında mikrobiyal biyokütle, toprak enzim aktivitesi ve toprakta bulunan diğer mikroorganizmalar yer almaktadır. Bu biyolojik göstergeler toprakta organik maddenin parçalanması, besin döngüsü ve bitki büyümesini etkileyen belirleyici süreçlerin bir parçası olmaktadır (Lehman vd., 2015). Son olarak toprak sağlığının göstergelerinden olan kimyasal göstergeler topraktaki pH, besin elementi durumu, organik madde içeriği ve özellikle ağır metal gibi kirleticilerin durumunu belirtir (Kibblewhite vd., 2008). Ağır metal ve mikroplastiklerin topraktaki birikimi sonucu mikroorganizma faaliyeti baskılanır, bitkisel verimlilik düşer ve nihayetinde besin zinciri yoluyla insan ve hayvan sağlığını tehdit eder. Bu göstergeler dikkate alındığı zaman toprak sağlığının korunması her ne kadar tarım ve gıda güvenliği için önemli ise halk ve çevre sağlığının korunması açısından da bir o kadar önemlidir.

4. Toprak Sağlığı Göstergeleri ve Sayısal Toprak Modelleme

Toprak sağlığı parametrelerini gösteren, toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini kapsayan ölçütlerdir. Bu ölçütler, toprak verimliliği, ekosistemin işlevleri ve çevresel sürdürülebilirlik açısından büyük öneme sahiptir. Toprak sağlığı değerlendirilirken genel olarak organik madde içeriği, toprağın mikrobiyal biyokütlesi, enzim aktiviteleri, pH, mikroplastikler ve ağır metaller gibi parametreler göz önüne alınır. Toprak organik maddesi toprak yapısının korunmasına, su tutma kapasitesinin artırılmasına ve bitkilerin besin elementinden yararlılığının artmasına yardımcı olur (Kok vd., 2024). Toprak mikrobiyal biyokütle ve enzim aktivitesi organik maddenin minerilizasyon sürecinde olumlu etkileri vardır ve bu sayede bitki büyümesini destekler. Mikroplastikler ve ağır metal içeriği toprağın biyolojik işlevini olumsuz etkileyerek hem toprak sağlığı hem de bitki verimliliğini olumsuz etkileyebilir. (Maharjan vd., 2024).

Mikroplastikler, pestisitler ve çeşitli atıklar gibi kirleticiler, toprak özellikleri, mikrobiyal topluluklar ve genel ekosistem işlevselliği üzerindeki derin etkileri nedeniyle toprak sağlığının önemli göstergeleri olarak hizmet etmektedir.

Karbon bazlı malzemeler olarak bilinen mikroplastiklerin toprak ekosistemlerinde birikerek çeşitli etkilere yol açtığı bilinmektedir. Bunlar, toprak verimliliğini doğrudan veya dolaylı yollarla etkiler iken varlıkları aynı zamanda toprak mikrobiyal çeşitliliğini ve işlevini bozabilecek dış kaynaklı kirleticiler olarak risk oluşturmaktadır. Mikroplastiklerin birikmesi, toprak sağlığını korumak için gerekli olan toprak strüktürünü, su tutma niteliğini ve besin kullanılabilirliğini olumsuz etkileyebilmektedir. Ayrıca, mikroplastiklerin varlığı, çeşitliliklerini ve metabolik işlevlerini etkileyerek toprak sağlığında hayati bir rol oynayan mikrobiyal topluluklara müdahale edebilir (Zheng vd., 2022).

Pestisitler, toprak sağlığının bir göstergesi olarak hizmet edebilecek bir diğer kritik kirleticiyi temsil etmektedir (Tripathi vd.,

2020). Pestisitlerin uygulanması, mikrobiyal toplulukları bozarak ve biyoçeşitliliği azaltarak toprak kalitesinin bozulmasına yol açabilir. Bu kimyasalların varlığı sadece bitki sağlığını tehlikeye atmakla kalmaz, aynı zamanda gıda güvenliği ve ekosistem bütünlüğü ile ilgili endişeleri de artırır (Hossain vd., 2022). Ürün rotasyonu ve organik değişiklikler gibi sürdürülebilir toprak yönetimi uygulamaları, pestisit kontaminasyonunun olumsuz etkilerini azaltmak ve uzun vadeli toprak verimliliğini korumak için gereklidir (Verma vd., 2020). Ayrıca, toprak sağlığının değerlendirilmesi, pestisit kalıntılarının konsantrasyonlarının analiz edilmesiyle anlaşılabilir; bu da kontaminasyonun boyutu ve toprak ekosistemleri üzerindeki potansiyel etkileri hakkında bilgi sağlayabilir (Lat vd., 2023).

Ağır metaller ve organik kirleticiler de dahil olmak üzere atıklar da toprak sağlığının kritik göstergeleridir. Toprakta ağır metallerin bulunması, toprağın kalitesini ve içindeki organizmaların sağlığını önemli ölçüde etkileyebilir. Örneğin, çalışmalar ağır metal kirliliğinin mikrobiyal aktivitenin azalmasına ve toprak kimyasının değişmesine yol açarak toprak sağlığını tehlikeye atabileceğini göstermiştir (Sama vd., 2023). Kirlenme faktörü ve ekolojik risk değerlendirmeleri gibi endeksler kullanılarak toprak kirliliğinin değerlendirilmesi, bu kirleticilerin hem insan sağlığı hem de çevre için oluşturduğu potansiyel riskler hakkında değerli bilgiler sağlayabilir (Panico vd., 2023; Günal vd., 2023). Ayrıca, atık kirliliğiyle ilişkili olarak toprak sağlığının değerlendirilmesi genellikle toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinin incelenmesini içerir; bu da bozulma düzeyini ve iyileştirme stratejilerine duyulan ihtiyacı gösterebilir (Yoon vd., 2024).

Sayısal toprak modelleme uygulaması bu parametreleri değerlendirmek ve toprak sağlığını izlemek için kullanılabilen ileri bir teknoloji olarak karşımıza çıkar. Uzaktan algılama NIR spektroskopisi ve yapay zekâ/derin öğrenme modelleri gibi teknolojiler toprak sağlığı parametrelerinin mekansal varyasyonunun hassas bir şekilde ölçmek için kullanılabilir (Hengl ve Greve, 2024). Bu sayede tarım arazilerinin

verimliliğini artırmak ve çevresel sürdürülebilirliği sağlamak için daha ileri ve etkin yöntemler geliştirilebilir.

5. Toprak Sağlığı Tahmin ve Sınıflamasında Kullanılan Ortak Değişkenler

Toprak sağlığının tahmin edilmesi ve sınıflandırılmasında kullanılan makine öğrenme modelleri toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini değerlendirmektedir. Bu özellikler toprak sağlığını etkileyen önemli değişkenler olarak kabul edilmektedir. Bundan dolayı modelin performansını optimize etmek için sık kullanılmaktadır. Toprak sağlığını tahmin etmek ve sınıflandırmak için sık kullanılan ortak değişkenler ise şunlardır;

Toprak Organik Karbonu: Toprağın organik karbon içeriği toprak sağlığının temel göstergelerinden birisidir. Organik karbon toprak verimliliğini, su tutma kapasitesini ve mikrobiyal aktiviteyi doğrudan etkilemektedir. Makine öğrenme modellerinde organik karbon toprak sağlığı tahmininde sık kullanılan bir değişkendir. Toprak organik karbon seviyesi toprak içerisindeki organik madde miktarını belirler ve bundan dolayı bitkisel verimliliğin önemli bir göstergesi olarak karşımıza çıkmaktadır. (Liu vd., 2024).

pH Değeri: Toprağın pH değeri topraktaki asidik ve bazik özellikleri yansıtmaktadır ve bitkilerin besin elementlerinden biyoyararlanımını doğrudan etkileyen bir unsurdur. pH toprak sağlığını etkileyen önemli bir faktör olduğundan dolayı birçok model de yaygın olarak kullanılan bir değişkendir. Bitki türlerinin ve mikroorganizmaların büyümesi ve gelişmesi belirli bir pH aralığına bağlı olduğu bilinmektedir (Bárcenas-Moreno, Bååth, & Rousk, 2016).

Toprak Tekstürü (Kum, Silt, Kil Oranları): Toprak tekstürü toprağın fiziksel yapısını ve hava-su geçirgenliğini belirleyen bir faktördür. Kum, silt ve kil oranlar toprak yapısının sınıflandırılmasında kullanılmaktadır. Bu oranlar toprak sağlığını doğrudan etkileyen

unsurdur. Toprak tekstürü kök gelişimini, su tutma kapasitesini ve mikroorganizma aktivitesini belirlemektedir. (Abishek vd., 2023).

Bitki Besin Elementleri: Bitkilerin büyüüp gelişebilmesi için makro ve mikro elementlere ihtiyacı vardır. Bu besin elementlerinin topraktaki miktarı toprak sağlığı ve bitkisel verimlilik açısından önemli bir parametredir. Besin elementleri bitkilerin beslenmesinde önemli bir role sahip olduğu gibi makine öğrenme modellerinde yaygın olarak kullanılan değişkenler arasındadır. (M. R. vd., 2023; Vadivelan & Prasad, 2024; Kumar & Kaur, 2024)

Toprak Nem İçeriği: Bitkilerin su ihtiyacını karşılaması ve topraktaki mikroorganizmaların yaşamını sürdürebilmesi açısından toprağın nem içeriği gerekli olan etkenlerden birisidir. Toprağın nem içeriği, su tutma kapasitesi ve buharlaşma oranları gibi değişkenlerle değerlendirilmektedir ve toprak sağlığının önemli göstergelerinden birisi olarak karşımıza çıkar. Özellikle akıllı sulama sistemlerinin yönetilmesinde bu değişkenin etkisi fazladır. (Padmavathi vd., 2024).

Mikrobiyal Aktivite: Toprak içerisindeki mikrobiyal aktivite organik maddenin parçalanmasını ve besin döngüsünü sağlamaktadır. Mikrobiyal biyokütle ve enzim aktiviteleri parametreler toprak sağlığını değerlendirmek için kullanılan biyolojik göstergelerdir. Bu göstergeler toprak sağlığının tahmin edilmesinde önemli değişkenler olarak görülmektedir. (Qu vd., 2023; Datt & Singh, 2019; Joos vd., 2023)

Ağır Metaller: Toprak kirliliğinin ve toksisite riskinin göstergesinden birisi ağır metal içeriğidir. Toprakta bulunan ağır metal (ör: kurşun, kadmiyum, cıva) konsantrasyonları toprak sağlığını olumsuz etkilemekte ve bundan dolayı toprak sağlığının belirlenmesinde makine öğrenme modelleri içerisinde dikkate alınmaktadır (Naizabayeva & Zakirova, 2023; Cipullo vd., 2019; Smolders vd., 2009).

Toprak Sıcaklığı: Toprak mikroorganizma aktivitesi, su buharlaşması ve bitki büyümesini etkileyen bir diğer unsur ise toprak sıcaklığıdır. Toprak sıcaklığı özellikle bitki kök gelişimi ve su

emiliminde önemli bir rol oynamaktadır (Ahmad Sabri vd., 2018; McMichael & Burke, 2002; Forbes, 1999).

Bu değişkenler toprak sağlığının tahmin edilmesi ve sınıflandırılması açısından makine öğrenme modellerinde sıklıkla kullanılan temel bileşenlerdir. Her bir değişken toprak sağlığının farklı yönünü temsil ederken bu değişkenlerin bir araya getirilerek bir sonuca ulaşılması ise daha doğru ve güvenilir tahminler yapılmasını sağlamaktadır.

6. Toprak Sağlığı Göstergeleri Tahmininde ve Sınıflamasında Kullanılan Yöntemler

Toprak sağlığı göstergelerinin belirlenmesi ve tahminlerde bulunularak sınıflandırılması için kullanılan istatistiksel ve makine öğrenme modelleri, toprak verimliliğini ve ekosistem sağlığının iyileştirilmesi açısından önemli bilgiler sağlar. İki temel yaklaşım olan klasik lineer regresyon ve doğrusal olmayan regresyon modelleri farklı veri yapılarına göre ve analiz ihtiyacına göre kullanılmaktadır.

Klasik Lineer Regresyon: iki veya daha fazla değişken varsa doğrusal ilişkileri modellemek için kullanılmaktadır. Bu yöntem basit ve anlaşılır olmasından dolayı toprak sağlığı göstergelerinin belirlenmesi ve tahmin edilmesi sürecinde çok sık tercih edilmektedir. Örneğin toprak organik karbon içeriğinin toprak özellikleriyle olan doğrusal ilişkisini modellemek için klasik lineer regresyon yöntemi kullanılabilir. Fakat toprak sağlığı göstergeleri genel de karmaşık, doğrusal olmayan ve çok değişkenli bir veri seti olduğundan dolayı klasik lineer regresyon bu ilişkilerin tamamını yakalayamayabilir. Bundan dolayı modelin belirleyici ve tahmin edici doğruluğu düşebilir ve model toprak sağlığını etkileyen tüm faktörleri kapsayan model olarak değerlendirilemez. (Berardinelli vd., 2018; Sestak vd., 2019)

Doğrusal Olmayan Regresyon: özellikle toprak sağlığı göstergelerinin karmaşık ve çok boyutlu veri kümelerinin tahmin edilmesi gerektiğinde kullanılmaktadır. Toprak sağlığı göstergelerini

daha iyi modellemek için Gaussian Process Regression (GPR) ve Support Vector Regression (SVR) gibi yöntemler kullanılmaktadır. Toprak organik karbon içeriğinin tahmin edilmesinde GPR modeli toprağın spektral verilerini kullanarak daha doğru bir veri sağlamaktadır (Liu vd., 2024). Esnek bir yöntem olarak doğrusal olmayan yapıları daha kolay yakalayabilen GPR toprak örneklerinin çok boyutluluğunu ve heterojenliğini diğer yöntemlere göre daha iyi temsil etmektedir. (Rose, Nickolas, & Sangeetha, 2022; Cipullo vd., 2022).

Hibrit Modeller: Hibrit modellerin kullanımı son zamanlarda giderek artmaktadır. Bu modeller, birden fazla regresyon tekniğini bir araya getirir ve toprak sağlığı parametrelerinin tahmin edilmesinde daha yüksek performans elde etmeyi amaçlar. Örneğin Hibrit Kernel Gaussian Process Regression (HKF-GPR) modeli klasik GPR modelinin performansını artırmak için farklı kernel fonksiyonlarını bir araya getirir ve bu şekil de geniş toprak spektral kütüphanelerinde toprak organik karbon içeriğinin tahmininin de iyi bir başarı göstermektedir. (Liu vd., 2024).

Mekansal Tahmin ve Regresyon Kriging: Mekansal istatistiksel yöntemlerden birisi de Regresyon Kriging'dir. Bu yöntem toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerinin mekansal varyasyonunu tahmin etmek için topografik ve çevresel parametreleri birleştirerek bir tahmin de bulunur. Örneğin Sarkodie ve arkadaşları (2024) yaptıkları bir çalışmada regresyon kriging yöntemi kullanarak orman topraklarında bazik katyonların (Ca, Mg ve K) mekansal dağılımını tahmin etmişler ve toprak sağlığı parametrelerinin mekansal varyasyonu tahmin etmede oldukça başarılı olduğunu bildirmişlerdir. Bu tür modellemeler sürdürülebilir toprak yönetimi ve çevresel planlama açısından önemlidir. Bu yöntemler toprak sağlığının daha hassas değerlendirilmesi ve yönetilmesi açısından önemli fırsatlar sunmaktadır.

Rassal Ağaçlar (Random Forest (RF)): Bu algoritma bir dizi karar ağacı modeli oluşturularak farklı toprak sağlığı parametrelerinin sınıflandırılmasında kullanılır. Random Forest yüksek doğruluk oranı

sunarken aynı zamanda karmaşık ve doğrusal olmayan ilişkileri tespit edebilmektedir. Ullah ve ark., (2024) yaptıkları bir çalışma da rassal ağaçlar modellemesini kullanarak toprak organik karbon içeriğinin tahmin edilmesini ve sınıflandırılmasını başarıyla gerçekleştirmişlerdir. Random Forest modellemesi özellikle büyük veri kümeleri ve karmaşık yapıya sahip veri kümeleri ile çalışırken tercih edilmektedir.

Destek Vektör Makineleri (Support Vector Machine (SVM)): Support vector machine (SVM) algoritması özellikle sınırlı veri setleri ve daha yüksek boyutlu veri alanları için uygundur. SVM toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerinin sınıflandırılmasında ve özellikle doğrusal olmayan sınırları belirlemek için kullanılır. Malamsha ve ark., (2023) SVM algoritmasının toprak dokusu ve besin içeriği gibi özelliklerin tahmin edilmesinde başarılı olduğunu bildirmişlerdir.

Katmanlı Sinir Ağları (Convolutional Neural Networks (CNN)): Convolutional Neural Networks (CNN) algoritması toprak verilerinin özellikle görüntü verilerini işleme için kullanılan derin öğrenme algoritmaları arasındadır. Toprak dokusunun görüntü analizi yoluyla tahmin edilmesinde CNN başarılı bir şekilde kullanılır. Bu algoritma toprağın fiziksel yapısını anlamak ve hızlı bir şekilde tahmin etmek için daha verimlidir. (Abishek vd., 2023).

Gaussian Süreç Regresyonu (Gaussian Process Regression (GPR)): Gaussian Process Regression (GPR) algoritması, doğrusal olmayan regresyon problemlerinde tercih edilen bir yöntemdir ve belirsizlikleri tahmin etme de güçlüdür. Toprağın spektral verilerini karmaşık veri kümelerinin işlenmesinde tercih edilen GPR toprak organik karbon ve diğer kimyasal özelliklerin tahmininde de kullanılmaktadır (Liu vd., 2024).

Hibrit Modeller: Hibrit modeller birden fazla makine öğrenme algoritmalarını bir araya getirilerek daha yüksek performans elde etmek için tercih edilen bir yöntemdir. Örneğin hibrit kernel GPR modeli kullanılarak klasik GPR'nin performansının daha da artırılması için farklı kernel fonksiyonlarının birleştirilmesi ve büyük toprak veri

tabanlarında yüksek doğruluk sağlanmasını amaçlar (Padmavathi vd., 2024).

Makine öğrenme algoritmalarının toprak sağlığının tahmin edilmesinde ve sınıflandırılmasında kullanımının tercih edilmesi tarımsal verimliliği artırmak, sürdürülebilir toprak yönetiminin sağlanması ve çevresel etkilerin en aza indirilmesi açısından büyük öneme sahiptir.

7. Toprak Sağlığı Göstergeleri Tahmininde ve Sınıflamasında Kullanılan Yöntemlerin Tahmin Başarısı

Makine öğrenimi teknikleri, özellikle ensemble (topluluk) yöntemler, toprak özelliklerinin tahmin doğruluğunu artırmada önemli bir potansiyel göstermiştir. Örneğin, vd. (Radočaj, 2023), ensemble makine öğrenimi tekniklerinin, Rassal Ağaçlar (RF), Destek Vektör Makineleri (SVM) ve Extreme Gradient Boosting (XGBoost) gibi algoritmalar dahil olmak üzere, farklı veri alt kümeleri üzerinde eğitilmiş birden fazla modeli birleştirerek tahmin doğruluğunu etkili bir şekilde artırabileceğini vurgulamıştır. Bu yaklaşım, bireysel algoritmaların sınırlamalarını ele alarak daha sağlam bir tahmin çerçevesi oluşturur. Benzer şekilde, geleneksel doğrusal regresyon yöntemleri yerine makine öğreniminin kullanılması, özellikle daha yüksek çözünürlüklü uzaktan algılama kaynaklı ortak değişken katmanları kullanıldığında, toprak özellikleri haritalama doğruluğunda önemli iyileştirmeler sağlamıştır (Hengl vd., 2017).

Toprak tuzluluğu tahmin haritalaması bağlamında, çalışmalar, toprak koşullarını etkili bir şekilde değerlendirmek için ileri düzey makine öğrenimi algoritmalarını kullanmıştır. Örneğin, Hoa vd. (2019), Sentinel-1 SAR görüntüleriyle birleştirilmiş makine öğrenimi tekniklerini toprak tuzluluğu seviyelerini tahmin etmek için kullanmış ve arazi kullanım planlaması için doğru haritalamanın önemini vurgulamıştır. Karşılaştırmalı bir çalışmada, Wang vd. (2019), farklı coğrafi konumlarda toprak tuzluluğunu tahmin etmek için LASSO,

MARS ve RF dahil olmak üzere çeşitli makine öğrenimi algoritmalarını değerlendirmiş ve RF'nin tahmin doğruluğu açısından diğer yöntemlerden sürekli olarak daha iyi performans gösterdiğini bulmuştur. Bu eğilim, Vermeulen & Niekerk (2017) tarafından yapılan ve jeomorfometrik ortak değişkenler kullanılarak toprak tuzluluğu tahminlerine uygulandığında makine öğrenimi modellerinin üstün performansını rapor eden çalışmada da yansıtılmıştır.

Bu bağlamda, araştırmaların ortak noktası farklı ML algoritmalarının tahmin başarısının karşılaştırması olmuştur ve nihayetinde ise makine öğrenimi algoritması seçimi, toprak sağlığı tahminlerinin doğruluğunu önemli ölçüde etkilediği vurgulanmıştır. Zhang vd. (2020), toprak partikül boyutu (kum, silt ve kil) fraksiyonlarını sınıflandırmak için beş makine öğrenimi modelini sistematik olarak karşılaştırmış ve yapay sinir ağları ile karar ağaçlarının diğer modellere kıyasla daha yüksek doğruluk ve yorumlanabilirlik sağladığını bulmuştur. Bu bulgu, Kamarudin'in (2023) araştırmasından elde edilen ve bir Soft Voting ensemble yaklaşımı kullanılarak sınıflandırma algoritmalarının optimize edilmesine odaklanan sonuçlarla da uyumludur; bu da toprak verimliliği sınıflandırmasında geliştirilmiş performans göstermektedir. Ayrıca, Emadi vd. (2020), ANN ve RF dahil olmak üzere çeşitli makine öğrenimi algoritmalarının toprak organik karbon içeriğini tahmin etmedeki etkinliğini vurgulamıştır.

Sayısal toprak modelleme bağlamında toprak sağlığı tahmin ve sınıflandırma modellerinin performansını etkileyen bir diğer unsur ise veri ön işlemedir. Veri ön işleme teknikleri de makine öğrenimi algoritmalarının performansında kritik bir rol oynadığı birçok araştırmada dikkat çekmektedir. Li vd. (2020), veri ön işleme yöntemlerinin önemini vurgulayarak, temel düzeltme ve özellik seçiminin toprak azot içeriğini tahmin etmek için geleneksel modelleme yaklaşımlarının doğruluğunu önemli ölçüde etkilediğini belirtmiştir. Bu açıdan, girdi verilerinin istatistiksel özellikleri ve kalitesi doğrudan makine öğrenimi tahminlerinin güvenilirliğini etkiler. Dahası, Uddin &

Hassan (2022) tarafından tartışılan ortak değişken seçim algoritmalarının entegrasyonu, model eğitimi için en alakalı özellikleri belirleyerek toprak türlerinin sınıflandırma doğruluğunu artırdığı bildirilmiştir.

Model performansının değerlendirilmesi, toprak sağlığı tahmininde makine öğrenimi uygulamalarının bir diğer önemli bileşenidir. Çeşitli çalışmalar, farklı algoritmaların tahmin yeteneklerini değerlendirmek için belirleme katsayısı (R^2), kök ortalama kare hata (RMSE) ve doğruluk oranları gibi metrikler kullanmıştır. Örneğin, Zhu vd. (2022), geri yayılım sinir ağları ve destek vektör regresyonunun toprak kayma dayanımı parametrelerini tahmin etmedeki performansını değerlendirmek için R^2 ve RMSE kullanmış ve BPNN modelinin en doğru tahminleri sağladığını bulmuştur. Benzer şekilde, Soberano (2023), Rassal Ağaçlar algoritmasının tarımsal uygulamalarda toprak-mahsul uygunluk desenlerini tahmin etmede %94.6 doğruluk oranına ulaştığını bildirmiş ve bu modelin etkinliğini ortaya koymuştur.

Ayrıca, çevresel faktörlerin toprak sağlığı tahminleri üzerindeki etkisi çeşitli makine öğrenimi yaklaşımlarıyla araştırılmıştır. Radočaj'ın (2023) biyoklimatik ortak değişkenlerin toprak karbon tahminlerine etkisi üzerine yaptığı araştırma, çevresel değişkenlerin ensemble makine öğrenimi modellerine dahil edilmesinin tahmin doğruluğunu önemli ölçüde artırdığını ortaya koymuştur. Bu bulgu, modellerin gerçek dünya senaryolarında uygulanabilirliğini artırarak değişen çevresel koşullara uyum sağlayabilen modeller geliştirmek için kritik öneme sahiptir.

8. Sonuç

Toprak sağlığını belirlemek için makine öğrenimi algoritmalarının uygulanmasına ilişkin literatür, çok sayıda çalışmanın bulgularına dayanan çeşitli öneriler sunmaktadır. Bu tavsiyeler genellikle toprak sağlığı değerlendirmelerinin doğruluğunu artırmaya, makine öğreniminin diğer teknolojilerle entegrasyonunu geliştirmeye ve veri kalitesi ile ön işlemenin önemini vurgulamaya odaklanmaktadır.

Uzaktan algılama verilerinden yararlanmanın, toprak sağlığı değerlendirmelerinde makine öğrenimi modellerinin tahmin yeteneklerini önemli ölçüde artırabilir. Uzaktan algılama verilerinin makine öğrenimi yöntemleriyle birleştirilmesinin, özellikle büyük çalışma alanlarında, toprak tuzluluğu gibi kurak ve yarı kurak alanlarda toprak sağlığı değerlendirmesinde kullanılması gereken göstergelerin daha doğru tahmin edilmesini sağladığı literatürde vurgulanmıştır. Bu entegrasyon, büyük uzamsal veri kümelerinin analizini kolaylaştırarak araştırmacıların farklı peyzajlarda toprak özelliklerinin varyasyonunu doğru bir şekilde belirlemesine olanak sağlayabilir. Benzer şekilde, daha yüksek çözünürlüklerde toprak özelliği haritalamasını iyileştirmek için makine öğrenimi algoritmalarının jeo-uzamsal verilerle birlikte kullanılması savunulmaktadır.

Gelecekteki çalışmalarda, büyük veri kümelerini ve toprak verilerindeki karmaşık ilişkileri ele almak için derin öğrenme teknolojilerini kullanmaya odaklanılması gerekmektedir. Örneğin, birden fazla modeli entegre ederek toprak karbon içeriği tahminlerini iyileştirmede topluluk makine öğrenimi tekniklerinin etkinliği değerlendirilmelidir. Gelişmiş algoritmaların kullanımı, toprak özellikleri arasındaki doğrusal olmayan ilişkileri ve etkileşimleri ortaya koymak için daha yetenekli olduklarından, potansiyel olarak daha doğru ve güvenilir toprak sağlığı değerlendirmelerine imkan sağlayabilir.

Öte yandan, modelin yorumlanabilirliği önemlidir. Toprak sağlığı değerlendirmelerinde şeffaf metodolojilere duyulan ihtiyaç duyulmaktadır. Örneğin, makine öğrenimi modelleri yüksek doğruluk elde edebilirken, tahminleri etkileyen altta yatan faktörlerin anlaşılmasının arazi yönetim uygulamaları için gereklidir. Bu, özellikle toprak sağlığı değerlendirmelerinden eyleme geçirilebilir içgörülere ihtiyaç duyan paydaşlar için önemlidir. Yani, yalnızca doğru tahminler sağlamakla kalmayıp aynı zamanda model çıktılarının yorumlanmasına da olanak tanıyarak toprak yönetimi uygulamalarında daha iyi karar vermeyi kolaylaştıran metodolojileri benimseme teşvik edilmektedir.

Toprak sağlığı alansal olarak değerlendirildiğinde; toprak özelliklerindeki bölgesel farklılıkları hesaba katan yerelleştirilmiş modellere ihtiyaç duyulmaktadır. Özellikle, topografya ve arazi kullanım yönetimindeki farklılıklar nedeniyle toprak sağlığı puanlarının arazi kullanım türleri (tarla, bahçe, mera gibi) arasında önemli ölçüde değişebilir. Bu nedenle, belirli coğrafi bölgelere göre uyarlanmış makine öğrenimi modellerinin geliştirilmesi, toprak sağlığı tahminlerinin doğruluğunu artırabilir. Bu yerelleştirilmiş yaklaşım, makine öğrenimi modellerinin tahmin performanslarını artırmak için yerel çevresel değişkenleri içermesi gerektiğini belirten bulgularla desteklenmelidir. Çünkü, modellerin farklı toprak türlerinin benzersiz özelliklerini yansıtacak şekilde özelleştirilmesi gerekmektedir.

Sonuç olarak, sayısal Toprak modelleme bağlamında Toprak sağlığı için inşa edilen makine öğrenimi modellerinin farklı çalışma alanlarında ve ortak değişkenler ile sürekli olarak eğitilmesi, doğrulanması ve test edilmesi gereklidir. Böylelikle, modellerin güvenilirliklerini ve genellenebilirliklerini sağlamak için bağımsız veri kümeleri kullanarak modellerinin kapsamlı doğrulamasını yapmaları önemlidir. Bu yaklaşım, makine öğrenimi algoritmalarının tahmin yeteneklerine güven oluşturmak ve tarımsal uygulamalarda benimsenmelerini teşvik etmek için çok önemlidir. Yeni veri ve bulgulara dayalı olarak modellerin sürekli değerlendirilmesi ve iyileştirilmesi, toprak sağlığı değerlendirme metodolojilerinin ilerlemesine katkıda bulunacaktır.

KAYNAKLAR

- Abishek, J., Kannan, P., Devi, M. N., Prabhakaran, J., Sampathkumar, T., & Kalpana, M. (2023). Soil Texture Prediction Using Machine Learning Approach for Sustainable Soil Health Management. *Journal Article*. <https://doi.org/10.9734/ijpss/2023/v35i193685>
- Ahmad Sabri, N. S., Zakaria, Z., Mohamad, S. E., Jaafar, A. B., & Hara, H. (2018). Importance of soil temperature for the growth of temperate crops under a tropical climate and functional role of soil microbial diversity. *Microbes and Environments*, 33(2), 122-130. <https://doi.org/10.1264/JSME2.ME17181>
- Bagnal, R., Smith, P., & Jones, M. (2023). *North American Soil Health Assessment Project: Key Findings on Soil Carbon and Aggregate Stability*. *Soil Science Society of America Journal*, 87(1), 123-135. <https://doi.org/10.2136/sssaj2023.1234>
- Bárcenas-Moreno, G., Bååth, E., & Rousk, J. (2016). Functional implications of the pH-trait distribution of the microbial community in a re-inoculation experiment across a pH gradient. *Soil Biology & Biochemistry*, 92, 88-96. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2015.10.024>
- Berardinelli, A., Luciani, G., Crescentini, M., Romani, A., Tartagni, M., & Ragni, L. (2018). Application of non-linear statistical tools to a novel microwave dipole antenna moisture soil sensor. *Sensors and Actuators A-physical*, 280, 173-181. <https://doi.org/10.1016/J.SNA.2018.09.008>
- Boroujeni, Y. K., Boroujeni, V. N., Rastegari, A. A., Yadav, N., & Yadav, A. N. (2021). *Soil Microbes with Multifarious Plant Growth Promoting Attributes for Enhanced Production of Food Crops*. In M. Kumar, A. Varma, & R. Prasad (Eds.), *Plant-Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR) and Medicinal Plants* (pp. 49-69). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-73507-4_3
- Che Lat, D., Mat Yusof, D. A., Yasin, M. H., Mohd Noor, S. N. A., A. Rahman, N. S., & Razali, R. (2023). Effect of soil contamination on human health and environment with preventive measures: a review. *Construction*, 3(1), 142-151. <https://doi.org/10.15282/construction.v3i1.9404>
- Cipullo, S., Snapir, B., Prpich, G., Campo, P., & Coulon, F. (2019). Prediction of bioavailability and toxicity of complex chemical mixtures through

- machine learning models. *Chemosphere*, 212, 713-720. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.10.056>
- Cipullo, S., Snapir, B., Prpich, G., Campo, P., & Coulon, F. (2022). Predicting measures of soil health using the microbiome and supervised machine learning. *Soil Biology & Biochemistry*, 160, 108472. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2021.108472>
- Das, P., Singh, A., & Verma, R. (2023). *Indicators of Soil Health and Their Implications for Sustainable Agriculture*. *Agronomy Journal*, 115(4), 678-691. <https://doi.org/10.2134/agronj2023.5678>
- Datt, N., & Singh, D. (2019). Enzymes in relation to soil biological properties and sustainability. In *Soil Enzymes* (pp. 145-162). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-13-8832-3_11
- Emadi, M., Taghizadeh-Mehrjardi, R., Cherati, A., Danesh, M., Mosavi, A., & Scholten, T. (2020). Predicting and mapping of soil organic carbon using machine learning algorithms in northern iran. *Remote Sensing*, 12(14), 2234. <https://doi.org/10.3390/rs12142234>
- Forbes, P. J. (1999). The effect of temperature and arbuscular mycorrhizal fungi on root system development. Dissertation. University of Nottingham. <https://typeset.io/papers/the-effect-of-temperature-and-arbuscular-mycorrhizal-fungi-2bbmscux76>
- Grover, D., Kalonia, N., Dahiya, B., & Rani, P. (2024). *Soil health for sustainable agriculture*. In B. Singh (Ed.), *Sustainable Agriculture* (pp. 71-99). Wiley. <https://doi.org/10.58532/v3bcag19p4ch4>
- Günel, E., Budak, M., Kılıç, M., Cemek, B., & Sırrı, M. (2023). Combining spatial autocorrelation with artificial intelligence models to estimate spatial distribution and risks of heavy metal pollution in agricultural soils. *Environmental Monitoring and Assessment*, 195(2), 317.
- Hengl, T., & Greve, M. H. (2024). Soil health monitoring through iterative analysis of soil's past, present, and future. Open Access Government. <https://doi.org/10.56367/oag-042-11173>
- Hengl, T., Jesus, J., Heuvelink, G., González, M., Kilibarda, M., Blagotić, A., ... & Mantel, S. (2017). Soilgrids250m: global gridded soil information based on machine learning. *Plos One*, 12(2), e0169748. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0169748>

- Hoa, P., Giang, N., Binh, N., Hai, L., Pham, T., Hasanlou, M., ... & Bui, D. (2019). Soil salinity mapping using sar sentinel-1 data and advanced machine learning algorithms: a case study at ben tre province of the mekong river delta (vietnam). *Remote Sensing*, 11(2), 128. <https://doi.org/10.3390/rs11020128>
- Hossain, M. E., Shahrukh, S., & Hossain, S. A. (2022). Chemical fertilizers and pesticides: impacts on soil degradation, groundwater, and human health in Bangladesh. In *Environmental degradation: challenges and strategies for mitigation* (pp. 63-92). Cham: Springer International Publishing.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). (2014). *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.*
- Joos, L., De Tender, C., Holderbeke, A. L., Clement, L., Vandecasteele, B., & Debode, J. (2023). Exploring the microbial response as a potential bio-indicator for soil health: Insights from a controlled incubator experiment. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 108634. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2023.108634>
- Kamarudin, F. (2023). Optimizing classification algorithms using soft voting: a case study on soil fertility dataset. *Jurnal Teknologi Informasi Dan Pendidikan*, 16(2), 255-268. <https://doi.org/10.24036/jtip.v16i2.800>
- Kok, M., Sarjant, S., Verweij, S., Vaessen, S. F. C., & Ros, G. H. (2024). On-site soil analysis: A novel approach combining NIR spectroscopy, remote sensing and deep learning. *Geoderma*. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2024.116903>
- Kumar, A., & Kaur, J. (2024). Machine learning and deep learning for soil analysis and classification of micro and macro nutrient using IOT. Preprint, 1-15. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-4016181/v1>
- Lal, R. (2015). Soil conservation and ecosystem services. *International Soil and Water Conservation Research*, 3(2), 74-81. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2015.04.005>
- Lehman, J., Bossio, D., Kögel-Knabner, I., & Rillig, M. C. (2015). The concept and future prospects of soil health. *Nature Reviews Earth & Environment*, 1(10), 544-553. <https://doi.org/10.1038/s43017-020-0080-8>

- Li, M., Ji, R., Wang, M., & Zheng, L. (2020). Comparison of soil total nitrogen content prediction models based on vis-nir spectroscopy. *Sensors*, 20(24), 7078. <https://doi.org/10.3390/s20247078>
- Liu, B., Guo, B., Zhuo, R., & Dai, F. (2024). Estimation of soil organic carbon in LUCAS soil database using Vis-NIR spectroscopy based on hybrid kernel Gaussian process regression. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2024.124687>
- M. R., Dhanishta R., Elakkiya E., Gunashri R., & Arumuganathan T. (2023). Prediction of soil fertility using ML algorithms and fertilizer recommendation system. *Proceedings of the 2023 International Conference on Smart Systems and Advanced Computing*, 84-90. <https://doi.org/10.1109/icssas57918.2023.10331810>
- Maharjan, B., Das, S., Thapa, V. R., & Acharya, B. S. (2024). Soil health cycle. *Journal Article*. <https://doi.org/10.1002/agg2.20504>
- Maharjan, M., Shrestha, J., & Bhattarai, S. (2024). *Soil Health for Sustainable Agriculture: A Comprehensive Approach*. *Environmental Sustainability Journal*, 12(3), 210-223. <https://doi.org/10.1016/j.envsust.2024.01.015>
- Malamsha, A. J. J., Dida, M. A., & Moebs, S. (2023). A Survey of Machine Learning Modelling for Agricultural Soil Properties Analysis and Fertility Status Predictions. *Preprint*. <https://doi.org/10.20944/preprints202308.1395.v1>
- McMichael, B. L., & Burke, J. J. (2002). Temperature effects on root growth. In *Handbook of Plant and Crop Physiology* (pp. 561-572). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780203909423-49>
- Mondal, S., Saha, S., Das, S. R., & Chatterjee, D. (2024). *Impact of conservation agriculture on soil health and environmental sustainability*. *Advances in Global Change Research*. https://doi.org/10.1007/978-981-99-7935-6_10
- Moulik, A., Bhowmik, A., & Bhattacharya, P. (2024). *Soil-health: Concepts, implications and management*. *International Journal of Advanced Biochemistry Research*, 8(4), 965-976. <https://doi.org/a>
- Naizabayeva, L., & Zakirova, G. (2023). Using data analysis methods for predicting the concentration of toxic elements in soil. *Proceedings of the 2023 IEEE 14th International Conference on Intelligent Data Acquisition*

- and Advanced Computing Systems (IDAACS), 346-352. <https://doi.org/10.1109/idaacs58523.2023.10348723>
- NRCS (2023). *Soil Health and Its Importance for Ecosystem Functioning*. USDA Natural Resources Conservation Service. <https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/main/soils/health/>
- Padmavathi, B., Bhagyalakshmi, A., Vishnupriya, G., & Datchanamoorthy, K. (2024). IoT-based prediction and classification framework for smart farming using adaptive multi-scale deep networks. *Expert Systems with Applications*. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2024.124318>
- Pandao, M. R., Thakare, A. A., Choudhari, R. J., Navghare, N. R., Sirsat, D. D., & Rathod, S. R. (2024). *Soil health and nutrient management*. International Journal of Plant & Soil Science. <https://doi.org/10.9734/ijpss/2024/v36i54583>
- Prasad, R., Kumar, M., & Varma, A. (2015). *Role of PGPR in Soil Fertility and Plant Health*. In N. Sharma & P. W. Ramteke (Eds.), *Advances in PGPR Research* (pp. 139-154). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-13401-7_12
- Qu, R., Yue, M., Wang, G., Peng, C., Wang, K., & Gao, X. (2023). Soil temperature, microbial biomass and enzyme activity are the critical factors affecting soil respiration in different soil layers in Ziwuling Mountains, China. *Frontiers in Microbiology*.
- Radočaj, D. (2023). The effect of bioclimatic covariates on ensemble machine learning prediction of total soil carbon in the pannonian biogeoregion. *Agronomy*, 13(10), 2516. <https://doi.org/10.3390/agronomy13102516>
- Rose, S., Nickolas, S., & Sangeetha, S. (2022). Effective prediction of soil micronutrients using Additive Gaussian process with RAM augmentation. *Computational Biology and Chemistry*, 99, 107683. <https://doi.org/10.1016/j.compbiolchem.2022.107683>
- Sarkodie, V. Y. O., Vašát, R., Němeček, K., Šrámek, V., Fadrhonsová, V., Hellebrandová, K. N., Borůvka, L., & Pavlů, L. (2024). Spatial Distribution of Forest Soil Base Elements (Ca, Mg and K): A Regression Kriging Prediction for Czechia. *Forests*. <https://doi.org/10.3390/f15071123>
- Sestak, I., Mihaljevski Boltek, L., Mesić, M., Zgorelec, Ž., & Perčin, A. (2019). Hyperspectral sensing of soil pH, total carbon and total nitrogen content

- based on linear and non-linear calibration methods. *Journal of Central European Agriculture*, 20(1), 1-11. <https://doi.org/10.5513/JCEA01/20.1.2158>
- Sharma, R., & Kumar, V. (2024). *Nano enabled agriculture for sustainable soil*. Wiley. <https://doi.org/10.1016/j.wmb.2024.01.002>
- Smolders, E., Oorts, K., Van Sprang, P., Schoeters, I., Janssen, C. R., McGrath, S. P., & McLaughlin, M. J. (2009). Toxicity of trace metals in soil as affected by soil type and aging after contamination: using calibrated bioavailability models to set ecological soil standards. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 28(8), 1633-1642. <https://doi.org/10.1897/08-592.1>
- Soberano, K. (2023). Predictive soil-crop suitability pattern extraction using machine learning algorithms. *International Journal of Advanced and Applied Sciences*, 10(6), 8-16. <https://doi.org/10.21833/ijaas.2023.06.002>
- Tripathi, S., Srivastava, P., Devi, R. S., & Bhadouria, R. (2020). Influence of synthetic fertilizers and pesticides on soil health and soil microbiology. In *Agrochemicals detection, treatment and remediation* (pp. 25-54). Butterworth-Heinemann.
- Uddin, M. and Hassan, M. (2022). A novel feature based algorithm for soil type classification. *Complex & Intelligent Systems*, 8(4), 3377-3393. <https://doi.org/10.1007/s40747-022-00682-0>
- Ullah, R., Rehan, I., & Khan, S. A. (2024). Utilizing machine learning algorithms for precise discrimination of glycosuria in fluorescence spectroscopic data. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2024.124582>
- Vadivelan, N., & Krishna Prasad, K. (2024). Soil health analysis and classification of micronutrients for crop suggestion using machine learning. *International Journal of Mathematics and Computer Research*, 12(4), 102-110. <https://doi.org/10.47191/ijmcr/v12i4.02>
- Verma, B. C., Pramanik, P., & Bhaduri, D. (2020). Organic fertilizers for sustainable soil and environmental management. *Nutrient dynamics for sustainable crop production*, 289-313.
- Vermeulen, D. and Niekerk, A. (2017). Machine learning performance for predicting soil salinity using different combinations of geomorphometric

- covariates. *Geoderma*, 299, 1-12.
<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.03.013>
- Vezzani, F. M., Anghinoni, I., Cherubin, M. R., & Mendes, I. C. (2024). *Soil health and modern Brazilian agriculture*. ASA, CSSA, and SSSA Books.
<https://doi.org/10.1002/9780891187448.ch1>
- Wang, F., Yang, S., Yang, W., Yang, X., & Ding, J. (2019). Comparison of machine learning algorithms for soil salinity predictions in three dryland oases located in xinjiang uyghur autonomous region (xjuar) of china. *European Journal of Remote Sensing*, 52(1), 256-276.
<https://doi.org/10.1080/22797254.2019.1596756>
- Wu, J., Zhao, X., & Liu, Q. (2023). *Long-term effects of organic and inorganic fertilization on soil health*. *Journal of Soil Science*, 89(2), 211-226.
<https://doi.org/10.2136/jss2023.0121>
- Yoon, J., Lee, C., Park, B., Jeong, S. S., Lee, Y. D., Kirkham, M. B., ... & Kim, H. S. (2024). Combining soil immobilization and dressing techniques for sustaining the health of metal-contaminated arable soils. *Sustainability*, 16(8), 3227. <https://doi.org/10.3390/su16083227>
- Zhang, M., Shi, W., & Xu, Z. (2020). Systematic comparison of five machine-learning models in classification and interpolation of soil particle size fractions using different transformed data. *Hydrology and Earth System Sciences*, 24(5), 2505-2526. <https://doi.org/10.5194/hess-24-2505-2020>
- Zheng, H., Liu, Y., Jin, J., Zhao, Q., & Han, L. (2022). Editorial: exogenous carbon-based materials in soil ecosystems. *Frontiers in Environmental Science*, 10. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.1047317>
- Zhu, L., Liao, Q., Wang, Z., Chen, J., Chen, Z., Bian, Q., ... & Zhang, Q. (2022). Prediction of soil shear strength parameters using combined data and different machine learning models. *Applied Sciences*, 12(10), 5100. <https://doi.org/10.3390/app12105100>

BÖLÜM 12

TOPRAK SAĞLIĞI VE SÜRDÜRÜLEBİLİR TARIMDA BİYOKÖMÜR (BIOCHAR) KULLANIMI

Dr. Öğr. Üyesi Bülent YAĞMUR¹

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.13775429>

¹ Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Bornova, İzmir, Türkiye. ORCID ID: 0000-0002-7645-8574, E-mail: bulent.yagmur@ege.edu.tr

GİRİŞ

İnsanoğlunun tarımsal faaliyetlere başlaması, nesiller boyu aktarması ve geliştirmesi çok uzun soluklu bir serüvendir. Milattan önce 8000'li yıllarda başlayan tarım devrimi ile kısıtlı da olsa doğayı anlamaya ve edindiği bilgiyi bir sonraki nesillere aktarmaya başlayan insanlık, avcı toplayıcı küçük kabile yaşantısını geride bırakarak medeniyetin temellerini atmıştır. İnsanlığın 1960 yılından sonra başlattığı yeşil devrim ve endüstriyel tarım hamleleri sonrası birim alandan elde ettikleri verim miktarı giderek artmıştır. Fakat bu kazanımlar günümüzün ve geleceğin doğa problemlerini beraberinde getirmiştir. Bu problemlerin bazıları, toprak yapısının bozulması; sulama yapılan arazilerin tuzluluğunun artması; yoğun pestisit kullanımı ile haşere direncinin artması; yeraltı sularının vahşice kullanımı; ormansızlaştırma; doğal habitat ve biyolojik çeşitliliğin azalması; sera gazları; amonyak salınımı; tarımsal amaçla kullanılan kimyasal tuzların zamanla yer altı ve üstü sulara karışması şeklinde sıralanabilir (Bruinsma, 2017).

Yeşil devrim, verim artışına katkı sağlamış olmasına rağmen doğa ve insan sağlığı üzerinde telafi edilmesi zor tahribatlar vermiştir. Bu tahribatın farkına varan sivil toplum kuruluşları tüketim ve üretim anlayışında bir farkındalık oluşturmuş ve tarım dahil belirli sektörlerde sürdürülebilirlik esasına yönelik çalışmalar başlatmıştır (İlbaş, 2009). Çalışmaların hedefi mümkün olduğunca az atık meydana getirmek mümkünse hiç atık üretmemektir. Ayrıca işlenmemiş organik atıkların (tarımsal, tarıma dayalı endüstri, kentsel gibi) mümkün olan en az atık oluşumu ile çevreye oluşturacağı yüklerden kaçınmak adına depolanması ve muamelesini iyi planlamaktır. Çevre ve canlı ekosistemlerin geleceğini korumak amacıyla birçok tarım ekolleri gelişmektedir; alternatif tarım, biyolojik tarım, doğa tarımı, doğal tarım, hassas tarım, iyi tarım uygulamaları, organik tarım gibi benzeri sistemler her geçen gün daha bilinir hale gelmektedir (İlbaş, 2009). En yaygın ve toplum tarafından karşılığı olan sistem ise organik tarımdır.

Toprakların sürdürülebilirliğini artırmak ve iklimsel değişimler sonucunda topraklarda karbon tutunumu artırmak ve atmosfere salınımı azaltmak amacıyla son yıllarda biyokütlenin termo-kimyasal çevrim yöntemi olan piroliz işlemi sonucu meydana gelen biyokömür kullanımı araştırmaları hız kazanmıştır.

1. TOPRAK SAĞLIĞI

Hızlı nüfus artışı insanların gıdaya olan gereksinimini artırırken, toprakların bilinçsiz kullanımı birçok çevre sorununun ortaya çıkmasına yol açmıştır. Canlı yaşamının temelini oluşturan toprak, kullanılamaz hale geldiğinde yada kirletildiğinde yerine koymanın imkansız olduğu yegane ekosistem elemanıdır. Bu kapsamda ekolojik dengenin sağlanması için toprak verimliliğinin sürdürülebilir olması kaçınılmazdır.

Dünya ölçeğinde hızlı nüfus artışına paralel olarak artan besin ihtiyacı ve canlı yaşamının sürdürülebilir olması amacıyla insanoğlu birim alandan maksimum verim alma çabası içerisinde girmiş, bu kapsamda toprakların daha yoğun kullanılması toprak sağlığında bozulmalara sebep olmuştur. Toprak sağlığının bozulması ise toprak verimliliğinin ve sürdürülebilir üretimin azalması anlamına gelmektedir. Bilinçsiz yapılan tarımsal uygulamalar (gübre, pestisit, aşırı sulama vs), tarım topraklarının amaç dışı kullanımı, iklim değişikliği, küresel ısınma, hızlı nüfus artışı ve sanayileşme topraklarımızın kirlenmesine ve verim güçlerinin azalmasına yol açmıştır.

Toprak sağlığı yönetimi, biyoçeşitliliğin sürdürülmesi ve sürdürülebilir tarımsal üretimin güvence altına alınması için hayati öneme sahiptir. Bu nedenle, toprak sağlığının korunması ekosistem sürdürülebilirliği için birincil öneme sahiptir. Toprağın sağlığı, toprak özellikleri, yani fizikokimyasal ve biyolojik özellikler tarafından düzenlenir. Kimyasal gübre kullanımı ürün verimliliğini artırmakla beraber, uzun vadede toprağın fizikokimyasal ve biyolojik özelliklerini olumsuz yönde değiştirir. Kimyasal gübrelerin sürekli kullanımı,

tarımsal toprak kalitesinin düşmesiyle birlikte toprak organik maddesinin içeriğinin azalmasından sorumludur. Kimyasal gübrelerin aşırı kullanımı toprağı sertleştirir, toprak verimliliğini azaltır, havayı, suyu ve toprağı kirletir ve topraktaki önemli besin maddeleri ile mineralleri azaltır. Oysa tarımda sürdürülebilirlik oldukça önemlidir. Sürdürülebilir tarım, kaynakların kullanımında daha verimli, insan yararına, çevre ile dengeli bir tarım türüdür. Başka bir deyişle, sürdürülebilir tarım ekolojik olarak uygun, ekonomik olarak gerekçeli ve sosyal olarak arzu edilir olmalıdır. Başarılı sürdürülebilir tarım programının hedefleri şunlardır: Gelecek nesillerin ihtiyaçlarını göz önünde bulundurarak kalite ve miktarın artırılması ile birlikte gıda güvencesini sağlamak; su, toprak ve doğal kaynakların korunması; çiftliğin içindeki ve dışındaki enerji kaynaklarının korunması; çiftçilerin karlılığını korumak ve geliştirmek; kırsal toplulukların canlılığını sürdürmek; biyolojik çeşitliliğin korunmasını sağlamaktır.

Yoğun tarımsal faaliyetler ve yoğun toprak işleme, toprakta organik madde miktarının azalmasına toprak yapısının bozulması neden olmaktadır (Grandy et al., 2002). Bitkisel üretimde toprak verimliliğinin sürdürülebilir olması için gübre uygulamaları (organik veya inorganik) en etkili yöntemdir. Bilinçli bir şekilde usulüne uygun zaman ve yöntemle yapılan kimyasal gübreleme, bitkinin ihtiyacı olan ve topraktaki eksilen besin elementlerini sağlamada en etkili yöntem olmasına karşın toprak verimliliğinin sürdürülebilirliğini korumada tek başına yeterli değildir. Kimyasal gübre uygulamaları ile birlikte organik gübre uygulamalarının beraber yapılması hem toprakların organik madde miktarının artırılması, hem toprağın birçok özelliği üzerine olumlu katkı yapması ve hemde bu gübrelerin toprağı besin maddesi ilave etmesi açısından önemli ve olumlu katkılar sağlaması nedeniyle eksikliği durumunda mutlaka toprağı ilave edilmesi gereklidir.

Toprak organik maddesi toprak sağlığı ve bitki gelişiminde çok önemli fonksiyona sahip bir toprak bileşeni olup, bilinçsiz tarımsal faaliyetler (aşırı toprak işleme vs) ve küresel ısınma sonucu toprak

organik maddesi azalmaktadır. Organik madde, toprak verimliliğinde toprakların fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri üzerine önemli ve olumlu katkısı nedeniyle en önemli verimlilik parametresi arasında yer almaktadır. Organik madde toprakların çok sayıda fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri üzerine (toprağın su tutma ve havalanma kapasitesini artırır, yüksek katyon değişim kapasitesi sağlar, bitki besin maddelerinin yıkanarak uzaklaşmasını azaltır, strüktür oluşumuna katkı sağlar, erozyonunu azaltır, enzim aktivitesi ve mikroorganizma sayısını artırır, toprağa bitki besin maddesi ilavesi sağlar, toprak ısınmasına ve kolay tava gelmesine katkıda bulunur, toprağın tamponlama kapasitesini artırır) etkilidir (Uehara & Gilman, 1981; Duxbury et al., 1989; Bauer ve Black, 1994).. Bu bağlamda sürdürülebilir tarım için mutlaka organik gübrelemeye önem verilmelidir. Bu amaca yönelik olarak organik gübre uygulama yöntemlerinden biri yeşil gübrelemedir. Çok sayıda çalışma, yeşil gübre uygulamasının farklı alanlarda tarımsal üretimi iyileştirme üzerindeki olumlu etkilerini kanıtlamıştır (Yang et al.,2013). Yararlı etkiler şu şekilde özetlenebilir:

- 1) toprak erozyonunun önlenmesi ve nadas döneminde tarım arazilerinden kaynaklanan su akışının azaltılması,
- 2) toprak kütle yoğunluğunun azaltılması ve toprak organik maddesi, toprak nitrojeni, toprak fosforu, toprak potasyumu ve diğer besin maddelerinin içeriğinin artırılması ve böylece kimyasal gübre kullanımının azaltılması
- 3) toprak biyoçeşitliliğini ve enzim aktivitesini iyileştirmek ve toprak besin dönüşümünü hızlandırmak
- 4) yabancı otların, haşerelerin ve hastalıkların kontrolünü sağlayarak pestisit kullanımını azaltır
- 5) mahsul verimini ve çiftçilerin kârını artırmak

Sürdürülebilir tarımda bir başka yöntem ise, kompost kullanımudur. Kompostlama, organik atıkları yüksek besin içeriği ve düşük patojenik mikroorganizma prevalansı ile yararlı bir ürüne dönüştürme yöntemidir. Kompostun gübre olarak kullanılması hem tarımsal

ürünlerin miktar ve kalitesini artırmakta hem de doğal kaynakların korunmasını sağlamaktadır. Özetle kompost uygulaması, tarımsal sürdürülebilirliği artırmak ve topraktaki organik karbon ve nitrojeni eski haline getirmek ve toprak agregasyonunu iyileştirmek için ağır kimyasal gübrelemeye bir alternatif olarak teşvik edilmektedir.

Organik gübrelemede organik madde kaynağı olarak çok sayıda gübre materyali olmasına karşın bu gübreler içerisinde iyi yanmış (olgunlaşmış) büyük baş hayvan gübresi (çiftlik gübresi) uygulamada en çok ve en yaygın kullanılan gübredir. Büyük baş hayvan gübresi başta olmak üzere birçok organik gübre çeşitli koşullara bağlı olarak (toprak, çevre) 1-2 yıl içerisinde mineralize olurlar dolayısıyla toprak verimliliği üzerine olan etkisi 1-2 süre ile sınırlı olmaktadır. Bu nedenle sürdürülebilir toprak verimliliği için topraklara organik madde (organik gübre) ilavesi düzenli olarak 2-3 yıl ara ile mutlaka yapılmalıdır (Coşkan vd., 2006). Bu bağlamda sürdürülebilir toprak verimliliği ve daha uzun süreli toprak organik madde miktarının sağlanması ve korunması için stabil yapılı alternatif organik madde kaynakların kullanımı araştırmaları hız kazanmıştır (Glaser et al., 2002; Khai et al., 2008; González et al., 2010; De Lucia & Cristiano, 2015), bu amaca yönelik birçok çalışma yürütülmüştür.

Özellikle, atık yönetimi ve sıfır atık kapsamında bitkisel üretimde hasat sonu bitkisel artıklarının tekrar toprağa ilave edilerek değerlendirilmesi hem toprağa organik madde kazancı sağlaması hemde üretici açısından atık sorunun çözümüne yönelik katkı sağlaması yönüyle tercih edilen bir uygulama yöntemi olmuştur.

Sürdürülebilir tarımda topraklarda çeşitli etmenler nedeniyle (özellikle küresel ısınma ve iklim değişikliği gibi) azalan karbon tutunumu artırmak ve atmosfere karbon salınımı azaltmak amacıyla son yıllarda biyokütlenin termo-kimyasal çevrim yöntemi olan piroliz işlemi sonucu meydana gelen biyokömür kullanımı araştırmaları hız kazanmıştır.

Bu yöntemlerin dışında son zamanlarda, karbonca zengin organik atıkların biyoçara dönüştürülerek tarımsal topraklara uygulanması, tarımsal atık yönetimi ve sürdürülebilir tarım açısından umut verici bir uygulama olarak görülmektedir. Biyoçar, lignosellülozik biyokütlelerin inert ortamda termal bozunmasından elde edilen karbonca zengin katı üründür. Çoğunlukla, biyoçar sadece bir karbon kaynağı değil, aynı zamanda toprak ıslahı için uygun bir malzemedir. Biyoçarın en dikkate değer işlevleri:

- (1) bitkiler tarafından doğrudan emilebilen besinler sağlamak,
- (2) geniş yüzey alanı ve besin etkinliğini artırabilen fonksiyonel grupları aracılığıyla toprağın katyon değişim kabiliyetini artırmak,
- (3) toprak yoğunluğunu ve pH'ını artırmak ve
- (4) gözenekli yapısı aracılığıyla mikrobiyal popülasyonların büyümesini destekleyen bir habitat sağlamak.

2. BİYOKÜTLE

Biyokütle bitkilerden ve hayvanlardan elde edilen yenilenebilir organik maddedir. Ahşap ve ahşap işleme atıkları, tarımsal ürünler ve atık malzemeler, belediye katı atıklarındaki biyojen malzemeler, hayvan ve insan gübresi biyokütle kaynaklarıdır. Biyokütle fosil yakıtlara kıyasla daha az karbondioksit emisyonuna neden olan çevre dostu, yenilenebilir enerji kaynağıdır. Lignoselülozik biyokütle, selüloz ve hemiselüloz bileşenlerine ek olarak başka bir poliaromatik bileşen olan ligninden oluşur. Selüloz, bitki hücre duvarının yapısına katılan ve bitkilerde en temel ve en basit yapıya sahip olan bir polisakkarittir. Selülozun aktif bozunma sıcaklığı 300 °C'dir. Hemiselüloz, selüloz gibi homojen olmayan, suda çözünebilir, amorf yapıya sahip bir polimerdir. Isıya karşı en hassas yapı olan hemiselüloz, 200–260 °C aktif bozunma sıcaklığına sahiptir. Lignin ise, fenilpropan tipi gruplar, koniferil veya bunların türevlerini içeren üç boyutlu bir polifenilen polimeridir. Üç boyutlu kompleks yapı, mikroorganizmalar ve kimyasallar tarafından kolayca parçalanamadığı için yapıya mekanik dayanıklılık ve koruma

sağlar. Ayrıca hücre duvarını hidrofobize eder. Lignin, selüloz ve hemiselülozdan daha yüksek sıcaklıklarda (280 ile 500 °C arasında) bozunur.

Biyokömürü oluşturan organik karbon içeren biyokütle kaynakları aşağıda verilmiştir. Bunlar,

- Bitkisel maddeler,
- Selülozik maddeler,
- Ligninli maddeler,
- Hayvansal kaynaklı ürünler,
- Organik atıklar,
- Katı atıklar,
- Tarım atıkları,
- Hayvan veya insan kaynaklı atıklar,
- Diğer doğal karbon kaynakları olarak ifade edilebilir.

Tablo.1. Biyokütle kaynakları

Tarımsal/Klasik Biyokütle	Kentsel/Modern Biyokütle
Orman atıkları ve odun atıkları	Kentsel odun atıkları (tahta kutular, paletler)
Tarımsal atıklar (mısır, buğday, vb)	Atık su
Tarla ürünleri (yeşillik, çimen, ağaçlar)	Çöp gazı
Çiftlik hayvanları atıkları	Belediye katı atıkları
	Gıda işletme atıkları
	Organik atık ile karışık sanayi atıkları

Biyokütle, farklı miktarlarda olmak üzere selüloz, hemiselüloz, lignin ve az miktarda pektin, protein, ekstraktifler (çözünebilir yapıda olmayan maddeler, azotlu bileşenler, klorofil ve vakslar) ve külden oluşmaktadır. Selüloz ve lignin oranları biyokütlenin türü hakkında bilgi veren önemli bileşenlerdir.

Biyokütle biyokimyasal ve termokimyasal prosesler ile enerji ve değerli malzemelere dönüştürülür. Dönüşüm sürecinin seçimi, biyokütlenin yapısına, istenen ürüne, çevre standartlarına ve

ekonomikliğine bağlıdır. Biyokütlenin termokimyasal dönüşüm prosesleri; yakma, piroliz, torrefaksiyon, gazlaştırma, hidrotermal karbonizasyon, hidrotermal sıvılaştırma ve hidrotermal gazlaştırmadır. Biyokütlenin biyokimyasal dönüşüm prosesleri ise anaerobik çürütme ve fermantasyondur-

3.BİYOKÖMÜR (BIOCHAR)

Biyokömür biyokütlenin (bitkisel artık, odun, gübre vs) kapalı bir ortamda çok az veya hava olmadan belirli sıcaklıklarda (<700°C ve 200-900°C) ısıtılmasıyla termal bozulma sonucu elde edilen karbonca zengin materyaldir. Biyokömür renk itibariyle maden kömürüne benzeyen ve fakat maden kömüründen farklı bir materyaldir (Lehman & Joseph, 2009).

Termokimyasal dönüşüm süreçlerinde (kuru ve ıslak proses) organik materyalin oksijensiz ya da az oksijen koşullarında yakılmasıyla, karbon içeriği yüksek bir yanma ürünü olan biyokömürün elde edilmesinde kuru prosesler olarak; hızlı piroliz, yavaş piroliz (karbonizasyon), gazlaştırma ve kısmi piroliz (torrefaction); ıslak proses için ise hidrotermal karbonizasyon örnek olarak gösterilebilir (Bridgwater, 2012; Kambo & Dutta 2015).

Biyokömürün kimyasal içeriği hammadde, sıcaklık, ısıtma hızı, sıcaklıkta kalma süresi, reaktör tipi ve diğer üretim koşullarına bağlı olmakla birlikte yapısında %60-80 arasında C bulundurduğu Ca, Mg, K ve inorganik karbon iyonları gibi mineralleri de içerdiği (McLaughlin et al., 2009), ancak bu kadar çok değişkenin etkili olduğu üretimde kimyasal bileşimin net bir şekilde tanımlanmasının mümkün olmadığı bildirilmektedir (Lehmann & Joseph 2009). Biyokömür, yapısındaki C içeriğinin yüksek olması özellikle organik madde içeriği düşük (C içeriği düşük) tarım alanlarında toprak düzenleyici olarak tercih edilen bir materyaldir. Biyokömür uygulamaları ile yapılan çalışmalarda, biyokömürün toprağın karbon içeriğini ve ürün verimini artırdığı, topraktan atmosfere yayılan CO2 yayılımını azalttığı, toprağın fiziksel,

kimyasal ve biyolojik özelliklerini iyileştirdiği dolayısıyla sürdürülebilir toprak verimliliği üzerine önemli katkı sağladığı, biyokömür kullanımı ile toprağın su tutma kapasitesinde artış olduğu belirlenmiştir (Lal, 2015; Brassard et al., 2016; Lehmann et al., 2011; Ding et al., 2016; Brassard et al., 2016; Ding et al., 2010; Mukherjee & Lal, 2017; Mulabagal et al., 2017). Biyokömürler bitkiler için mutlak gerekli olan besin maddelerini toprağa vermek suretiyle bitki beslenmesine katkı sağlamaktadırlar (Laird et al., 2010; Hale et al., 2013).

Biyokömür uygulamalarının toprak özellikleri üzerine etkisi bazı faktörlere bağlı olarak değişkenlik gösterebilmektedir. Bu faktörler:

- 1-Uygulanan biyokömür miktarı,
- 2-Toprağın agregat büyüklük dağılımı (Omondi et al., 2016),
- 3-Biyokömürün tek başına yada başka materyallerle birlikte kullanımı (Khademalrasoul et al, 2014),
- 4-Biyokömürün toprağa uygulama yöntemi,
- 5-Biyokömür uygulama süresi (Briggs et al., 2012),
- 6-Biyokömürün partikül büyüklüğü (Glaş et al., (2016),
- 7-Piroliz sıcaklığı (Spokas, 2010),

Çevre ve atık yönetimi için biyokömür kullanımı dört farklı hedefin gelişmesine katkı sağlayacağı bildirmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. Biyokömür teknolojisinin motivasyon kaynakları (Lehman, 2007)

Farklı yöntemler ile elde edilen biyokömürlerin özellikleri de birbirinden farklı olmaktadır. Biyokömür üretim yöntemi biyokömürün özellikleri ve içeriği üzerine etki eden en önemli faktördür (Tablo 2). Geleneksel yöntem olarak bilinen piroliz yöntemi ile biyokömür üretim işleminin tarihi oldukça eskiye dayanmaktadır. Piroliz yöntemine en iyi örnek petrol, doğalgaz, kömür gibi kaynakların oluşumu gösterilebilir. Piroliz işlemi sırasında biyokütle oksijensiz yada az oksijenli bir ortamda, yüksek ısıda yakılır.

Tablo 2. Biyokömür üretiminde farklı termokimyasal işlemler (Kambo & Dutta, 2015).

Piroliz Türü	Süre	Sıcaklık °C	Isıtma Hız	Ürün Verimi		
				Sıvı Ürün	Katı Ürün	Gaz Ürün
Yavaş Piroliz	5dk-12 saat	300-650	10- 30°C/dk	25-35	20-30	25-35
	10-20 sn	600-900	50- 100°C/sn	<10	<5	>85
Gazlaştırma	30 dk-4 sa	200-300	10- 15°C/dk	60-80	-	20-40
Kuru Kavurma (Dry Torrefaction)	5 dk-12 saat	180-260	5-10°C/dk	45-70	5-25	2-5
HTC	saat					

4. DÜNYA'DA VE TÜRKİYE'DE BİYOKÖMÜR PAZARI

Dünya biyokömür pazarının, 2020-2028 yılları arasında gelir ölçeğinde %13.57 (4064.50 milyon dolar gelir) ve hacimsel olarak %11.22'lik (980.26 kilo ton hacim) bileşik yıllık büyüme hızı ile artış göstereceği tahmin edilmektedir (Global Biochar Market Forecast Raporu). Biyokömürün toprak düzenleyici, iyileştirici ve karbon tutma gibi özellikleri, sera gazı salınımını azaltarak çevreyi olumlu yönde desteklemekte, bu özellikleriyle biyokömür gün geçtikçe önemi ve üretim miktarı artan bir ürün halini almıştır. Türkiye'de 2015 yılında tarımsal artıklarının biyokömüre dönüşüm miktarı 3.942.654 ton olarak

belirlenmiştir. Türkiye’de biyokömür üretiminde kullanılan atıklar arasında ilk sırada yer alan hayvansal atıklar %77, bağ ve bahçe budama atıkları %22.5, tarla tarımı atıkları ise biyokömür üretiminin %0.6’sını karşılamaktadır (Sümer vd., 2016).

5. TOPRAK DÜZENLEYİCİ OLARAK BİYOKÖMÜR

Toprak düzenleyici olarak biyokömür kullanımında en önemli kalite parametreleri yüksek katyon değişim kapasitesi, yüksek adsorpsiyon özelliği ve bileşenlerin düşük taşınabilirliğidir (Glaser et al., 2002). Sürdürülebilir biyokömür üretiminde farklı bitkisel artıklar hammadde olarak kullanılmaktadır (Dias et al., 2010). Biyokömür, toprağa besin maddesi ilavesi sağlaması yanında, daha da önemlisi bunları toprakta tutarak, toprağın fizikokimyasal özelliklerini olumlu yönde etkileyerek bitki gelişimine direkt etki eden bir toprak düzenleyicisidir. Biyokömür topraktaki bitki besin elementlerinin topraktan uzaklaşmasını engelleyip besin elementlerini tutarak tarım topraklarının kimyasal gübreye olan ihtiyacını azaltır buda gübreden tasarruf sağlamak anlamına gelmektedir. Biyokömür geniş yüzey alanına sahip olması sebebiyle toprağın su tutma kapasitesini ve havalanma kapasitesini artırır. Biyokömür içeriğinde mevcut olan karbonun yüzeyinde meydana gelen oksitlenme ve yüzeyine tutunan organik maddeler sonucu, toprağın katyon değişim kapasitesi de artmaktadır (Liang et al., 2006). Biyokömür bünyesinde mevcut kararlı C, göreceli olarak daha dayanıklı, yıkımı oldukça zor olan, dolayısıyla yüzlerce hatta binlerce yıl toprakta kalabilen güçlü yapılar olmasına karşın kararsız C birkaç yıl içerisinde ayrışıp atmosfere CO₂ olarak dönmektedir, iyi bir biyokömür, kararlı karbon oranı yüksek olan biyokömürdür ve bu biyokömürdeki kararlı C, toprakta binlerce yıla kadar bozunmadan kalabilmektedir (McLaughlin et al., 2009). Biyokömür içeriğindeki kül, bitkilere besin maddesi sağlayabilmekte ve toprak pH’sını artırıcı etki yapmaktadır. Toprağa biyokömür ilavesi toprakta organik maddece zengin olan agregat oluşumunu artırarak CO₂ ve CH₄ salınımını azaltır

(Thies & Rillig, 2009). Bu bağlamda biyokömür, bir yandan verim artışını sağlayarak tarıma hizmet ederken, bir yandan da çağımızın en büyük problemlerinden olan sera gazlarının atmosferde azalmasına yardımcı olmaktadır (Lehmann ve Joseph, 2009). Toprağa biyokömür uygulamaları buharlaşma yolu ile topraktan N kaybının azalmasını (NH₃/NH₄'ü adsorbe ederek) sağlamaktadır. Günümüzde toprak düzenleyici olarak biyokömür kullanımında kayde değer ölçüde artışlar meydana gelmiştir (Zhang et al., 2015).

6. BİYOKÖMÜR UYGULAMALARI İLE YAPILAN ÇALIŞMALAR

Glaser (2001), 1980-1990 yılları arasında farklı bitki türlerine uygulanan biyokömür çalışmalarını incelemiştir. Araştırmacı biyokömürün düşük dozlarda (0.5 t ha⁻¹) uygulandığında bitki gelişimi ve verim üzerine olumlu etkisi olduğunu, ancak kullanılan oran arttığında bitki gelişim ve verimlerinde olumsuz etkiye neden olduğunu bildirmiştir. Daha sonraki çalışmalarda, Avustralya'nın yarı-kurak ve tropikal bölge topraklarında biyokömür ile birlikte NPK gübre uygulamalarının verimi artırdığı belirtilmiştir.

Sinclair et al., (2008), yarı-tropikal topraklara sahip olan Avustralya'da şehirlerde meydana gelen belediye atıkları ve hayvansal atık olan sığır atıkları belli bir sıcaklıkta (450°C) yavaş piroliz yöntemiyle üretilen biokömürler, yem bitkilerinde ve baklagil bitkilerinde her uygulama için ayrı ayrı 10 t ha⁻¹ değerinde toprağa uygulanmıştır. Buğdaygillerde ve baklagillerde %7.6 civarında verimde bir yükselişin olduğunu gözlemlemişlerdir. Uygulanan bu yöntemle yeşil bitkilerin atıklarıyla oluşturulan biyokömürün araştırmada olumlu yönde bir artış göstermediği görülmüştür.

Jeffery et al., (2011) yaptıkları çalışmada, toprağa biyokömür uygulandıktan sonra gübre ihtiyacında yaklaşık %10'a varan oranda azalma, toprak aktivitesinde ve yararlı mantar hiflerinde artış olduğu,

katyon değişim kapasitesinin %50'ye varan oranda yükseldiği ve toprak özelliklerinde iyileşme olduğunu belirlemişlerdir.

Upadhyay et al., (2014), biyokömür uygulamalarının patates ve marul bitkilerinin gelişimi üzerine etkisini belirlemişlerdir. Sera koşullarında yapılan çalışma sonucunda; patates bitkisinin gelişimi üzerine biyokömür uygulamasının etkili olmadığı, buna karşılık marul bitkisinin gelişimi üzerine önemli düzeyde etkili olduğu ve gelişimi artırdığı tespit edilmiştir. Marul bitkisi gelişimini en iyi artıran uygulamanın 30 t ha-1 olduğu belirlenmiştir.

Ensarioğlu (2015), yaptığı çalışmada %5 ila 10 biyokömür uygulanan saksılarda yetiştirilen buğdayların gelişiminde belirgin farklar olduğunu, biyokömür uygulamalarının toprakların su tutma kapasitelerini de artırdığını bildirmiştir.

Gunes et al., (2015), tarafından yürütülen çalışmada tarımsal biyokömürün beslenme kalitesi üzerine piroliz sıcaklığının etkisi, bu özelliklerin toprakta bitki besin elementi içeriği ve bitki büyümesine etkisi araştırılmıştır. Değişik piroliz sıcaklıklarında (250, 300, 350 ve 400°C) elde edilen tavuk gübresi biyokömürleri saksılarda 0 (kontrol) ve 10 g kg-1 (25 t ha-1) olacak şekilde 5 uygulamanın mısır ve marul bitkisinin kuru ağırlığı ve mineral içeriği üzerine etkileri belirlenmiştir. Çalışma sonucunda piroliz sıcaklığı artığında biyokömürlerin K ve B dışındaki elementlerin suda çözünür konsantrasyonlarının büyük ölçüde azalmasına rağmen, toplam P, K, Ca, Mg, Fe, Zn, Cu, Mn ve B konsantrasyonlarının arttığı belirlenmiştir. Kontrol ile karşılaştırıldığında 300 ve 350°C'de piroliz edilen biyokömür uygulamaları ile marul ve mısır bitkilerinin kuru ağırlıklarının arttığı, bununla birlikte 300°C'den yüksek sıcaklıklarda üretilen biyokömürlerin gübre etkilerinin azaldığı belirlenmiştir. Araştırmacılar, düşük sıcaklıklarda (250 ve 300°C) üretilen biyokömürlerin tarımsal ürün açısından daha iyi sonuçlar verdiğini bildirmişlerdir.

Bayram (2016) biyokömür uygulaması ile yaptığı çalışma sonucunda biyokömürün yüksek katyon değişim kapasitesine sahip

olduğunu, bu yönüyle kation değişim kapasitesi düşük ve organik maddece fakir toprakların iyileştirilmesinde kullanılabileceğini belirtmiştir. Ayrıca biyokömürün toprakta gerek su gerekse bitki besin maddelerinin tutulumunda etkili bir yardımcı olabileceğini bildirmiştir.

Ergün (2017), fındık biyokömürü (BK) ve ahır gübresi (AG) uygulamalarının domates gelişimi ile toprak enzimleri, mikrobiyal biyomas, CO₂ üretimi ve toprak özellikleri ile ilişkilerini incelemiştir. Çalışmada her saksı için 3 kg toprak ile hektara 0, 5, 10, 15 ve 20 ton olacak şekilde biyokömür ve hektara 5, 10 ve 20 ton olacak şekilde ahır gübresi uygulanmıştır. Sonuç olarak, biyokömür ve ahır gübresinin toprağın organik madde ve başta makro besin maddeleri (N, P ve K) olmak üzere faydalı besin element içeriklerini artırdığı belirlenmiştir. Farklı dozlarda kullanılan biyokömür ve ahır gübresi, bitkilerin kök bölgesindeki enzim aktivitesini artırmıştır. Ayrıca domates bitkilerinin yaş ağırlığı, kuru madde miktarı üzerine en etkili ortam B5+AG5 ve bitki boyu için BK5+AG10 ortamı olduğu tespit edilmiştir.

Zemanova et al., (2017), ilkbahar ve sonbaharda serada yürütülen çalışmada biyokömürün ıspanak ve hardal bitkilerinin gelişimi ve besin içeriklerine etkisini araştırmışlardır. Toprağa %5 oranında uygulanan biyokömürün kontrole göre ıspanak bitkisinin gelişimini ilkbahar döneminde %102, sonbahar döneminde %353 artırdığı saptanmıştır. Biyokömür uygulaması hem hardal hem de ıspanakta K içeriğini artırırken, Ca ve Mg içeriğini azaltmıştır. Ayrıca biyokömür uygulaması ıspanakta P içeriğinin de artmasını sağlamıştır.

Si et al., (2018), tarafından tarla koşullarında yürütülen çalışmada; 0 ve 2.25 t ha⁻¹ biyokömür, 120 ve 180 kg N ha⁻¹ azot, 37.5 ve 67.5 kg P₂O₅ ha⁻¹ fosfor ve çiftçilerin geleneksel olarak uyguladığı NPK dozları (180 kg N ha⁻¹ + 67.5 kg P₂O₅ ha⁻¹ + 67.5 kg K₂O ha⁻¹) ayrı ayrı ve birlikte uygulanmıştır. Çalışma sonucunda çiftçilerin geleneksel olarak uyguladığı NPK dozları ile biyokömürün birlikte uygulanmasının çeltik verimini önemli düzeyde arttırdığı belirlenmiştir.

Adekiya et al., (2019) tarafından Nijerya'nın Savana bölgesinde yürütülen çalışmada; ayrı ve birlikte olacak şekilde 0, 25 ve 50 t ha-1 dozlarında biyokömür ve 0, 2.5 ve 5.0 t ha-1 dozlarında tavuk gübresi uygulamalarının toprak özellikleri ve turp verimine etkileri araştırılmıştır. Biyokömür ve tavuk gübresinin ayrı ve birlikte uygulandığında toprak fiziksel ve kimyasal özelliklerini iyileştirdiği, buna bağlı olarak turp verimi ve yaprak bitki besin maddesi içeriklerini artırdığı tespit edilmiştir. İki yıllık yürütülen çalışmada; birinci yıl biyokömür uygulamasıyla sadece toprak organik madde içeriği ve pH değerlerinin arttığı, ikinci yıl ise bu özelliklerin yanında turp yapraklarının N, P, K, Mg ve Ca içeriklerinin de arttığı tespit edilmiştir. Çalışmada en yüksek verim biyokömür ve tavuk gübresinin (sırasıyla 50 ve 5 t ha-1) birlikte uygulanması ile elde edilmiştir. Çalışma sonucunda tek başına biyokömür uygulamasının kısa dönemde yetişen bitkiler için yetersiz kalabileceği belirtilmiştir.

Dorak ve Aşık (2019), sıvı biyokömürün marul bitkisi ve toprak özelliklerine etkisini belirlemek amacıyla yürüttükleri çalışmada farklı dozlarda (0, 40, 80 ve 160 kg da-1) sıvı biyokömürü toprağa uygulamışlar, sonuçları tam gübreleme (%100 NPK) ve azaltılmış gübreleme (%50 NPK) uygulamaları ile kıyaslamışlardır. Çalışmada toprağa uygulanan sıvı biyokömür miktarı arttıkça, toprağın EC ve bitki besin elementi içeriklerinin arttığı saptanmıştır. Topraktaki EC değerlerinin artması, bitki gelişimini olumsuz etkilemiştir. Biyokömür uygulamalarında, tam ve azaltılmış gübre uygulamalarına göre topraktan kaldırılan Na, Ca, Fe, Mn, Cu ve Zn miktarları daha yüksek bulunmuştur.

Uysal (2019), okaliptüs ve yeşil atıklardan 450-500°C'de yavaş piroliz işlemi ile üretilen biyokömür materyallerini inkübasyon koşullarında olgunlaştırmıştır. Olgunlaştırma sürecini hızlandırmak için torf ile 1:1 oranında karıştırılan biyokömür 30 gün inkübe edilmiştir. Daha sonra 0, 10, 20 ve 40 ton ha-1 doz hesabıyla NaCl kaynaklı tuzlu toprağa uygulamıştır. Bu çalışmada biyokömür toprağa uygulanmadan önce laboratuvar koşullarında inkübasyon yöntemi ile olgunlaştırılmıştır.

Saksı denemesi olarak yürütülen çalışmada buğday ardından da mısır bitkisi yetiştirilmiştir. Çalışma sonucunda en iyi sonuçların biyokömürün 20 ton ha-1 dozunda kullanılmasından elde edildiği ve biyokömürün toprak ıslahı için uygun bir materyal olabileceği bildirilmiştir.

SONUÇ

Biyokömür, toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri iyileştirilerek sürdürülebilir toprak verimliliğinin devamlılığına sağlanması yanında sağlıklı bitkisel üretime de önemli katkıda bulunmaktadır (Evans et al., 2017.) Bu bağlamda toprak düzenleyici olarak dünyada ilk kez Japonya’da onaylamıştır. Avrupa’da İsviçre, biyokömürün tarımsal alanlarda kullanılmasını onaylayan ilk ülke olmuştur.

Sürdürülebilir bitkisel üretimde toprak verimliliğinin stabil ve sürdürülebilir olması için en önemli faktörlerin başında toprakların fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini bozmadan toprakların üretkenliğini arttırmak olmalıdır. Artan dünya nüfusunun gıda ihtiyacının karşılanması büyük önem taşımakta ancak kaliteli gıdaya erişim noktasında büyük sıkıntılar olduğu görülmektedir. Bu bağlamda sağlıklı gıdanın, sağlıklı, kaliteli ve verimli topraklarda yetişebileceği sıklıkla konuşulan tartışılan ve gündemde olan bir konu olarak dile getirilmeye başlanmıştır. Sağlıklı ve kaliteli toprak koşullarında yapılan bitkisel üretim insan ve hayvan sağlığı, güvenli ve kaliteli gıda ile çevre kalitesi dikkate alınarak yapılan bir üretimi tanımlamaktadır. Sürdürülebilir bitkisel üretimin devamlılığı için toprak özelliklerinin iyileştirilmesi yanında bitki gelişimini olumsuz yönde etkileyen faktörlerin iyileştirilmesi yönünde çalışmaların yapılması gereklidir. Toprak özelliklerinin iyileştirilmesi kapsamında toprakların fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini iyileştirmek amacıyla toprak organik maddesinin artırılması yönünde uygulamaların yapılması büyük önem taşımaktadır. Ülkemiz topraklarının organik madde içeriği oldukça

düşük düzeydedir. Topraklarımızın organik madde içeriğini arttırmak en azından belli bir düzeye getirmek için amacıyla organik gübre uygulamalarının yapılması gerekmektedir. Günümüzde çeşitli şekillerde ortaya çıkan organik karbon (C) içeriği yüksek organik atıkların topraklarımıza uygulanması da önerilmektedir. Bu bağlamda organik karbon içeriği yüksek organik bir materyal olan biyokömürün, sürdürülebilir toprak verimliliği ve toprakların organik karbon içeriğinin iyileştirilmesi amacıyla kullanılabileceği çok sayıda araştırmacı tarafından bildirilmiştir (Ni et al., 2006; Lehmann, 2007; Winsley, 2007; Lliffe, 2009). Toprağa biyokömür uygulanması; gübre tasarrufu sağlama yanında (en az %10), toprak reaksiyonunu düzenleme, toprağın besin maddesi tutma (N-P-K), su tutma, havalanma ve katyon değişim kapasitesi (%50), toprağa besin maddesi ilavesi, C mineralizasyonu, azot fiksasyonu, geçirgenlik gibi toprakların fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikler üzerine uzun vadede etkisi olduğu belirtilmiştir (Jeffery et al., 2011).

KAYNAKLAR

- Anderson, T.H., & Domsch, K.H., (1989). Ratios of microbial biomass carbon to total organic carbon in arable soils. *Soil Biology and Biochemistry* 21, 471–479.
- Bach, E.M., Ramirez, K.S., Fraser, T.D., & Wall, D.H., (2020). Soil biodiversity integrates aolutions for a sustainable future. *Sustainability: Science, Practice and Policy* 12, 2662.
- Bradford, M.A., Wieder, W.R., Bonan, G.B., Fierer, N., Raymond, P.A., & Crowther, T.W., (2016). Managing uncertainty in soil carbon feedbacks to climate change. *Nature Climate Change* 6, 751–758.
- Bünemann, E.K., Bongiorno, G., Bai, Z., Creamer, R.E., De Deyn, G., de Goede, R., Fleskens, L., Geissen, V., Kuyper, T.W., Mader, P., Pulleman, M., Sukkel, W., van Groenigen, J.W., & Brussaard, L., (2018). Soil quality – a critical review. *Soil Biology and Biochemistry* 120, 105–125.
- Carini, P., Delgado-Baquerizo, M., Hinckley, E.-L.S., Holland-Moritz, H., Brewer, T.E., Rue, G., Vanderburgh, C., McKnight, D., & Fierer, N., (2020). Effects of spatial variability and relic DNA removal on the detection of temporal dynamics in soil microbial communities. *mBio* 11 e02776-19.
- Conrad, R., (2007). Microbial ecology of methanogens and methanotrophs. *Advances in Agronomy* 96, 1–63.
- Dalal, R.C., 1998. Soil microbial biomass—what do the numbers really mean? *Australian Journal of Experimental Agriculture* 38, 649–665.
- Darwin, C., (1881). *The Formation of Vegetable Mould through the Action of Worms, with Observations on Their Habits*. J. Murray, London.
- Das, B., Huth, N., Probert, M., Condrón, L., Schmidt, S., 2019. Soil phosphorus modeling for modern agriculture requires balance of science and practicality: a perspective. *Journal of Environmental Quality* 48, 1281–1294.
- Delgado-Baquerizo, M., Oliverio, A.M., Brewer, T.E., Benavent-González, A., Eldridge, D. J., Bardgett, R.D., Maestre, F.T., Singh, B.K., & Fierer, N., (2018). A global atlas of the dominant bacteria found in soil. *Science* 359, 320–325.

- Deslippe, J.R., Jamali, H., Jha, N., & Sagggar, S., (2014). Denitrifier community size, structure and activity along a gradient of pasture to riparian soils. *Soil Biology and Biochemistry* 71, 48–60.
- de Vries, F.T., & Bardgett, R.D., (2012). Plant–microbial linkages and ecosystem nitrogen retention: lessons for sustainable agriculture. *Frontiers in Ecology and the Environment* 10, 425–432.
- Doran, J.W., & Zeiss, M.R., (2000). Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. *Applied Soil Ecology* 15, 3–11.
- Falony, G., Joossens, M., Vieira-Silva, S., Wang, J., Darzi, Y., Faust, K., Kurilshikov, A., Bonder, M.J., Valles-Colomer, M., Vandeputte, D., Tito, R.Y., Chaffron, S. Rymenans, L., Verspecht, C., De Sutter, L., Lima-Mendez, G., D’hoë, K., Jonckheere, K., Homola, D., Garcia, R., Tigchelaar, E.F., Eeckhaut, L., Fu, J., Henckaerts, L., Zhernakova, A., Wijmenga, C., & Raes, J., (2016). Population-level analysis of gut microbiome variation. *Science* 352, 560–564.
- FAO, (2015). Status of the World’s Soil Resources (SWSR)—main Report, vol. 650. Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils, Rome, Italy.
- Fierer, N., (2017). Embracing the unknown: disentangling the complexities of the soil microbiome. *Nature Reviews Microbiology* 15, 579–590.
- Fierer, N., & Jackson, R.B., (2006). The diversity and biogeography of soil bacterial communities. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 103, 626–631.
- Griffiths, R.I., Thomson, B.C., James, P., Bell, T., Bailey, M., & Whiteley, A.S., (2011). The bacterial biogeography of British soils. *Environmental Microbiology* 13, 1642–1654.
- Groffman, P.M., Butterbach-Bahl, K., Fulweiler, R.W., Gold, A.J., Morse, J.L., Stander, E. K., Tague, C., Tonitto, C., & Vidon, P., (2009). Challenges to incorporating spatially and temporally explicit phenomena (hotspots and hot moments) in denitrification models. *Biogeochemistry* 93, 49–77.
- Hendriks, D., van Huissteden, J., & Dolman, A.J., (2010). Multi-technique assessment of spatial and temporal variability of methane fluxes in a peat meadow. *Agricultural and Forest Meteorology* 150, 757–774.

- Hermans, S.M., Buckley, H.L., Case, B.S., Curran-Cournane, F., Taylor, M., & Lear, G., (2020). Using soil bacterial communities to predict physico-chemical variables and soil quality. *Microbiome* 8, 79.
- Hermans, S.M., Buckley, H.L., Case, B.S., Curran-Cournane, F., Taylor, M., & Lear, G., (2017). Bacteria as emerging indicators of soil condition. *Applied and Environmental Microbiology* 83 e02826-16.
- Howe, A.C., Jansson, J.K., Malfatti, S.A., Tringe, S.G., Tiedje, J.M., & Brown, C.T., (2014). Tackling soil diversity with the assembly of large, complex metagenomes. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 111, 4904–4909.
- Isobe, K., Bouskill, N.J., Brodie, E.L., Sudderth, E.A., & Martiny, J.B.H., (2020). Phylogenetic conservation of soil bacterial responses to simulated global changes. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London - Series B: Biological Sciences* 375, 20190242.
- Jenny, H., (1994). *Factors of Soil Formation: A System of Quantitative Pedology*. Dover Publications, New York.
- Kaiser, E.-A., Kohrs, K., Kücke, M., Schnug, E., Heinemeyer, O., Munch, J.C., 1998. Nitrous oxide release from arable soil: importance of N-fertilization, crops and temporal variation. *Soil Biology and Biochemistry* 30, 1553–1563.
- Kibblewhite, M.G., Ritz, K., & Swift, M.J., (2008). Soil health in agricultural systems. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London - Series B: Biological Sciences* 363, 685–701.
- Kuzyakov, Y., & Blagodatskaya, E., (2015). Microbial hotspots and hot moments in soil: concept & review. *Soil Biology and Biochemistry* 83, 184–199.
- Lauber, C.L., Ramirez, K.S., Aanderud, Z., Lennon, J., & Fierer, N., (2013). Temporal variability in soil microbial communities across land-use types. *The ISME Journal* 7, 1641–1650.
- Lehmann, J., Bossio, D.A., Kogel-Knabner, I., & Rillig, M.C., (2020). The concept and future prospects of soil health. *Nature Reviews Earth & Environment*. <https://doi.org/10.1038/s43017-020-0080-8>.
- Lehman, R.M., Acosta-Martinez, V., Buyer, J.S., Cambardella, C.A., Collins, H.P., Ducey, T.F., Halvorson, J.J., Jin, V.L., Johnson, J.M.F., & Kremer, R.J., (2015). Soil biology for resilient, healthy soil. *Journal of Soil and Water Conservation* 70, 12A–18A.

- Lievens, B., Brouwer, M., Vanachter, A.C.R.C., Cammue, B.P.A., & Thomma, B.P.H.J., (2006). Real-time PCR for detection and quantification of fungal and oomycete tomato pathogens in plant and soil samples. *Plant Science: An International Journal of Experimental Plant Biology* 171, 155–165.
- Maron, P.-A., Sarr, A., Kaisermann, A., L'ev^eque, J., Mathieu, O., Guigue, J., Karimi, B., Bernard, L., Dequiedt, S., Terrat, S., Chabbi, A., & Ranjard, L., (2018). High microbial diversity promotes soil ecosystem functioning. *Applied and Environmental Microbiology* 84 e02738-17.
- Martin, R.E., Chadwick, K.D., Brodrick, P.G., Carranza-Jimenez, L., Vaughn, N.R., & Asner, G.P., (2018). An approach for foliar trait retrieval from airborne imaging spectroscopy of tropical forests. *Remote Sensing* 10, 199.
- McBratney, A., Field, D.J., & Koch, A., (2014). The dimensions of soil security. *Geoderma* 213, 203–213.
- Nannipieri, P., Giagnoni, L., Renella, G., Puglisi, E., Ceccanti, B., Masciandaro, G., Fornasier, F., Moscatelli, M.C., & Marinari, S., (2012). Soil enzymology: classical and molecular approaches. *Biology and Fertility of Soils* 43, 743–762.
- Nazaries, L., Murrell, J.C., Millard, P., Baggs, L., & Singh, B.K., (2013). Methane, microbes and models: fundamental understanding of the soil methane cycle for future predictions. *Environmental Microbiology* 15, 2395–2417.
- Neher, D.A., (2001). Role of nematodes in soil health and their use as indicators. *Journal of Nematology* 33, 161–168.
- Norris, C.E., Bean, G.M., Cappellazzi, S.B., Cope, M., Greub, K.L.H., Liptzin, D., Rieke, E. L., Tracy, P.W., Morgan, C.L.S., & Honeycutt, C.W., (2020). Introducing the North American project to evaluate soil health measurements. *Agronomy Journal* 112, 3195–3215.
- Odukkathil, G., & Vasudevan, N., (2013). Toxicity and bioremediation of pesticides in agricultural soil. Reviews in *Environmental Science and Biotechnology* 12, 421–444.
- Oliverio, A.M., Bradford, M.A., & Fierer, N., (2017). Identifying the microbial taxa that consistently respond to soil warming across time and space. *Global Change Biology* 23, 2117–2129.

- Prosser, J.I., (2015). Dispersing misconceptions and identifying opportunities for the use of 'omics' in soil microbial ecology. *Nature Reviews Microbiology* 13, 439–446.
- Ramírez, P.B., Fuentes-Alburquenque, S., Díez, B., Vargas, I., & Bonilla, C.A., (2020). Soil microbial community responses to labile organic carbon fractions in relation to soil type and land use along a climate gradient. *Soil Biology and Biochemistry* 141, 107692.
- Robertson, G.P., Hutson, M.A., Evans, F.C., & Tiedje, J.M., (1988). Spatial variability in a successional plant community: patterns of nitrogen availability. *Ecology* 69, 1517–1524.
- Rousk, J., & Frey, S.D., (2015). Revisiting the hypothesis that fungal-to-bacterial dominance characterizes turnover of soil organic matter and nutrients. *Ecological Monographs* 85, 457–472.
- Sanderman, J., Savage, K., & Dungal, S.R.S., (2020). Mid-infrared spectroscopy for prediction of soil health indicators in the United States. *Soil Science Society of America Journal* 84, 251–261.
- Schlatter, D., Kinkel, L., Thomashow, L., Weller, D., & Paulitz, T., (2017). Disease suppressive soils: new insights from the soil microbiome. *Phytopathology* 107, 1284–1297.
- Schlöter, M., Nannipieri, P., Sørensen, S.J., & van Elsas, J.D., (2018). Microbial indicators for soil quality. *Biology and Fertility of Soils* 54, 1–10.
- Sinsabaugh, R.L., Lauber, C.L., Weintraub, M.N., Ahmed, B., Allison, S.D., Crenshaw, C., Contosta, A.R., Cusack, D., Frey, S., Gallo, M.E., Gartner, T.B., Hobbie, S.E., Holland, K., Keeler, B.L., Powers, J.S., Stursova, M., Takacs-Vesbach, C., Waldrop, M. P., Wallenstein, M.D., Zak, D.R., & Zeglin, L.H., (2008). Stoichiometry of soil enzyme activity at global scale. *Ecology Letters* 11, 1252–1264.
- Six, J., Frey, S.D., Thiet, R.K., & Batten, K.M., (2006). Bacterial and fungal contributions to carbon sequestration in agroecosystems. *Soil Science Society of America Journal* 70, 555–569.
- Stewart, R.D., Jian, J., Gyawali, A.J., Thomason, W.E., Badgley, B.D., Reiter, M.S., & Strickland, M.S., (2018). What we talk about when we talk about soil health. *Agricultural & Environmental Letters* 3, 1–5.

- Stott, D.E., (2019). Recommended Soil Health Indicators and Associated Laboratory Procedures. *Soil Health Technical Note No. 450-03*. U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service.
- Strickland, M.S., & Rousk, J., (2010). Considering fungal: bacterial dominance in soils– methods, controls, and ecosystem implications. *Soil Biology and Biochemistry* 42, 1385–1395.
- Tang, J., Zhang, J., Ren, L., Zhou, Y., Gao, J., Luo, L., Yang, Y., Peng, Q., Huang, H., & Chen, A., (2019). Diagnosis of soil contamination using microbiological indices: a review on heavy metal pollution. *Journal of Environmental Management* 242, 121–130.
- Van Bruggen, A.H.C., & Semenov, A.M., (2000). In search of biological indicators for soil health and disease suppression. *Applied Soil Ecology* 15, 13–24.
- Van Der Heijden, M.G.A., Bardgett, R.D., & Van Straalen, N.M., (2008). The unseen majority: soil microbes as drivers of plant diversity and productivity in terrestrial ecosystems. *Ecology Letters* 11, 296–310.
- Velasquez, E., Lavelle, P., & Andrade, M., (2007). GISQ, a multifunctional indicator of soil quality. *Soil Biology and Biochemistry* 39, 3066–3080.
- Visser, S., & Parkinson, D., (1992). Soil biological criteria as indicators of soil quality: soil microorganisms. *American Journal of Alternative Agriculture* 7, 33–37.
- Waksman, S.A., (1927). *Principles of Soil Microbiology*. Williams & Wilkins, Baltimore.
- Wardle, D.A., Bardgett, R.D., Klironomos, J.N., Setälä, H., van der Putten, W.H., & Wall, D. H., (2004). Ecological linkages between aboveground and belowground biota. *Science* 304, 1629–1633.

BÖLÜM 13

KÜRESEL İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNDE TRİTİKALENİN ROLÜ VE ÖNEMİ

Arş. Gör. Dr. Damla BALABAN GÖÇMEN¹

Doç. Dr. Alpay BALKAN²

Prof. Dr. İsmet BAŞER^{3*}

Prof. Dr. Oğuz BİLGİN⁴

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.13776336>

^{1,2,3,4} Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Tekirdağ, Türkiye.

¹ E-mail: dgocmen@nku.edu.tr, ORCID ID: 0000-0002-3980-3906

² E-mail: abalkan@nku.edu.tr, ORCID ID: 0000-0002-9203-6144

³ E-mail: ibaser@nku.edu.tr, ORCID ID: 0000-0002-5770-0118

⁴ E-mail: obilgin@nku.edu.tr, ORCID ID: 0000-0002-4338-9912

*Sorumlu Yazar: ibaser@nku.edu.tr

1. GİRİŞ

1.1 Küresel Isınma

İnsanoğlunun doğal kaynakları aşırı derecede kullanması ve bu nedenle doğal dengeleri bozması çok ciddi sorunlara yol açmıştır. Küresel ısınma ve iklimde meydana gelen değişiklikler, ozon tabakasının incilmesi-delinmesine, çevre kirliliğine, bitki örtüsü ve toprağın tahribatına, canlı türlerin yok olmasına ve dünyamızın her geçen gün daha da yaşanmaz hale gelmesine sebep olmaktadır. Yakın bir zaman önce yitirdiğimiz ünlü İngiliz bilim adamı, Prof. Dr. Stephen Hawking; “Nüfusun katlanarak arttığı, doğal kaynakların aşırı tüketildiği dünyamızda, gelecek 100 yıl içerisinde felaketlerin ortaya çıkacağını, insanoğlunun hayatta kalmasının tek yolunun dünyada kalmamak ve yeni gezegenlerde yaşamak olduğunu” açıklamıştır.

Tarımsal yönden küresel ısınma ve iklimde meydana gelen değişiklikler, büyük önem taşımaktadır. Bilim adamlarının büyük bir bölümü, 20. yüzyıl ortalarına kadar iklimdeki değişimlerin doğal etmenlerden kaynaklandığını varsaymalarına karşın, 1960’lardan sonra bu yaklaşım değişmiş, iklimdeki değişimlerde insanoğlunun faaliyetlerinin çok daha önemli olduğu görüşü kabul edilmiştir. Nitekim Birleşmiş Milletler “İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi’nde iklim değişikliği; “Karşılaştırılabilir bir zaman diliminde gözlenen doğal iklim değişkenlikleri ile doğrudan yada dolaylı olarak küresel atmosferin doğal yapısını bazen insan etkinlikleri sonucunda iklimde oluşan değişikliklerin bütünü” olarak tanımlanmıştır.

Özellikle sanayi devrimi ile birlikte insanların iklim üzerindeki olumsuz etkileri hızla artmıştır. O günden bugüne olan nüfus artışı ve sanayileşme, aşırı enerji üretimi ve tüketimi, çarpık yerleşme ve kentleşme, ozon tabakasındaki incelme, atmosfere salınan partiküller, arazilerin yanlış kullanımı ve doğal çevrenin bozulması, ormansızlaşma ve özellikle de çeşitli kaynaklardan çevreye salınan sera gazlarındaki

artışın neden olduğu küresel ısınma, bölgesel ve küresel ölçekte iklimi etkilemiştir.

Küresel ısınma; sera gazı emisyonlarındaki artışlara bağlı olarak ortalama yüzey sıcaklıklarında artışları ifade etmektedir. Atmosferde sera etkisi yapan CO₂ ve metan gibi sera gazı emisyonlarındaki hızlı artışlar küresel ısınmanın en önemli nedenlerinin başında gelmektedir. Sanayileşme ile birlikte fosil yakıtların tüketiminin artması, arazi kullanımındaki değişiklikler, ormanların tahribi ve çarpık sanayileşme gibi insan faaliyetleri neticesinde sera gazlarının atmosferde birikmesi ile sera etkisi meydana gelmiş, atmosferin kimyasal özelliklerini olumsuz yönde değiştirerek küresel ölçekte iklim değişikliğine yol açmıştır.

Küresel ısınma adı verilen dünyamızı felakete sürükleyen olayın esas sorumlusunun endüstrileşme olmasına karşın, hızlı nüfus artışlarının görüldüğü geri kalmış ve gelişmekte olan, tarımla uğraşan ülkeler, küresel ısınmanın sorumlusu olarak yargılanmak istenmektedir. Yapılan araştırmalar dünyamızdaki küresel ısınmaya; enerji kullanımı katkısının %49, endüstrileşme katkısının %24, ormansızlaşma ve yeşil örtünün hızla yok oluşunun katkısının %14 olmasına karşın, tarımsal üretimin katkısının sadece %13 oranında olduğunu göstermektedir.

Atmosferde insan kaynaklı sera gazları miktarındaki artışın bir sonucu olarak ortaya çıkan küresel ısınma, yeryüzünde sıcaklıkların artmasına yol açmaktadır. Bu olay son 50 yıldır iyice fark edilir hale gelmiş ve önem kazanmıştır. Atmosferde bulunan gazlar, güneşten gelen ışınların büyük bölümünü geçirmesine karşın, ısınan cisimlerden yayılan ve yansıyan uzun dalga boylu ışınların tamamının atmosferi geçerek geriye dönmesine izin vermemektedir. Özellikle atmosferdeki sera gazlarının ısınan cisimlerden yayılan ve yansıyan uzun dalga boylu ışınları bünyelerinde tutmaları ve çok daha az geçirgen olmaları nedeniyle, yeryüzünün beklenenden daha fazla ısınmasını sağlayan ve ısı dengesini düzenleyen olaya sera etkisi adı verilmektedir.



Şekil 1. Sera Gazlarına Ait Sera Etkisi (Kaynak: <https://www.nkfu.com/sera-etkisi-ve-kuresel-isinma-nedir-etkileri-nelerdir/>)

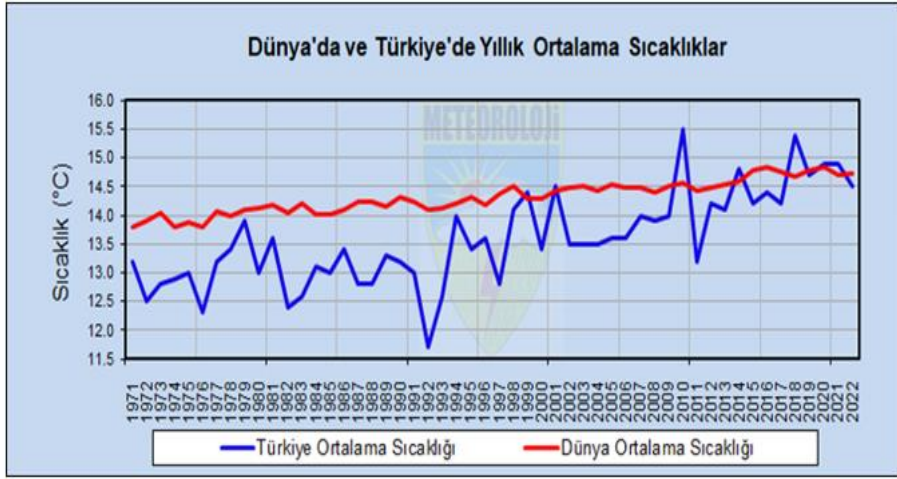
Atmosferde sera etkisine yol açan, Metan (CH₄), Karbondioksit (CO₂), Su buharı (H₂O), Azot oksitler (NO_x), Ozon (O₃) ve Kloroflorkarbon (CFC) sera gazları olarak adlandırılmaktadır. Sanayi devriminden bu yana atmosferin yapısında bulunan ve dünyanın aşırı soğumasını engelleyen sera gazlarının salınımı artış göstermiştir. Doğal dönüşüm süreçleri aksamış ve atmosfer sera gazı konsantrasyonları sürekli olarak yükselmiş ve sonuç olarak da küresel ısınma olarak tanımlanan ortalama sıcaklık artışı giderek artmıştır. Bilim insanları, çeşitli iklimsel senaryoların bölgesel ve yöresel etkilerinin belirlenmesine yönelik çalışmalara odaklanmışlardır. Bu bağlamda, ılıman ve yağışlı bölgelerin daha fazla yağış alacağı ve sıcaklık artışının tarımsal üretimde verim artışına da neden olabileceği şeklinde eğilimler bulunmaktadır. Buna karşılık, taşkınlar ve fırtınalar gibi doğal afetlerdeki artışlar da işin olumsuz yönü olabilecektir.

Küresel ısınma sonucu ortaya çıkan belirtiler; buzulların hacminde azalma, denizlerin yükselmesi, göllerdeki su sıcaklığının artışı, güncel ölçümlerdeki farklılıklar ve atmosferdeki aerosollerin miktarındaki artışlar olarak söylenebilir. İklim; yeryüzünün herhangi bir yerinde uzun yıllar boyunca yaşanan yada gözlenen tüm hava koşullarının ortalaması olarak tanımlanmaktadır. Yerküremizin en karmaşık yapılarından birisi olan iklim; atmosfer, kar ve buzullar, diğer su kütleleri, okyanuslar, kara yüzeyleri ve canlılar arasındaki karşılıklı etkileşiminin bir sonucunu olarak ortaya

çıkılmaktadır. Bu karşılıklı dengede meydana gelen değişim, günümüzde hemen hemen tüm bilim insanları tarafından kabul edilen bir durum olarak karşımıza çıkmaktadır. Ancak son yıllarda iklim değişikliği üzerinde yoğunlaşmanın en önemli nedeni, iklim değişikliğinin tüm ekolojik sistemi etkilemeye başlamasıdır.

İklim değişikliği; genel olarak, küresel ısınma sonucu iklim sistemi üzerinde meydana gelen değişiklikleri ifade etmektedir (Dolu, 2005). Küresel iklim değişikliği, küresel ısınmaya bağlı olarak yağış, nem, hava hareketleri, kuraklık gibi iklim olaylarında büyük değişimlerin görülmesidir (Aksay ve ark., 2005). İklim değişikliği küresel bir sorun olup, ancak etkileri nedeniyle yerel nitelikler kazanabilmektedir. Günümüzde canlı yaşamını etkileyen en önemli çevresel problem olan iklim değişikliğine yol açan faktörlerin başında bol miktarda sera gazı oluşturan fosil yakıtların yoğun olarak kullanılması gelmektedir. Özellikle kömür, petrol ve doğalgaz kullanımının artması, ormanların ve diğer ekosistemlerin bozulması veya hızla yok olması iklimde değişikliklere yol açmaktadır. Ekosistemin doğal işleyiş sürecinde meydana gelen bazı gelişmeler de iklim değişikliği üzerinde etkili olabilmekte fakat bu etki, insanın neden olduğu etkinin yanında önemsiz kalmaktadır. Yanardağlardaki volkanik patlamalar esnasında bazı sera gazlarının ve toz bulutunun açığa çıkışı bu duruma örnek olarak verilebilir. Yukarıda da belirtildiği gibi tüm dünyadaki yanardağların harekete geçme potansiyeli göz önüne alındığında, bu etkinin insandan kaynaklanan etki yanında çok önemsiz olduğu açıkça görülmektedir.

1960'tan beri atmosferden kaynaklanan felaketler 4 kat, reel ekonomik kayıplar 8 kat ve sigorta kapsamında olan ekonomik kayıplar ise 12 kat artmıştır (IPCC, 2001). Bu kadar büyük kayıpların ortaya çıkması bu felaketlerin şiddetini göstermesi açısından önemlidir. Tüm bu gelişmeleri, küresel ısınma ve iklim değişikliği için delil olarak nitelendirmek mümkündür. Dünyamıza ait detaylı sıcaklık kayıtları 19. yüzyıl sonlarında tutulmaya başlanmıştır. Ortalama küresel sıcaklık 20. yüzyılda yaklaşık 0.6 ± 0.2 °C artış göstermiştir. 1971 yılı ile 2022 yılı arasındaki 52 yıllık sıcaklık değişimleri incelendiğinde dünyada ortalama sıcaklıklar özellikle son on yılda sürekli artış göstermiş, 14.0 °C altına düşmezken, Türkiye'de ise sıcaklıklar 14.5 °C altına düşmemiştir (Şekil 2).



Şekil 2. Dünyada ve Türkiye’de Yıllık Ortalama Sıcaklıklar (Kaynak: NOAA ve Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2023)

Sıcaklığın artmasıyla birlikte buzulların erimesiyle deniz seviyelerinde 10-20 cm arasında yükselme olduğu görülmektedir. Genel olarak küresel ısınmanın etkisi, hava sıcaklıklarının dünyanın her yerinde artması biçiminde olması beklenmemektedir. Sıcaklığın artış oranı subtropik bölgelerde kutuplardakinden daha farklı olması beklenmektedir. Örneğin ekvatorda bu artışın dünya ortalamasının çok altında olacağı tahmin edilmektedir. Aslında bu ısınmanın, dünya iklim sisteminde köklü değişimlere ve aşırılıklara yol açması muhakkaktır. Öyle ki, dünyanın bazı bölgelerinde kasırga, sel ve taşkınlar gibi hava olaylarının artan şiddet ve sıklıkta, bazı bölgelerde de uzun süreli, şiddetli kuraklıklar ve çölleşme olayları etkili olabilecektir.

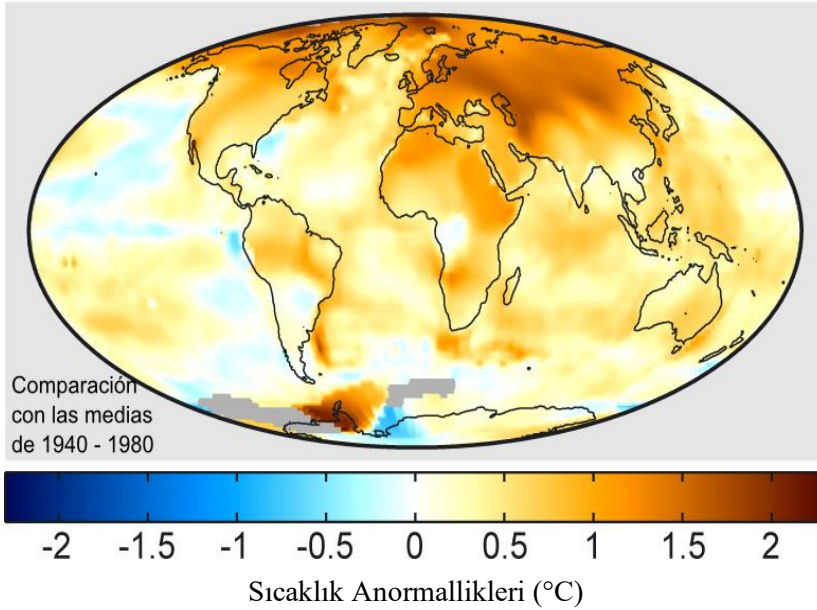
1960’ lı yıllardan beri dünyamızın sıcaklığı her 10 yılda 1 °C artmaktadır. Kış döneminde ise bu artış 2 °C seviyesine ulaşmaktadır (Brass, 2002; Kerr, 2002; Walther ve ark., 2002). Benzer bir durum, geceyle gündüz arasında da görülmektedir. Gece sıcaklıklarındaki artış, gündüz sıcaklıklarındaki artıştan fazla olacaktır. Bu durumda karalar geceleri eskisi kadar soğumaya fırsat bulamayacaktır. Yağış dönemlerindeki miktar ve yağış türlerinin değişmesiyle artan sıcaklık daha çok buharlaşmaya ve buna bağlı olarak da daha çok bulut oluşmasına yol açacaktır. Dünyanın ikliminin daha sıcak, daha nemli ve yer yer bol yağışlı olacağını söylemek mümkün olmaktadır.

Küresel ısınmaya yol açan sera gazlarından su buharının küresel ısınmaya katkısı %50'lere çıkmakta ve sera gazları içerisinde önemli yeri olan karbondioksitin de ısınmaya katkısı çok fazla olmaktadır. Matematiksel bilgisayar modellere göre CO₂ yoğunluğu iki katına çıktığında, küresel sıcaklığın 3 °C artacağı hesaplanmıştır. Karbondioksitin küresel ısınmaya katkısının yüksek olmasında, karbondioksit moleküllerinin 50-100 yıl gibi uzun ömürlü olmaları etkili olmaktadır. Sera gazlarının olmaması durumunda yeryüzü sıcaklığının bugüne göre 30 °C daha soğuk olacağı tahmin edilmektedir. Yapılan araştırmalar göstermektedir ki; normal atmosferde 300 ppm olarak bulunan karbondioksit konsantrasyonu indeks olarak 1 ve yeryüzünün ortalama sıcaklığı 0 °C olarak kabul edildiğinde; karbondioksit konsantrasyonundaki artışa bağlı olarak yeryüzünün ortalama sıcaklığı Çizelge 1'de görüldüğü gibi katlanarak artmaktadır.

Çizelge 1. Karbondioksit Konsantrasyonundaki Artışa Bağlı Olarak Yeryüzünün Ortalama Sıcaklığındaki Değişim.

CO ₂ konsantrasyonu (ppm)	300	450	600	750	900
İndeks	1	1.5	2	2.5	3
Ortalama sıcaklık (°C)	0	3.4	5.5	7.2	8.5

Son 50 yılda; dünyanın ortalama sıcaklığı her on yılda ortalama 0.19 °C artmıştır. Gelecek 20 yılda ise ortalama sıcaklık artışının, her on yıllık periyod için 0.20 °C olacağı tahmin edilmektedir. Yapılan iklim modeli tahminlerine göre ortalama küresel yüzey sıcaklığının 21. yüzyılda 1.1-6.4 °C arasında artış göstereceği belirtilmektedir. Yapılan çalışmalar 2100 yılına kadar olan döneme yoğunlaşsa da ısınma ve deniz suyu seviyesindeki yükselmelerin sera gazı düzeylerinin sabit bir duruma gelmesi ile yeni bir bin yıllık süreçte de devam edebileceği tahmin edilmektedir (Anonim, 2008).



Şekil 3. 1940 ve 1980 normlarına göre 1999-2008 yılları arasında Dünya’da görülen sıcaklık anormallikleri.

1.2. Küresel Isınmanın Etkileri

İklimde yaşanan değişikliklerin temel nedeni, yerkürenin ışınım dengesinin değişimidir. Güneş ışınımı ile yer ışınımı arasındaki dengeyi değiştiren herhangi bir etmen, iklim de ciddi şekilde etkilemektedir. Bu etmenler, kimi zaman doğal süreçlerle kimi zaman da insan faaliyetleri nedeniyle ortaya çıkmaktadır.

İnsan faaliyetlerine bağlı olarak atmosferdeki sera gazı düzeylerinin değişmesi, zincirleme etki yaratmaktadır. İlk aşamada ortaya çıkan küresel ortalama yüzey sıcaklıklarındaki artış, başta yağış rejimlerinde düzensizlikler olmak üzere iklim sistemlerinde çeşitli değişimlere yol açmakta, bu değişimler ise doğal kaynakların varlığını ve dağılımını etkileyerek sosyo-ekonomik yapılara yansımaktadır. Çeşitli senaryolara göre atmosferdeki sera gazlarının birikimlerinde ve buna bağlı olarak küresel ortalama sıcaklıklarda görülen artışlar beklenenden hızlı bir şekilde gelişmektedir. Ayrıca, yağış rejimlerindeki

düzensizlikler gelecekte su kaynaklarının kullanımında problemler ile karşılaşılmasına neden olabilecektir. Son zamanlarda küresel ısınma sonucu meydana gelen iklim değişikliğinden dolayı hava ve iklim parametrelerinde gözlenen değişimler daha sık görülmektedir. Hükümetler Arası İklim Değişimi Paneli (IPCC) tarafından 2030 yılı için yapılan senaryolara göre artacak olan olası iklimsel tehlikeler ise aşağıdaki şekilde sıralanmaktadır:

1. Sıcak hava dalgaları artacaktır.
2. Orman yangınları artacaktır.
3. Hastalık ve zararlı sayısındaki artış sonucu tarımsal savaşım daha da zorlaşacaktır.
4. Şiddetli yağışlar sonucu ani sel felaketleri artacaktır.
5. Tropikal fırtınaların sayısı ve şiddeti artacaktır.
6. Tarım, agro-kültür (tarla tarımı), hayvancılık, tatlı su depolamasının olumsuz etkilenmesi sonucu büyük zararlar görülebilecektir.
7. Sıtma ve malaria gibi çok önemli zararlara yol açan hastalıkları taşıyan böcekler buldukları bölgelerden çıkarak diğer bölgelere yayılacaktır.

Akdeniz kuşağında yer alan ve küresel ısınma ve iklim değişikliğinin olumsuz etkilerinin en yüksek oranda görüleceği Türkiye; kuraklık, su kaynaklarının zayıflaması, orman yangınlarının artması, yeni hastalık ve zararlılarının ortaya çıkışıyla baş etmek zorunda kalabilecektir. Samsun'dan Adana'ya bir hat çizildiğinde bunun batısında kalan bölgenin 3-4 °C, doğusunda kalan bölgenin ortalama sıcaklığının da 4-5 °C civarında artacağı, günlük yağış miktarının 0.25 mm kadar düşeceği, buharlaşmanın ve yaz kuraklığının artacağı tahmin edilmektedir. Sıcaklık ve kuraklığın artmasıyla; orman yangınlarında artış, sıcaklık ve nemin etkisiyle hastalık ve zararlı sayılarında artış, ısınmanın etkisiyle de iklim kuşakları kuzeye doğru kayacaktır. Ülkemizde daha önce görülmeyen birçok hastalık ve zararlılar ortaya

çıkacak bu da tarımsal mücadeleyi hem daha pahalı hale getirecek hem de daha fazla pestisit kullanımını sonucu çevre daha çok kirlenecektir.

Küresel ısınma sonucu mutlak yağış miktarı azalacaktır. Miktar kadar yağışın mevsimlere dağılımı periyodu da çok önemlidir. Hasat döneminde düşen yağışlar birçok ürünün kalitesini de olumsuz etkileyecektir. Yağışların azalması ile yer altı sularının kullanımında artan yoğunluk, kontrolsüz açılan kuyular yer altı su seviyesinin daha da derine inmesine neden olacak, tuzluluk ve kirlenme artacaktır. Kuraklık Karadeniz ve Marmara gibi iç denizlerde sıcaklığın artmasına, üreme bozukluklarına, hastalıkların artmasına ve sonuçta üretimin azalmasına ve hatta Karadeniz'e sıkışmış olan hamsi balıkları daha serin bir yere girme şansı olmadığından yok olma tehlikesi ile karşı karşıya kalacaktır. Günümüzde Tuz Gölü 18 yıl içinde %60 oranında küçülmüştür. Bu küçülmeye iklim değişikliğine bağlı olarak ortaya çıkan kuraklığın etkisi son derece fazladır. Zira, Tuz Gölü Havzası son 35 yılda ortalama 2 °C ısınmıştır. Sıcaklıklardaki 1 °C artış, iklime bağlı afetlerin meydana gelme olasılığını %30 oranında arttırmaktadır.

Ülkemizin yer aldığı ekolojide küresel ısınma ve iklim değişikliği sonucu kuraklık artışı ve tarımsal verimde büyük düşüşler beklenmektedir. Uzun vadede en önemli seçeneğimiz, değişen iklim koşullarına adapte olarak yaşamayı, tarımsal üretim yapmayı ve suyu ekonomik kullanmayı öğrenmektir. Bunun yolu da hem toprağı hem de suyu israf etmeden, kirletmeden, bozmadan kullanmaktan geçmektedir. Çok farklı iklim sistemlerine sahip Türkiye, özellikle küresel ısınmaya bağlı olarak görülebilecek bir iklim değişikliğinden en fazla etkilenecek ülkeler arasında yer almaktadır. Doğal olarak üç tarafının denizlerle çevrili yarımada olması, değişken bir topografyada bulunması nedeniyle ülkemizin farklı bölgelerinin, iklim değişikliğinden farklı biçimde ve değişik boyutlarda etkileneceği beklenmektedir. Örneğin, sıcaklık artışından daha çok çölleşme tehdidi altında bulunan Güney Doğu Anadolu Bölgesi ve İç Anadolu Bölgesi gibi kurak ve yarı kurak

bölgelerle, yeterli suya sahip olmayan yarı nemli Ege Bölgesi ve Akdeniz bölgesi daha fazla etkilenmiş olacaktır.

Meydana gelecek iklim değişiklikleri, tarımsal faaliyetlerde hayvan ve bitkilerin doğal yaşam alanlarında değişikliklere yol açacak, kurak ve yarı kurak bölgelerimizde su kaynakları yönünden önemli sorunlar ortaya çıkacaktır. İklim bilimcilerinin üzerinde birleştiği ortak nokta ise gelecekte olabilecek iklim değişikliğinin, atmosferdeki sera gazı emisyonlarındaki artıştan kaynaklanan küresel ısınmadan olacağı şeklindedir. Olası bir iklim değişikliğinin yurdumuzda ortaya çıkaracağı sonuçları aşağıda verildiği şekilde özetlemek mümkündür:

1. İklim değişikliğinin, yurdumuzda doğal ekolojik sistemlerin bileşimini ve üretkenliğini bozacağı ve biyolojik çeşitliliği azaltacağı kaçınılmaz olacaktır.

2. Ormanlar iklimsel değişikliklere oldukça duyarlıdır. Olası bir iklim değişikliği sonucu ortaya çıkacak sıcaklık, yağış, zararlıların yayılışı ve yangınlar nedeniyle ormanlar ile çayır ve meraların tahrip edilmesi, millî parkların yeteri derecede korunamaması gelecekte Türkiye açısından büyük sorunlar ortaya çıkaracaktır.

3. Küresel iklim değişiklikleriyle, özellikle su kaynaklarının azalması, kuraklık ve çölleşme, orman yangınları ile bunların sonucu olarak ekolojik bozulmalardan ülkemizin olumsuz etkileneceği tartışılmaz bir gerçektir. Türkiye’de, uzun yıllar yağış ortalaması 631 mm iken, yağış miktarı, 1999 yılında %15 ve 2000 yılında %7 oranında azalış göstermiştir. Bu azalış ve sapmalar tarımsal üretimi olumsuz yönde etkilemektedir.

4. Pek çok bölgede tarım alanlarının amaç dışı kullanımı, su yönetim eksiklerine bağlı su baskınları, tuzluluk, çoraklaşma, aşırı pestisit ve gübre kullanımına bağlı kirlilik, tarımsal üretimde ürün kayıplarının %40-50 lere ulaşmasına neden olabilmektedir. Meydana gelecek iklim değişiklikleri hayvan ve bitkilerin doğal yaşam alanlarında değişikliklere yol açacak; yaşam alanları daralacak, büyük göçler yaşanabilecek, yeni koşullara uyum sağlayamayan çok sayıda bitki,

böcek ve kuş türü ortadan kalkacaktır. İklim değişikliği çiftçileri ürettikleri ürünleri değiştirmeye zorlayacak, ekim ve dikim tarihlerinde ve ürün deseninde önemli değişikliklere yol açabilecektir. İklimde meydana gelen değişme, sulanan ve sulanmayan alanlarda özellikle buğday, mısır, soya fasulyesi gibi daha birçok bitkisel üründe verim kayıpları ortaya çıkarabilecektir.

5. Türkiye'nin çölleşme tehlikesi bulunan İç Anadolu, Güney Doğu Anadolu, Ege ve Akdeniz Bölgeleri gibi yarı kurak ve yarı nemli bölgelerinde özellikle tarım, ormancılık ve su kaynakları açısından olumsuz etkiler görülecektir. İklimde meydana gelebilecek herhangi bir değişme yüzey akışı, yağış, buharlaşma ve topraktaki kullanılabilir suyun miktarını değiştirecektir. Mevsimler ve yıllık yağışlarda görülecek değişimler hem su kaynaklarının depo edilmesi hem de topraktaki nem dengesinin düzenlenmesi açısından önemlidir. Bitkilerin çiçeklenme, tozlanma, meyve oluşumu ve tane dolumu sırasında meydana gelebilecek su kısıtı verimin önemli ölçüde düşmesine neden olacaktır.

6. Kuraklık, doğada meydana gelen en büyük tehlikeli afettir. Türkiye, son dönemlerde en az yağış aldığı kurak periyodu yaşamaya başlamış ve bu trendin artacağına ilişkin tahminler ilgili kuruluşlarca yapılmaktadır. Kuraklık normalin altında yağış, düşük toprak nemi, sıcak kuru hava gibi birçok faktörün bileşiminin bir sonucudur. Ülkemiz genelinde görülen yağışın miktar ve dağılımındaki sapmaların, yer altı ve yer üstü su rezervlerinde olumsuz sonuçlar meydana getirdiği görülmektedir.

Türkiye küresel iklim değişikliğinin potansiyel etkileri açısından risk taşıyan ülkeler arasında bulunmaktadır. İklimde bugün gözlenebilen ve öngörülen değişiklikler, bilhassa başta su kaynaklarında azalma, kuraklık ve bunlara bağlı ekolojik bozulmalar, orman yangınları, erozyon, tarımsal üretkenlikte değişiklik olmak üzere sıcak dalgalarına bağlı ölümler ve vektör kaynaklı hastalıklarda artışlara kadar pek çok açıdan doğanın dengesinin değişmesine sebep olmaktadır. İkliminin

değiştığı ve nüfusunun hızla arttığı dikkate alındığında Türkiye'nin 2050 yılında su fakiri bir ülke olacağı tahmin edilmektedir (Kadioğlu, 2001).

Dünyadaki birçok ülkede (Avrupa ve Amerika) tüketiciler tarafından kullanılmasına rağmen, tritikale Türkiye de yeterli düzeyde kullanılmamaktadır. Bunun da ana nedenleri, tritikalenin yeterince tanıtılmaması, pişirme değeri, tritikale tanelerinin rengi ve buruşuk görünümü gibi özellikleri nedeniyle tritikalenin tüketiciler tarafından yeterli benimsenmemesinden kaynaklanmaktadır.

İklim değişikliğinin en büyük etkisi, tarım alanlarındaki önemli değişiklikler şeklinde kendini gösterecektir. Lobell ve ark. (2008), iklim değişikliği nedeniyle bazı önemli kültür bitkilerinin 2050 yılına kadar üretimden tamamen kalkabileceği yada üretimlerinin çok azalacağını, özellikle günümüzde verimli şekilde tarımı yapılan mısırın Güney Afrika'da üretilmeyeceğini; yer fıstığı, darı ve kolza çeşitlerinin ise Güney Asya'da üretimlerinin çok azalabileceğini öngörmüşlerdir. Bahçe bitkilerinde de aynı tehlikenin bulunduğu, iklim değişikliği nedeniyle birçok önemli kültür çeşidinin üretiminde önemli azalmaların beklenebileceği bildirilmiştir (Antle, 2009).

İklim değişikliğinin bitki yerel popülasyonları (köylü çeşidi), yabani akrabaları türlerinin neslinin yok olmasına yol açtığı için tarımsal biyoçeşitliliği baskı altına aldığı bir gerçektir (Jarvis ve ark., 2008). İklim değişikliği nedeniyle üreticilerin yerel popülasyon (köylü çeşitler) yada değişen koşullara daha iyi uyum sağlayan yeni geliştirilmiş kültür çeşitlerine yönelmesiyle kullanılmakta olan çeşitler kaybolacaktır. Örneğin, son 20 yılda Sudan'ın Güney Mali Bölgesi'nde yetiştirilen sorgum çeşitlerinin sayısında iklim değişikliğine bağlı olarak yağış sezonunun kısılması nedeniyle önemli ölçüde azalma olduğu bilinmektedir (Weltzien ve ark., 2006).

Bitki hastalık ve zararlıları önemli ölçüde iklim koşullarından etkilenmelerinden dolayı çevresel değişikliklere karşı son derece duyarlıdır. Newton ve ark. (2008), ıslah edilen hastalık ve zararlılara dayanıklı çeşitlerin stabil iklim koşullarında etkili olabileceğini,

değişken çevresel koşullarda bu özelliklerinde değişimlerin olabileceğini bildirmişlerdir. Öte yandan, iklim değişikliğinin bitki hastalıklarına etkisine ilişkin çalışmaların sınırlı sayıda yapılabileceğine dair genel bir görüş de söz konusudur. Birçok patojenin üremesinde en etkili faktör sıcaklıktır. Örneğin; kök çürüklüğünü oluşturan patojen yüksek sıcaklıklarda daha hızlı üremektedir (Waugh ve ark., 2003). Uzun büyüme mevsimlerinde (özellikle yüksek bölgelerde) yüksek sıcaklıklar patojenlerin gelişmesi için zaman kazandırmaktadır.

2. KÜRESEL İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ YÖNÜNDEN TRİTİKALE

Dünya üzerinde tahıllar, geniş alanlarda ekimi ve üretimi yapılan ürün grubunu oluşturmaktadırlar. Dünyada en fazla ekimi ve üretimi yapılan tahıllar arasında buğday, mısır, çeltik, arpa ve çavdar ön sıralarda yer almaktadır. Son yıllarda bu tahıl ürünlerine ek olarak buğday ile çavdarın melezlenerek kromozom sayısının iki katına çıkartılması sonucu elde edilen ve Tritikale (*xTriticosecale* Wittmack) adını alan tahıl cinsi önem kazanmaya başlamıştır. Tritikale dünyada birçok ülkede tarımı yapılan yeni bir tahıl cinsidir. Tritikale (*xTriticosecale* Wittmack), Poaceae (Graminae) familyasından tek yıllık bir C3 serin iklim bitkisidir.

Yeni bir ürün olarak, tritikale, makarnalık/ekmeklik buğday (*Triticum* sp.) x çavdar (*Secale cereale* L.) türleri arasında yapılan melezleme sonucunda elde edilmiştir. Bu yeni bitkiye buğday ve çavdarın bilimsel isimleri olan *Triticum* ve *Secale*'nin kaynaştırılması ile Triticale adı verilmiştir (Varughese ve ark., 1996). Buğday x çavdar melezinden olan bu yeni tahıl cinsi; ABD, Polonya, Kanada ve Meksika gibi birçok ülkede uzun süre devam eden ıslah çalışmaları sonucu marjinal, fakir tarım alanlarından dekardan alınan verimi artırmak suretiyle, hızla artan Dünya nüfusunun gıda ihtiyacını karşılamak amacıyla geliştirilmiştir. Buğdaydaki verim ve kalite özellikleri ile

çavdardaki biyotik ve abiyotik stres şartlarına tolerans ve/veya dayanıklılık özellikleri birleştirilmek istenmiştir.



Şekil 4. Tritikale Bitkisinin Görünümü.

Buğday ile çavdarın melezlenmesi ilk defa 1875’de İskoç botanikçi Stephen Wilson tarafından denenmiş, fakat elde edilen melezler steril çıkmıştır. Alman botanikçi Rimpau 1888’de yaptığı çalışmalarda kısmi fertil melezler elde etmiştir (McGoverin ve ark., 2011). 1915’li yıllarda doğal tritikale hibritlerine rastlanılmıştır. Fertil melez konusundaki ilk önemli başarı, 1938 yılında buğday x çavdar melezine kolşisin (colchicine) uygulamasıyla kromozom sayısının iki katına çıkarılmasıyla üretken tohum veren melez bitkiler elde eden, İsveçli genetikçi Müntzing tarafından elde edilmiştir.

Tritikale; ana ebeveyni buğday, baba ebeveyni ise çavdar olan bir melezdir (Müntzing, 1989; Dodge, 1989). Ebeveynlerinin poliploidi düzeylerine bağlı olarak tetraploid, hekzaploid yada oktoploid olabilmektedir. Tritikaleler oktoploid yada tetraploid olmasına karşın, ticari olarak yetiştirilen tritikaleler makarnalık buğday ve çavdar melezinden oluşan hekzaploid ($2n=42$) sekonder amfidiploid form olup, klasik genom dizilimi AABBRR’dir (Lukaszewski ve Gustafson, 1987; Yıldırım ve ark., 2007).

Tritikalenin; kıraç, marjinal alanlara adaptasyonu ve verim potansiyeli A ve B genomuna sahip makarnalık buğday ebeveyninden,

soğuk, asitli, tuzlu topraklarda yetişebilme özelliği R genomuna sahip çavdardan gelmektedir (Süzer, 2003). Melezlemede makarnalık buğday kullanılırsa elde edilecek tritikale hexaploid ($2n=42$), ekmeklik buğday kullanılırsa oktoploid ($2n=56$) olmaktadır. Tanesi için yetiştirilen tritikaleler hexaploid, hayvan yemi olarak yetiştirilen tritikaleler ise, oktoploid'dir. İkincil hekzaploid tritikale (AABBRRDD) genom formülüne sahip olup, bu tritikalelerde ekmeklik buğdaydan D genomunun katılması sonucu genetik çeşitliliğinin artması avantaj olarak görülmektedir (Atak, 2004).

İlk tritikale çeşidi 1966 yılında Avrupa'da tescil edilmiş olup, bunu Kuzey Amerika'da tescil edilen "Kosner" isimli tritikale çeşidi izlemiştir. Yurdumuzda üretim izimli olarak ilk kez "Bakırçay" tritikale çeşidi yetiştirilmeye başlamıştır. Daha sonra Tatlıcak 97, Tacettinbey, Presto 2000, Karma 2000, Melez 2001, Mikham 2002, Ege Yıldızı, Alperbey, Ümranhanım, Mehmetbey, Ayşehanım, Truva, Collegial, Respekt, Cosinus, Esin, Özer, Melihbey, NT09423, Ocenia, Bc Goran, Kinerit, Bera, NT07403, Vardem, Misionero, Toygar, Okkan 54, Kereon, Tribeca, Sarp, Ümranhanım 2, Ahenk, Sileno tritikale çeşitleri tescil edilmiştir. Yurdumuzda üreticimizin gerçek anlamda tritikale ile tanışması Bahri Dağdaş Milletlerarası Kışlık Hububat Araştırma Merkezi tarafından geliştirilerek tescil ettirilen ilk kışlık tritikale çeşidi "Tatlıcak 97" ile olmuştur. Bu çeşidin yüksek verim performansı göstermesi sonucu tritikale üretim alanları artmaya başlamıştır.

Yurdumuzda tritikale ekimi son on yılda önemli artış göstererek 35 bin hektardan 110 bin hektara yükselmiştir. Üretim miktarı ise 110 bin tondan 370 bin tona yükselmiştir. İlginç bir şekilde ise 2014 yılında tritikale verimi 405 kg/da iken 2019 yılında 571 kg/da yükselmiş, son üç yılda ise 2021 de 342 kg/da, 2022 yılında 293 kg/da, 2023 yılında ise 305 kg/da'a düşmüştür. Türkiye genelinde 57 ilde tritikale üretimi yapılmakta olup Çorum, Sivas, Tokat, Samsun, Kırklareli, Uşak, Bayburt, Kütahya, Amasya ve Denizli üretimde öne çıkan illerdir.



Şekil 6. Buğday ve Tritikalenin Arazideki Görünümü.



Şekil 7. Buğday, Çavdar ve Tritikale Tanelerinin Görünümleri.

Küresel iklim değişikliğinin tarımsal üretim üzerine etkilerinin kuraklık, ekstrem sıcaklık artışları, ani sıcaklık değişimleri, hastalık ve zararlılarda artış gibi bitkilerin yetiştirme ekolojilerinde istenmeyen değişimler ve toprak yapısında bozulmalara neden olabilecektir.

2.1. Tritikale Verim Kapasitesi ve Kullanımı

Tritikale buğday ve çavdar melezi bir tahıldır. Strese dayanıklı olması, kalitesi düşük topraklarda gelişebilme yeteneği, iklim

koşullarına dayanıklılığı, kuraklık toleransı, asitli topraklara dayanabilme yeteneği, düşük besin ihtiyacı ve yetiştirme döneminde düşük azot gereksinimi gibi avantajları vardır. Diğer tahıllara kıyasla daha az gübreye gereksinim duymaktadır. Tritikalenin tane verimi buğdaya eşit veya daha fazla, bitki boyu daha yüksek, hektolitre ağırlığı daha az, başaklanma tarihi ise benzer olarak bulunmuştur (Lehman ve ark., 1983). Islah çalışmalarında kendine döllenmiş bitki olarak kabul edilmekle birlikte; çeşitli araştırmacılar tarafından tritikalede %10.1 ile 47.5 arasında yabancı döllenen saptanmıştır (Demir ve ark., 1978). Bu yabancı döllenen durumu göz önünde bulunduran Zillinsky ve ark. (1980), kendine döllenmiş bitkilerde melez azmanlığından yararlanmak için her yıl melezleme yapmak gerektiğini; tritikale bitkisinin ise bu melezlemelere gerek kalmaksızın, melez azmanlığını kendiliğinden ortaya çıkarabileceği görüşündedirler. Tritikalede tane kırıklığı, hektolitre ağırlığının ve un randımanının düşük olması nedeniyle unu buğday ununa belli oranlarda (%50-70) karıştırılarak kullanılmaktadır. Tritikale, yıllık 300 mm'den az yağış alan elverişsiz alanlar, fosfor açısından fakir, kumlu veya asidik topraklara iyi adaptasyon gösteren bir tahıldır. Tritikale hidromorfik koşullara karşı en dayanıklıdır ve olumsuz yağışlı ortamlarda yapılan karşılaştırmalı denemelerde tritikale verimleri hem tane hem de saman olarak buğday ve arpanın verimini aşmıştır (Mergoum, 1989). Bugün, tritikale farklı ülkelerde buğday, arpa ve mısırla birlikte ana ürün olarak kabul edilir ve bu türün ekim alanları sürekli olarak gelişmektedir. Tritikale bazı ülkelerde insan gıdası olarak kullanılmakta ancak genellikle daha yaygın kullanımı tek başına veya baklagilleriyle birlikte yüksek biyokütle üretimi ile hayvansal üretimde önemli bir kaba yem kaynağıdır. Kümes hayvancılığında, tritikale tavukların, özellikle de yumurta tavuklarının yem bileşiminde buğday, arpa veya mısır gibi diğer tahılların yerine kullanılabilir. Yüksek biyokütle üretme ve sınırlayıcı koşullarda iyi büyümeyle otlatmadan sonra rejenerasyon yeteneği, tritikaleyi mükemmel bir yem bitkisi yapar.

İlkbahar tipi ve fakültatif tritikale gittikçe otlatılan yem, yeşil kesilmiş yem, çift amaçlı yem (yem/tahıl) veya silaj olarak kullanılmaktadır (Mergoum ve Gómez- Macpherson, 2004). Bu ürün, özellikle kuraklık, asitlik ve kumlu topraklara sahip bölgelerde farklı ekim sistemlerine entegre edilebilir. Tritikalenin yem olarak potansiyel kullanımları arasında tahıl ve saman için saf olarak yetiştirilmesi, yeşil yem olarak veya saman veya silaj olarak saklanması veya baklagilleriyle birlikte kullanılması yer alır (Mergoum ve Kallida, 1997).

Dünya nüfusun sürekli artması gıda talebinin de sürekli olarak yükselmesine neden olmaktadır. Özellikle küresel iklim değişiminin de etkisi ile tarımsal açıdan uygun olmayan yada verimsiz alanların oranının artması güvenilir gıda arzını riske etmektedir. Özellikle abiyotik ve biyotik streslerin etkisinin daha fazla hissedildiği alanlarda tritikalenin gıda ve yem olmak üzere iki amaç için daha yaygın olarak üretilmesi gerekmektedir. Tritikale taneleri yüksek lisin içeriğine sahip iyi bir protein ve vitamin kaynağıdır, düşük gliadin içeriği nedeniyle unu buğday unu ile karıştırarak iyileştirilebilir. Ancak son yıllarda ıslah edilen tritikale çeşitlerinin tane kalite özelliklerinin iyileştirilmesi ve bu konuda yapılan çalışmalar tritikalenin farklı gıda üretiminde de başarılı olarak kullanılabileceğini ortaya koymaktadır.

Tritikale ununun buğday unu ile %50' ye kadar karıştırılmasıyla elde edilen ekmek kalitesi sadece buğday unu kullanılmasıyla yapılan ekmek kalitesine benzer sonuçlar vermiştir (Pena ve ark., 1991; Pena ve Amaya, 1992). Yakın bir geçmişte ortaya çıkmış olmasına rağmen tritikale, dünyada olası bir açlık sorununa, buğdayın yanında alternatif olmaya adaydır (Küçükakça, 1995). Yapılan çalışmalar; tritikalenin yem verimi, kuru madde oranı, lif içeriği, hazım olma derecesi gibi hayvan beslemede önemli olan kalite kriterleri açısından diğer tahıllara benzer yada daha üstün olduğu sonucuna ulaştırmıştır (Atak, 2004). Tritikalenin hazmolur protein ve lisin miktarı, buğday ve arpaya göre daha yüksek olup, protein oranı ve amino asit içeriği ile amino asit dengesi buğdaya göre daha iyidir. Ayrıca tritikalenin tanelerinin fosfor, mangan, demir ve

bakır içeriği de yüksektir (Fernandez-Figares ve ark., 2000). Bu sayılan nedenlerle tritikale hayvan beslenmesinde arpa, yulaf ve buğdayın yerine kullanılabilir. Yurdumuzda oldukça yüksek oranda olan kaba ve kesif yem açığının giderilmesinde tritikalenin önemli bir rol üstlenmesi kaçınılmazdır. Tritikale tanesinin yem değeri arpa ve çavdardan daha iyi, buğdayla eşit durumdadır. Özellikle küçük ve kanatlı hayvanların doğrudan beslenmesinde ve yem rasyonlarına katılmasında önerilmektedir (Çiftçi ve ark., 2003). Tritikale unu, buğday ve çavdar unu ile karıştırılarak kabarma istemeyen ekmek, pasta ve bisküvi yapımında kullanılmaktadır. Ayrıca hiçbir işleme tabi tutmadan ve formül değişikliği yapmadan bisküvi üretiminde %50, kraker üretiminde %25 ve kepekli bisküvi üretiminde ise %100 kullanımı fiziksel, kimyasal ve duyu kalite sınırları içerisinde mümkün olabilmektedir (Sertakan Gündođdu, 2006). Tritikalenin tek başına ekmek yapımında kullanılmasında en büyük problem olan yüksek α -amilaz aktivitesi malt ve maya yapımı için uygundur. Tritikale yüksek malt ekstraktı verme özelliğine ve yüksek diastatik güce sahiptir.

Bir gıda olarak, besinlerin emilimini de düzenleyebilir, bağışıklığı artırabilir ve kan şekeri seviyelerini kontrol edebilir, böylece kardiyovasküler hastalık ve obezite gibi bazı yaygın hastalık riskini azaltabilir ve bu da insan sağlığı için büyük ölçüde faydalıdır (Lafiandra ve ark., 2014). Yapılan çeşitli araştırmalar sonucunda tritikale ve buğdayın tahıllardan etanol üretimi için en uygun seçim olduğu ve benzer koşullarda yetişen çavdara göre daha fazla etanol üretimine olanak sağladığı ifade edilmektedir. Yani tritikalenin içeriğinde bulunan amilaz aktivitesi diğer tahıllara kıyasla daha yüksektir. Tahılın yüksek amilaz aktivitesine sahip olması etanol üretiminde arzu edilen bir durumdur. Yüksek amilaz aktivitesi, sakkarifikasyon aşamasında hazır enzim preparatlarının kullanımının %50 oranında azalmasını sağlar (Kucerova, 2007). 2009-2010 yılları arasında Duğan (2010) tarafından yapılan bir araştırmada; tritikale çeşitlerinin ekmeklik buğday dan 40

kg/da, arpa dan 100 kg/da, çavdar dan 110 kg/da, yulaf dan 110 kg/da fazla tane verimi; ekmeklik buğday dan 1 ton/da, arpa dan 1 ton/da, çavdar dan 1 ton/da, yulaf dan 0.40 ton/da fazla yeşil ot verimi verdiği belirlenmiştir.

2.2. Abiyotik-Biyotik Stres Koşullarında Tritikale

Makarnalık/ekmeklik buğday ile çavdarın melezlenmesi sonucu geliştirilen tritikale buğdayda bulunan verim ve kalite özelliklerinin korunarak çavdarda bulunan abiyotik ve biyotik streslere dayanıklılık özelliğinin aktarılması amaçlanmıştır. Günümüzde en yaygın olarak kullanılan heksoploid tritikale, çevresel kısıtlamaların bulunduğu alanlarda daha yüksek gelişim kabiliyeti gösterecek önemli derecede iyi genetik çeşitliliğe sahiptir. Tritikale soğuk, kurak ve marjinal toprak koşullarına dayanıklı, çoğu hastalık ve zararlıdan etkilenmeyen bir bitkidir. Yağış miktarındaki azalma ve yağış rejimindeki düzensizliklerin neden olduğu kuraklık sonucu büyüme ve gelişme olumsuz yönde etkilenmektedir. Tritikale, buğday ve arpaya göre bu olumsuz duruma karşı daha toleranslı bir yapıya sahiptir. Yüksek sıcaklık, kuraklık, düşük verimli, kumlu ve asidik toprak koşullarında, tritikale buğday ve arpadan daha yüksek verim vermektedir. Günümüzde küresel iklim değişiminin etkileri daha net hissedilmekte, ülkelere ve bölgelere göre değişmekle birlikte her yıl kuraklık, yüksek sıcaklık, ani sıcaklık değişimi, yağış dağılımında düzensizlik gibi abiyotik stres faktörleri ile pas hastalıkları, kök hastalıkları, zararlılar gibi biyotik stres faktörleri geniş alanlarda üretimi yapılan bitkilerde önemli sorunlara neden olmaktadır. Bu tip alanlar için hem abiyotik hem de biyotik stres faktörlerinden etkilenmeyen yada daha az etkilenen türlerin çeşitlerinin daha fazla oranda yer alması gerekmektedir. Son yıllarda yoğun tarımsal girdi kullanımı, iklimsel değişimler nedeniyle abiyotik ve biyotik stres faktörlerinin etki alanı artmakta bunun yanında düşük verimli alanlar da genişleme görülmektedir. Bu tip riskli alanlar içinde en önemli bitkilerin başında tritikale gelmektedir. Ülkemizde tritikale 110 bin hektar alanda

yetiştirilmekte ve daha çok kaba yem ve kesif yem olarak hayvan beslenmesinde kullanılmaktadır. İnsan beslenmesinde kullanım oranı ise düşük düzeydedir.

Yarı kurak bölgeyi temsil eden dört farklı alanda yürütülen denemelerde tritikalede yaklaşık arpadan 5 kat daha yüksek verim vermiştir (Mergoum, 1989). Benzer sonuçlar abiyotik stres koşulları altında biyokütle olarak tritikale üretimi kumlu topraklarda diğer tahıllara göre daha yüksek olmuştur. Tritikale, fakir topraklara iyi adapte olup, düşük girdilere ve azot gübrelemesine olumlu yanıt vermesi yanında elverişli alanlarda, iyi verimi sağlar (Aniol, 2002). Tritikale, çavdarın iklim ve toprak özellikleri bakımından fazla seçici olmayan özelliği ile hastalık ve zararlılara dayanıklılığını; buğdayın ise yüksek verim ve kalitesine sahip bir tahıldır. Tritikale; serin iklim tahıllarından buğday ve arpaya göre olumsuz iklim ve toprak koşullarına daha fazla dayanabilmesi nedeniyle stres koşullarında da olsa belirli bir verim düzeyine ulaşabilmektedir. Nüfusumuzun hızla artması, ekilebilen tarım alanlarının son sınırına gelmiş olması ve en önemli sorunlardan biri olarak küresel ısınmaya bağlı iklim değişikliğinin meydana gelmesi gelecek yıllardaki olası bir beslenme açığının önemli işaretleridir. Bu sorun tüm dünyayı ilgilendiren bir sonuç olup, gelecekte artan dünya nüfusunun gıda gereksinimini karşılayabilecek çözümler için yoğun çalışmalar yapılmaktadır. Bilim adamları açlık sorununa çare olması amacıyla mevcut tarım alanlarındaki verimi artırmanın yanı sıra, marjinal alanlarda da üretim yapılabilmesine olanak sağlayacak tritikale üzerinde de araştırmalarını yoğunlaştırmışlardır (Bağcı ve Ekiz, 1993). Buğday ve arpanın 200-250 kg/da tane verimi verdiği koşullarda, tritikaleden 400 ile 500 kg/da arasında tane verimi alınabilmektedir. Yetiştirime koşullarının uygun olduğu alanlarda da buğday ve arpa dan daha yüksek değer veren tritikale çeşitleri olabilmektedir. Son yıllarda ıslah edilen tritikale çeşitlerinde tane verimleri 800 kg ve üzerine, yeşil ot verimleri de 4 ton ve üzerine çıkmaktadır.

Sulanmayan marjinal alanların değerlendirilmesinde öncelikle tercih edilmesi gereken bitki tritikale olabilir. Farklı özellikler taşıyan yeni tritikale çeşitlerinin geliştirilmesiyle ekim alanı ve üretiminde önemli artışlar sağlanacaktır (Müntzing, 1989; Mergoum ve ark., 1992; Kün, 1996). Tritikale erozyon nedeniyle toprak derinliği azalan, verim gücünü yitiren eğimi fazla olan topraklarda, buğdayın iki katı sayılabilecek bir verim potansiyeline sahiptir. Tarla koşullarında buğdayda önemli verim düşüklüklerine neden olan yaprak hastalıklarına da toleranslıdır. Tritikale çavdar ve buğdaya zarar veren pestisist ve hastalıklara karşı daha dayanıklıdır (Garcia-Aparico ve ark., 2011; Kucerova, 2007). Tritikale, biyolojik olarak diğer serin iklim tahılları ile birçok agroekolojik bölgede rekabet edebilen ve ters çevre koşullarına daha iyi adapte olan yeni bir alternatif ürün olmuştur (Varughese, 1996). Diğer serin iklim tahıllarına kıyasla topraktan daha fazla yararlanabilmesi nedeniyle özellikle, marjinal alanların değerlendirilmesinde ve artan yem açığının kapatılmasında tritikale önemli bir alternatif bitki olarak dikkati çekmektedir. Tritikale buğday tarımının yapılamadığı toprak derinliği az, çorak ve kışları çok sert geçen bölgelerde buğdaydan daha verimli olabilmekte, ağır kış koşullarına karşı buğdaya göre daha iyi dayanım göstermektedir. Almanya’da yapılan bir araştırmanın sonucuna göre tritikale buğday ve arpaya oranla daha düşük sıcaklıklara daha fazla dayanabilmektedir (Sachs ve ark., 1999). Tritikalede çavdar ebeveyninden kalıtımla gelen pas hastalıklarına dayanma özelliği, pasın buğday üretimini sınırladığı alanlarda buğdayın yerine yetiştirilebilmesine olanak sağlamaktadır. Buğdaya kıyasla daha düşük girdi ihtiyacının olması, tritikaleyi ekonomik açıdan da üstün kılmaktadır. Tritikalenin büyük oranda hastalıklara dayanıklılık göstermesi, verimi düşük topraklarda az girdi ile yüksek verim elde edilebilme olanaklarına sahip olma özellikleri nedeniyle, organik tarım sistemine de en uygun kültür bitkisi olarak ön plana çıkmaktadır (Hackett ve Burke, 2004).

Ülkemizde tritikale tarımının yaygınlaşması ile yağışın sınırlı olduğu, verimsiz kıraç alanlar, tuzlu, asitli ve hastalık etmenlerince bulaşık olan yerler de daha iyi değerlendirilecek, böylece bu gibi yerlerin ülke ekonomisine katkısı mümkün olabilecektir. Ancak iklim değişikliğiyle beraber kendini gösteren yağış miktarındaki azalmalar tane veriminde ortaya çıkacak verim düşüklüğünün en önemli nedeni olacaktır (Atak ve Çiftçi, 2006). Tritikale buğdaydan daha iyi kuraklık (Hura ve ark., 2012), alüminyum (Niedziela ve ark., 2022) donma (Rapacz ve ark., 2022) ve su basması (Arseniuk, 2015) toleransı sergilemiştir. Tüm bu nitelikler, tritikaleyi Polonya, Almanya, İspanya ve Fransa gibi Avrupa ülkesinde yetiştirilen değerli ve köklü bir ürün haline getirir. Tritikale tanesi esas olarak hayvan yemi olarak kullanılır, ancak aynı zamanda insan gıda tüketiminde ve biyoetanol ve biyoyakıt üretiminde de kullanılır.

Yurdumuz, günümüz koşullarında kendisine yetecek kadar buğday ve arpayı üretebilmekle birlikte, gelecek yıllarda bu durumunu koruyabileceği tartışma konusudur. Yaşanan yüksek sıcaklıklar ve buna bağlı olarak ortaya çıkan kuraklık, gelecekte birçok bitkinin bu olumsuz durum karşısında zarar görmesine hatta üretimden kalkmasına neden olacaktır. Bununla birlikte günümüzde kurak ve yarı kurak alanların tarım dışı kalacağı beklenmektedir. Değişen iklim koşullarında, günümüzde yetiştirilen birçok kültür bitkisinin ve bunlara ait çeşitlerin yeni koşullara uyum gösterememesi sonucu üretim dışı kalacakları kaçınılmaz bir sonuç olacaktır. Yakın gelecekte oluşacak yeni abiyotik ortam için yeni bitkilere gereksinim duyulacaktır. Bu koşullarda tritikale bitkisinin bugünden daha fazla önem kazanması beklenmektedir.

İklim değişikliğiyle birlikte ortaya çıkacak su sıkıntısı ve kuraklık açısından tritikale, buğday ve arpaya ciddi bir alternatif tahıl olarak ön plana çıkmaktadır. Hastalıkların ve zararlıların neden olduğu kayıplar bitkisel üretimde önemli boyutlara ulaşabilmektedir. Hastalık ve zararlılara karşı birçok türde yeterli dayanıklılığın olmaması bitkisel

üretimde yoğun herbisit ve insektisit kullanımını ortaya çıkarmaktadır. Bu nedenle bitkisel üretimde önemli bir girdi maliyeti yanında özellikle canlıların sağlığı ve ekolojik denge üzerine önemli olumsuz etkileri bulunmaktadır. Genotip dayanıklılığının yeterli olmaması, biyotik streslerin etkisinin daha belirgin olduğu marjinal alanlarda bitkisel üretimi daha yüksek düzeyde olumsuz etkilemektedir.

Düzensiz yağışlar, yağış yetersizliğinden kaynaklanan ekim gecikmesi, pas, septoria ve helminthosporia' nın neden olduğu yaprak hastalıkları, yeterli dayanıklılık olmadığı için buğday ve arpada önemli kayıplara neden olmaktadır. Tritikale, abiyotik ve biyotik streslere karşı tolerans da çeşitli genlere sahiptir. Tritikale hastalıkların ve zararlıların dayanıklılığı ile bunların gelişimini engellemekte böylece pestisit kullanımını azaltarak ekolojik çevreyi de korumaktadır. Çavdar (*Secale graal* L., $2n = 2x = 14$, RR), buğday ve diğer küçük taneli ürünlerle karşılaştırıldığında, kuraklığa, tuza ve alüminyum stresine karşı en yüksek toleransa sahip tahıldır. Ayrıca külleme dayanıklılık genleri Pm7 (Heun ve Friebe, 1990), Pm8, Pm17 (Hsam ve Zeller, 1997), Pm20 (Friebe ve ark., 1994) ve Pm56 (Hao ve ark., 2018); kara pas dayanıklılık genleri Sr27 (Rao ve Ramanujam, 1978) Sr31 (Mago ve ark., 2005), Sr50 (Mago ve ark., 2015) ve Sr59 (Rahmatov ve ark., 2016); kahverengi pas dayanıklılık genleri Lr25 (Heun ve Friebe, 1990), Lr26 (Mago ve ark., 2005) ve Lr45 (Mcintosh ve ark., 1995) ve de sarı pas dayanıklılık geni Yr9' a (Mago ve ark., 2005) sahiptir.

Bitki ıslahçıları, çavdar kromozomlarını başarı ile buğdaya aktararak, farklı kromozom kompozisyonlarına ve ploidisine dayalı olarak tetraploid (AARR, $2n=4x=28$), hekzaploid (AABBRR, $2n=6x=42$), oktaploid (AABBDDRR, $2n=8x=56$) ve dekaploid (AABBDDRRR, $2n=10x=70$) sentetik ürün olan tritikaleyi yarattılar. Tritikale, külleme, sarı cücelik virüsü, kahverengi pas ve diğer hastalıklara karşı yüksek direnç özelliğe sahiptir. Fusarium başak yanıklığı (FHB), tahıl tanelerinin mikotoksinlerle kirlenmesine neden

olabilir. Tritikale de FHB ile enfekteldir; ancak başak enfeksiyonuna buğdaydan daha dirençlidir (Goral ve ark., 2021).

Tritikale, daha önceleri kara, kahverengi ve sarı pasın yanı sıra Fusarium başak yanıklığı (FHB) ve külleme gibi birçok biyotrofik hastalığa karşı dirençliydi (Miedaner ve ark., 2022). Ancak ekim alanları arttıkça, tritikale bu ürünü enfekte edebilen yeni patojen ırklarının evrimi nedeniyle bağışıklığını kaybetmeye başladı (Liu ve ark., 2018). Bu nedenle, başlıca ıslah hedefleri aynı anda birçok stres faktörüne karşı toleransı/direnci artırmaya odaklanmıştır. Başak yanıklığı direnç genini taşıyan *Th. elongatum* kromozomlarının veya kromozom parçalarının tritikaleye aktarılmasının tritikalenin başak yanıklığı direncini artırabileceği ortaya konmuştur.

Küresel iklim değişiminin etkisi ile iklim koşulları ve toprak yapısında meydana gelen değişimler, hastalık ve zararlı artışı tarımsal üretimi daha riskli hale getirmektedir. Bu nedenle özellikle küresel iklim değişiminin daha etkin hissedildiği yada hissedileceği alanlarda stres faktörlerinden etkilenmeyecek yada en az düzeyde etkilenecek ürünlere gereksinim duyulmaktadır. Bu bağlamda da en önemli alternatiflerin başında tritikale gelmektedir.

Daha yüksek tane verimi, başak başına daha fazla tane sayısı, yatmaya dayanıklılığı, abiyotik ve biyotik streslere dayanıklılığı nedeniyle buğday ve arpadan daha yüksek verimler verebilmektedir. Tritikalenin daha yüksek ışın kullanım etkinliği (radyasyon), ekmek buğdayından daha yüksek stoma iletkenliği, asimilasyon oranı ve su kullanım özelliği kuraklık, yüksek sıcaklık, toprak asitliği, düşük sıcaklık toprak alkaliliği gibi abiyotik stres faktörlerine dayanıklılığını sağlamaktadır. Kuraklık koşullarında, tritikalenin buğdaydan daha yüksek yaprak bağıl su içeriği, antioksidan yeteneği, stoma iletkenliği ve daha düşük bitki örtüsü sıcaklığı bulunmaktadır. Sapta suda çözünen karbonhidratlar içeriği ve taneye yeniden mobilizasyonu ekmek buğday, makarnalık buğday veya arpadan daha yüksektir ve bu da daha büyük

tane boyutu ve başak başına tane sayısı ile ilişkilidir. Bunun yanında tritikalenin alüminyuma toleransının yüksek olması asitli topraklarda yetiştirmeye uygun hale getirmektedir.

Tritikale bitkisel üretimde önemli kayıplara neden olan kahverengi pas, kara pas, külleme, fusarium, kök çürüklüğü gibi hastalıklara, arpa küçüklüğü virüsü gibi zararlılara buğday ve arpaya göre daha dayanıklı olması nedeniyle küresel iklim değişimi nedeniyle artması beklenen hastalık ve zararlılar yönünden tercih edilecek bitkilerden biri olacaktır. Son yıllarda sarı pas ırkları buğday ve özellikle yeni ıslah edilen tritikale çeşitlerinde oldukça önemli zarar oranlarına ulaşabilmektedir. Bu nedenle tritikale ıslahında da sarı pasa dayanıklılık ıslahına ağırlık vermek yararlı olacaktır.

3. SONUÇ

Günümüzde küresel iklim değişimi nedeniyle gün geçtikçe sıcaklıklar artmakta, kuraklık, ani sıcaklık dalgalanmaları, yağışın düzensiz dağılımı, tarım topraklarının verimliliğinin düşmesi daha sık görülmekte ve tarımsal üretimde önemli sorunlar ortaya çıkmaktadır. Değişen iklim koşulları nedeniyle tarımsal üretim yapılan birçok alanda abiyotik ve biyotik stres faktörlerinin olumsuz etkilerinin artması beklenilmektedir. Bu nedenle abiyotik ve biyotik stres faktörlerinden, düşük toprak verimliliği koşullarından etkilenmeyen yada en az etkilenen bitki türlerine gereksinim duyulmakta, bu açıdan da tritikale en önemli alternatif bitki olarak görülmektedir.

4. KAYNAKLAR

- Aksay, S.C., Ketenoğlu, O., Kurt, L. (2005). Küresel Isınma İklim Değişikliği. *Selçuk Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi Dergisi*, 25: 29–41.
- Aniol, A. (2002). Environmental Stress in Cereals: An Overview. In E. Arseniuk, ed. Proc. 5th Int. Triticale Symp., Radzikow, Plant Breeding and Acclimatization Institute, 2022, pp. 11-121, Radzikow, Poland.
- Anonim (2008). Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation; jurisdiction: Commonwealth of Australia. (n.d.). Climate Change Effects on Marine Ecosystems Report (Fact Sheet), 2008, Australia.
- Antle, J.M. (2009). Agriculture and the Food System: Adaptation. Resources for the Future (RFF), 2009, pp. 28, Washington, DC, USA.
- Arseniuk, E. (2015). Triticale, Triticale Abiotic Stres. An Overview; pp. 69–81, Springer; Cham, Switzerland.
- Atak, M. (2004). Farklı Tritikale Hatlarının Morfolojik ve DNA Markörleriyle Genetik Karakterizasyonu (Doktora Tezi) Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Atak, M., Çiftçi, C.Y. (2006). Bazı Tritikale Çeşit ve Hatlarının Morfolojik Karakterizasyonu. *Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Bilimleri Dergisi*, 12(1): 101-111.
- Bağcı, S.A., Ekiz, H. (1993). Tritikale'nin İnsan ve Hayvan Beslenmesinde Önemi. 1. Konya'da Hububat Tarımının Sorunları ve Çözüm Yolları Sempozyumu, 12-14 Mayıs 1993, pp. 135-156, Konya.
- Brass, G.W. (2002). Arctic Ocean Climate Change. US Arctic Research Commission Special Publication No. 02-1, pp. 14, Arlington, VA.
- Çiftçi, İ., Yenice, E., Eleroğlu, E. (2003). Use of Triticale Alone and in Combination with Wheat or Maize: Effect of Diet Type and Enzyme Supplementation on Hen Performance, Egg Quality, Organ Weights, İntestinal Viscosity and Digestive System Characteristics. *Animal Feed Science and Technology*, 105: 149-161.
- Demir İ., Aydem, N., Korkut, K.Z., Şölen, P. (1978). Ege Bölgesine Uyan Tritikale Hatları Üzerinde Araştırma. TÜBİTAK-TOAG, Proje No. 260., İzmir.

- Dolu, Ö. (2005). Kyoto Protokolü Esneklik Mekanizmaları ve Kurumsal Kapasite Gelişimi (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi) Adnan Menderes Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Aydın.
- Duğan, S. (2010). Tritikalenin Farklı Toprak Koşullarına Uyum Yeteneğinin Belirlenmesi ve Diğer Serin İklim Tahılları ile Verim ve Kalite Yönünden Karşılaştırılması (Yüksek Lisans Tezi) Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
- Dodge, B.S. (1989). Food and Feed Uses. Tritikale a Promising Addition to The World's Cereal Grains. National Research Council, National Academy Press, pp. 42-52, Washington.
- Fernandez-Figares, I., Marinetto, J., Royo, C., Ramos, J.M., Garcia del Moral, L.F. (2000). Amino-Acid Composition and Protein and Carbohydrate Accumulation in The Grain of Triticale Grown Under Terminal Water Stress Simulated by A Senescing Agent. *Journal of Cereal Science*, 32: 249-258.
- Friebe, B., Heun M., Tuleen N., Zeller F.J., Gill, B.S. (1994). Cytogenetically Monitored Transfer of Powdery Mildew Resistance from Rye into Wheat. *Crop Science*, 34:621.
- Garcia-Aparicio, M., Trollope, K., Tyhoda, L., Diedericks, D., Görgens, J. (2011). Evaluation of Triticale Bran as Raw Material for Bioethanol Production. *Fuel*, 90: 1638-1644.
- Goral, T., Wiśniewska, H., Ochodzki, P., Twardawska A., Walentyn-Góral, D. (2021). Resistance to Fusarium Head Blight, Kernel Damage, and Concentration of Fusarium Mycotoxins in Grain of Winter Triticale (x *Triticosecale* Wittmack) Lines. *Agronomy*. 11(1): 16.
- Hackett, R., Burke, J.I. (2004). Potential for Triticale in Low Cost Production Systems, National Tillage Conference, 28th January, Wednesday, 2004, pp. 90-104, İrlanda.
- Hao, M., Liu, M., Luo, J.T., Fan, C.L., Yi, Y.Y., Zhang, L.Q., Yuan, Z.W., Ning, S.Z., Zheng, Y.L., Liu, D.C. (2018). Introgression of Powdery Mildew Resistance Gene *Pm56* on Rye Chromosome Arm 6RS into Wheat. *Frontier Plant Science*, 9:1040.
- Hsam, Z.L.K., Zeller, F.J. (1997). Evidence of Allelism Between Genes *Pm8* and *Pm17* and Chromosomal Location of Powdery Mildew and Leaf

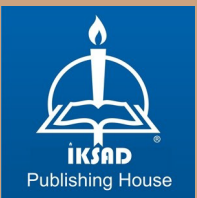
- Rust Resistance Genes in The Common Wheat Cultivar 'Amigo'. *Plant Breeding*, 116: 119-122.
- Heun M., Friebe, B. (1990). Introgression of Powdery Mildew Resistance from Rye into Wheat. *Phytopathology*, 80:242–245.
- Hura, T., Hura, K., Dziurka, K., Ostrowska, A., Bączek-Kwinta, R., Grzesiak, M. (2012). An Increase in the Content of Cell Wall-Bound Phenolics Correlates with the Productivity of Triticale under Soil Drought. *J. Plant Physiol.*, 169:1728–1736.
- IPCC (2001). Third Assessment Report Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Jarvis, A., Lane, A., Hijmans, R.J. (2008). The Effect of Climate Change on Crop Wild Relatives. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 126:13–23.
- Kadioğlu, M. (2001). Kuraklık kıranı, Güncel Yayıncılık, pp. 125, İstanbul.
- Kerr, R.A. (2002). A Warmer Arctic Means Change for all. *Polar Science*, 297:1490-1492.
- Kucerova, J. (2007). The Effect of Year, Site and Variety on The Quality Characteristics and Bioethanol Yield of Winter Triticale. *Journal of the Institute of Brewing*, 113(2): 142-146.
- Küçükakça, M. (1995). Konyada Sulu ve Kuru Şartlarda Kışlık Bazı Tritikale Çeşitlerinde Önemli Tarımsal ve Kalite Özellikleri Üzerinde Araştırmalar (Doktora Tezi) Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Kün, E. (1996). Tahıllar- I. Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, pp. 431, Ankara.
- Lafiandra, D., Riccardi, G., Shewry, P.R. (2014). Improving Cereal Grain Carbohydrates for Diet and Health. *Journal of Cereal Science*, 59: 312–326.
- Lehman, W.F., Ovelset, C.O., Jackson, L.F. (1983). Production and Performance of Common and Durum Wheats and Triticale at The University of California, Imperial Valley Field Station, El Centro in 1981, 1982 and 1983. Agric. Exp. Sta. Progress Report, pp. 142, California.

- Liu, H.P., Dai, Y., Chi, D., Huang, S., Li, H., Duan, Y.M., Cao, W.G., Gao, Y., Fedak, G., Chen, J.M. (2018). Production and Molecular Cytogenetic Characterization of A Durum Wheat-*Thinopyrum Elongatum* 7E Disomic Addition Line with Resistance to Fusarium Head Blight. *Cytogenet Genome Research*, 153: 165–173.
- Lobell, D.B., Burke, M.B., Tebaldi, C., Mastrandrea, M.D., Falcon, W.P., Naylor, R.L. (2008). Supporting Online Materials for: Prioritizing Climate Change Adaptation Needs for Food Security in 2030. *Science*, 319: 607-610.
- Lukaszewski, A.J., Gustafson, J.P.D. (1987). Cytogenetics of Triticale. *Plant Breeding Rev.*, 5: 41-93.
- Mago, R., Miah, H., Lawrence, G.J., Wellings, C.R., Spielmeier, W., Bariana, H.S., McIntosh, R.A., Pryor, A.J., Ellis, J.G. (2005). High-Resolution Mapping and Mutation Analysis Separate the Rust Resistance Genes *Sr31*, *Lr26* and *Yr9* on the Short Arm of Rye Chromosome 1. *Theoretical and Applied Genetics*, 112: 41-50.
- Mago, R., Zhang, P., Vautrin, S., Šimková, H., Bansal, U., Luo, M.C., Rouse, M., Karaoglu, H., Periyannan, S., Kolmer J. ve ark. (2015). The Wheat *Sr50* Gene Reveals Rich Diversity at A Cereal Disease Resistance Locus. *Nature Plants*, 1: 15186.
- McGoverin, C.M., Snyders, F., Muller, N., Botes, W., Fox, G., Manley, M. (2011). A Review of Triticale Uses and The Effect of Growth Environment on Grain Quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 91: 1155-1165.
- McIntosh, R.A., Wellings, C.R., Park, R.F. (1995). The Genes for Resistance to Stripe Rust in Wheat and Triticale. *Wheat Rusts: An Atlas of Resistance Genes*. 2nd ed. CSIRO Publications, pp. 29–81, Clayton, Australia.
- Mergoum, M. (1989). Programme D'amélioration Genetique des Triticales Au Maroc. In A. Birouk, A. Ouhine and T.E. Ameziane, Eds. Constitution de Reseaux Thematiques de Recherche Agricole Au Maghreb, pp. 127-130, Rome.
- Mergoum, M., Ryan, J., Shroyer, J. P., Monem, M. A. (1992). Potential for Adapting Triticale in Morocco. *Journal of Natural Resources and Life Sciences Education*, 21:(2) 137-141.

- Mergoum, M., Kallida, R. (1997). Triticale in: Production et Utilisation des Cultures Fourragères au Maroc, Ed: Gunter Jaritz et Mustapha Bounejmate, éd. Triticale Improvement and Production. Food and Agriculture Organization of the United Nations, pp. 236-243, Rome.
- Mergoum, M., Gómez-Macpherson, H. (2004). Triticale Improvement and Production. FAO Plant Product. and Protection Paper no: 179, pp. 37, Rome, Italy.
- Miedaner, T., Flath, K., Starck, N., Weißmann, S., Maurer H.P. (2022). Quantitative-Genetic Evaluation of Resistances to Five Fungal Diseases in A Large Triticale Diversity Panel (\times *Triticosecale*). *Crops*, 2(3): 218-232.
- Müntzing, A. (1989). Triticale Today. Triticale a Promising Addition to The World's Cereal Grains. National Research Council, National Academy Press, pp. 14-29, Washington.
- Newton, A.C., Johnson, S.N., Lyon, G.D., Hopkins, D.W., Gregory, P.J. (2008). Impacts of Climate Change on Arable Crops – Adaptation Challenges. In Proceedings of The Crop Protection. The Association for Crop Protection in Northern Britain. In Northern Britain Conference, 2008, Dundee, UK.
- Niedziela, A., Domzalska, L., Dynkowska, W.M., Pernisová, M., Rybka K. (2022). Aluminum Stress Induces Irreversible Proteomic Changes in the Roots of the Sensitive but Not the Tolerant Genotype of Triticale Seedlings. *Plants*, 11:165.
- Pena, R.J., Pfeiffer, W.H., Amaya, A., Zacro-Hernandez, J. (1991). High Molecular Weight Glutenin Subunit Composition in Relation to Breadmaking Quality of Spring Triticale. In: Proceedings of the Cereals International Conference, pp. 436-440, Parkville, Australia.
- Pena, R.J., Amaya, A. (1992). Milling and Breadmaking Properties of Wheat-Triticale Grain Blends. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 60: 483.
- Rao, M.P., Ramanujam S. (1978). The Transfer of Alien Genes for Stem Rust Resistance to Durum Wheat; Proceedings of the International Wheat Genetics Symposium, 23–28 February, 1978, New Delhi, India.

- Rahmatov, M., Rouse, M.N., Nirmala, J., Danilova, T., Friebe, B., Steffenson, B.J., Johansson, E. (2016). A new 2DS·2RL Robertsonian Translocation Transfers Stem Rust Resistance Gene *Sr59* into Wheat. *Theoretical and Applied Genetics*, 129: 1383–1392.
- Rapacz, M., Macko-Podgórnı, A., Jurczyk, B., Kuchar L. (2022). Modeling Wheat and Triticale Winter Hardiness under Current and Predicted Winter Scenarios for Central Europe: A Focus on Deacclimation. *Agricultural and Forest Meteorology*, 313: 108739.
- Sachs, E., Bivour, W., Krumbiegel, D. (1999). Damage to Winter Barley (*Hordeum vulgare* L.), Winter Wheat (*Triticum aestivum* L.) and Winter Triticale (*xTriticosecale* Wittm.) Caused by Winter Kill in Güterfelde/Branderburg. *Field Crops*, 52(9): 890.
- Sertakan Gündođdu, S. (2006). Bisküvi ve Kraker Üretiminde Triticale Ununun Kullanım Olanakları (Doktora Tezi) Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne
- Süzer, S. (2003). Triticale Tarımı. *Tarım İstanbul Dergisi*, 83: 26-27.
- Varughese, G. (1996). Triticale: Present Status and Challenges Ahead. In. H.Guedes-Pinto N Darvey and V.P. Carnides, eds. *Triticale: Today and Tomorrow*. Kluwert Academic Publishers, pp. 13-20, The Netherlands.
- Varughese, G., Pfeiffer, W.H., Pena, R.J. (1996). Triticale a Successful Alternative Crop. *Cereal Foods World*, 41: 474-782.
- Walther, G.R., Post, E., Convey, P., Menzel, A., Parmesan, C., Beebee, R.J.C., Fromentin, J.M., Hoegh-Guldberg, O., Bairlein, F. (2002). Ecological Resp. to Recent Climate Change. *Nature*, 416: 389-395.
- Waugh, M.M., Kim, D.H., Ferrin, D.M., Stanghellini, M.E. (2003). Reproductive Potential of *Monosporascus Cannonballus*. *Plant Disease*, 87: 45–50.
- Weltzien, E., Rattunde, H., Clerget, B., Siart, S., Toure, A., Sagnard, F. (2006). Sorghum Diversity and Adaptation to Drought in West Africa. In Jarvis, D., Mar, I. and Sears, L., Eds. *Enhancing the Use of Crop Genetic Diversity to Manage Abiotic Stress in Agricultural Production Systems*, International Plant Genetic Resources Institute, pp. 31–38, Rome, Italy.
- Yıldırım, M., Şentürk, Ş., Tülek, A. (2007). 1875'ten Bugüne Triticale. Türkiye VII. Tarla Bitkileri Kongresi, 25-27 Haziran, 2007, Erzurum.

Zillinsky, F. J., Skovmand, B., Amaya, A. (1980). Triticale: adaptation, production and uses. pp. 83-84, Spain.



ISBN: 978-625-367-835-7