

2024  
Mart

Ziraat, Orman ve  
Su Ürünleri Alanında  
Araştırma ve  
**DEĞERLENDİRMELER**

**EDİTÖRLER**  
Prof. Dr. Ufuk TÜRKER

**İmtiyaz Sahibi • Yaşar Hız**  
**Genel Yayın Yönetmeni • Eda Altunel**  
**Yayına Hazırlayan • Gece Kitaplığı**  
**Editörler • Prof. Dr. Ufuk TÜRKER**

**Birinci Basım • Mart 2024 / ANKARA**

**ISBN • 978-625-425-567-0**

© copyright

Bu kitabın yayın hakkı Gece Kitaplığı'na aittir.  
Kaynak gösterilmeden alıntı yapılamaz, izin almadan  
hiçbir yolla çoğaltılamaz.

**Gece Kitaplığı**

**Adres:** Kızılay Mah. Fevzi Çakmak 1. Sokak Ümit Apt  
**No:** 22/A Çankaya/ANKARA Tel: 0312 384 80 40

[www.gecekitapligi.com](http://www.gecekitapligi.com)  
[gecekitapligi@gmail.com](mailto:gecekitapligi@gmail.com)

**Baskı & Cilt**  
**Bizim Buro**  
**Sertifika No: 42488**

**Ziraat, Orman ve Su  
Ürünleri Alanında  
Araştırmalar ve  
Değerlendirmeler**

**Mart 2024**

Editörler:  
Prof. Dr. Ufuk TÜRKER



# İÇİNDEKİLER

## BÖLÜM 1

### INVESTIGATION OF SURFACE COATING DURABILITY OF DECOUPAGE PAPERS USED FOR HANDCRAFT PURPOSES

*Süheyla Esin KÖKSAL, Orhan KELLEÇİ*..... 1

## BÖLÜM 2

### TOHUM ÖN ÇİMLENDİRME (PRİMING) UYGULAMALARINDA MİKRO BESİN ELEMENTLERİNİN KULLANIMI

*Süleyman KAVAK* ..... 17

## BÖLÜM 3

### MİKROBİYAL BİYOKÜTLE VE MİKROBİYAL BİYOKÜTLEYİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

*İlyas BOLAT* ..... 37

## BÖLÜM 4

### THYMBRA SPICATA, LAVANDULA STOECHAS VE LAURIS NOBİLIS BİTKİLERİNİN ANTİMİKROBİYAL ETKİNLİĞİ

*Hayrettin ATA, Pınar ERECEVİT SÖNMEZ,  
Azime KÜÇÜKGÜL*..... 69





# BÖLÜM 1

## INVESTIGATION OF SURFACE COATING DURABILITY OF DECOUPAGE PAPERS USED FOR HANDCRAFT PURPOSES

*Süheyla Esin KÖKSAL<sup>1</sup>*

*Orhan KELLEÇİ<sup>2</sup>*

---

<sup>1</sup> Asst. prof; Bolu Abant İzzet Baysal University, Mudurnu Sureyya Astarci Vocational School, Department of Forestry, Bolu, Turkey ORCID No: 0000-0001-7970-8412 [esinkoksal@ibu.edu.tr](mailto:esinkoksal@ibu.edu.tr)

<sup>2</sup> Asst. prof.; Bolu Abant İzzet Baysal University, Mudurnu Sureyya Astarci Vocational School, Department of Forestry, Bolu, Turkey ORCID No: 0000-0003-4501-0854 [orhankelleci@ibu.edu.tr](mailto:orhankelleci@ibu.edu.tr)

## 1. Introduction

The rapid increase in human population has led to increased consumption of forest products (Şahin, 2020). The increase in wood consumption has increased the pressure on forests. For this reason, wood composite products have been developed using glue from wood waste (Thoroe et al., 2004; Kirilenko and Sedjo, 2007; Kauppi et al., 2018; Ke et al., 2019). One of the most produced wood composite materials is particle board (PB) (Kelleci, 2013). However, there is no wood pattern on these wood composite surfaces. For this reason, their surfaces need to be covered. Liquid and solid surface coating materials are used among the surface treatments (İstek et al., 2017). The group of liquid surface coatings consists of paints and varnishes (Kúdela and Liptáková, 2006). Liquid surface coatings are not commonly used on the surfaces of wood composites. The bond structure formed where the glues and liquid coatings used to coat the surface of the wooden material bond with the wood affects the surface quality greatly. In addition, the interface formed between wood and liquid surface coatings and the structure of the coating and wood directly affect the surface quality. Wood has an anisotropic, heterogeneous, and porous structure. The porous structure of wood affects the surface smoothness and the penetration of liquid coatings into the wood. Thus, it affects the surface quality (de Meijer et al., 1998; Scheickl and Dunky, 1998). The chemical properties of wood, as well as its physical properties, affect the adhesion performance of liquid coatings. Extractive substances are found in the structure of wood. These substances affect the color change and chemical structure of the liquid coater and deteriorate the surface quality (Gardner et al., 1995; Wålinder, 2000; Gardner, 2002).

Considering all these conditions, it is difficult to use liquid coaters in industrial terms. This difficulty also causes wood products coated with liquid coatings to be expensive. Furniture manufacturers do not want to waste time with surface treatments. For this reason, they mostly use ready-made boards (laminated particle board or laminated medium-density fiber board) coated with solid surface coatings. In this way, they benefit from both time and labor.

Solid surface coating materials include paper and thermoplastic materials (Bulian and Graystone, 2009). In order for papers to be used in surface coating, they must either be impregnated with thermosetting resins or glue must be used. Decor papers impregnated



with thermosetting resin are generally used to laminate the surfaces of wood composites (Bulian and Graystone, 2009). In this way, fast manufacturing can be made, and stacking after production is very easy. The surface coating of wood composites with decorative paper is carried out in a hot press (190 °C) using pressure (35 kg/cm<sup>2</sup>). After pressing, the boards must be conditioned at room temperature. After the pressing process, stacked wood composites (for example laminated PB) become ready for use after a 1-day storage period. For liquid surface coatings, this period exceeds 1 week, depending on the drying time of the paint. In this respect, solid surface coating materials are much more useful and practical than liquid surface coating materials.

The quality of the decor paper and the surface coating method affect the surface quality (Ahonen, 1977). Decor paper consists of alpha-cellulose. Alpha cellulose is the part of the wood that is insoluble in 18 % NaOH solution. Alpha cellulose is preferred in decor paper manufacturing due to its resistance to yellowing (Enzensberger, 1961; Roberts and Evans, 2005; Bardak et al., 2011).

Solid surface coatings also have negative aspects. The biggest disadvantage of decor papers is the formaldehyde it contains. Because formaldehyde is a carcinogenic chemical and is released into the environment. Decor papers are difficult to treat with formaldehyde-free glues. For this reason, thermoplastic adhesives are less preferred as a surface coating material than thermoset resins. Considering environmental concerns, thermoplastic surface coating materials are more environmentally friendly. In this context, it is important to develop more efficient bonding methods of thermoplastic coating materials to wooden surfaces.

In this study, the adhesion of decoupage papers used for hobby purposes to the wooden surface using thermoplastic glues and the surface durability were studied. It has been revealed how decoupage paper thicknesses and glue type affect the surface quality. The results obtained were compared with the laminated particle board surface covered with decor paper impregnated with thermosetting resins.

## **2. Material and Methods**

### *2.1 Materials*

Decoupage paper (DP) in two different thicknesses (0.3 mm and 0.9 mm) and weights (50 g/m<sup>2</sup> and 200 g/m<sup>2</sup>) was used in the preparation of the analysis samples. DPs were supplied by purchasing from the local market. Two different glues were used to adhere the DPs to the surface. Glues were purchased from the local market. 1. Glue is sold in the market as napkin glue. 2. Glue is sold in the market as decoupage glue. These glues are used in handicraft work. DPs were glued onto raw particle board (PB) surface with purchased glue. PB 18 mm thickness was procured by purchasing from the local market.

### *2.2 Preparation of samples*

DPs were glued onto PB using two different glues (1. Napkin glue and 2. Decoupage glue). Before gluing, the PBs surfaces were sanded with 400 grits, 1000 grit, and 2000 grit sandpaper. After the PB surfaces were cleaned of dust and dirt with a sponge, 150 g/m<sup>2</sup> glue was applied to the board surface with a brush. After 2 min, the DPs were manually placed on the board. We were carefully to prevent air bubbles from forming between the DP and the board. To ensure that the DP fully adhered to the board surface, pressure was applied manually with a plastic trowel. After 2 minutes, 150 g/m<sup>2</sup> glue was applied to the DP again with a brush. Afterward, the boards were left to dry for 7 days. After the DPs on the board were completely dried, the board was cut into 100 mm x 100 mm dimensions and analysis samples were prepared (Figure 1).

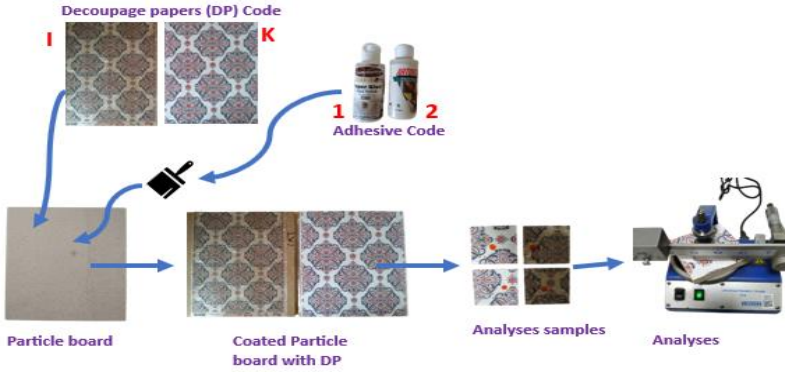


Figure 1. Analiz samples preparing diagram

## 2.2. Methods

Sample characterizations were carried out with surfaces analyses. To determine the abrasion resistance of the samples, 7 analyzes were carried out with the Taber abrasion device according to TS EN 13329. To determine the scratch resistance of the samples, 7 analyzes were carried out with a universal scratch device according to TS EN 15186. To determine the stain resistance of the samples, water, soap, tea, coffee, acetone, acid, and cigarette fire resistance analyzes were carried out according to TS EN 14323. Prepared samples and their sample codes are given in Table 1.

Table 1. Samples codes and ingredients

Samples code	Board	Glue type	Decor paper (g/m <sup>2</sup> )	Decor paper thickness (mm)
CTRL	Particle board	Urea formaldehyde resin	250	0,6
I1	Particle board	Napkin glue	50	0,3
I2	Particle board	Decoupage glue	50	0,3
K1	Particle board	Napkin glue	150	0,9
K2	Particle board	Decoupage glue	150	0,9

### 3. Results and Discussion

#### 3.1. Mechanical properties

Mechanical characterization results of the samples are given in Table 2. When Table 2 is examined, it is seen that the surface durability of CTRL samples is higher than other samples. When Figure 2 is examined, it can be seen that the samples using napkin glue (I1 and K1) have a more durable surface than the samples using paper glue (I2 and K2). It can be said that the glue type is more important than the decor paper type in surface durability. Similarly, the thermosetting glue (urea formaldehyde) used in CTRL samples made the sample (CTRL) surface much stronger.

In general, thermoset adhesives are more durable than thermoplastic. However, thermoset glues contain formaldehyde. For this reason, they release formaldehyde into their environment. Formaldehyde is a carcinogenic chemical and harms the environment and human health. For this reason, coating the wood board can be made more environmentally friendly by using water-based thermoplastic glues. However, the abrasion and scratch resistance of water-based thermoplastic glues is lower than thermoset glues (Figure 2a, 2b).

Surface stain resistance was analyzed by dropping hydrochloric acid onto the samples. The sample with the highest resistance to acid chemicals was the CTRL sample. The acid resistance of napkin glue was very low. The acid resistance of decoupage glue was slightly better than napkin glue (Figure 3a).

Table 2. Samples surface mechanical stress resistance results

Samples	Abrasion (Revolution)	Scratch (Newton)	Acid resistance (visual)	Cigarette fire resistance (visual)
CTRL	354 ±(5,7) * E**	3,9 ±0,9) B	3,9 ±(1) D	3,7 ±(0,8) C
I1	184 ±(8) B	2,2 ±(0,6) A	1,5 ±(0,6) AB	1,8 ±(0,6) B
I2	103 ±(8,4) A	1,6 ±(0,6) A	3,6 ±(0,7) C	1,8 ±(0,7) B
K1	315 ±(9,6) D	3,4 ±(0,8) B	2,2 ±(0,4) A	0,9 ±(0,3) A
K2	209 ±(16) C	4 ±(0,9) B	2,4 ±(0,5) B	0,9 ±(0,2) A

\*Standard deviation, \*\*Duncan analysis groups

Cigarette fire resistance tests are carried out on furniture because smoking is common. Cigarette fire causes serious irreversible damage, especially on wooden furniture surfaces. When Table 2 was examined, similar to other analysis results, it was determined that the most resistant sample to cigarette fire was the CTRL sample. This is due to the use of thermosetting glue in the CTRL example (Figure 3b). Because thermoset polymers have higher thermal resistance than thermoplastic polymers. When Figure 4 is examined, the scratch marks of the scratch test can be clearly seen which was performed to determine the scratch resistance of DP adhered using thermoplastic-based napkin glue.

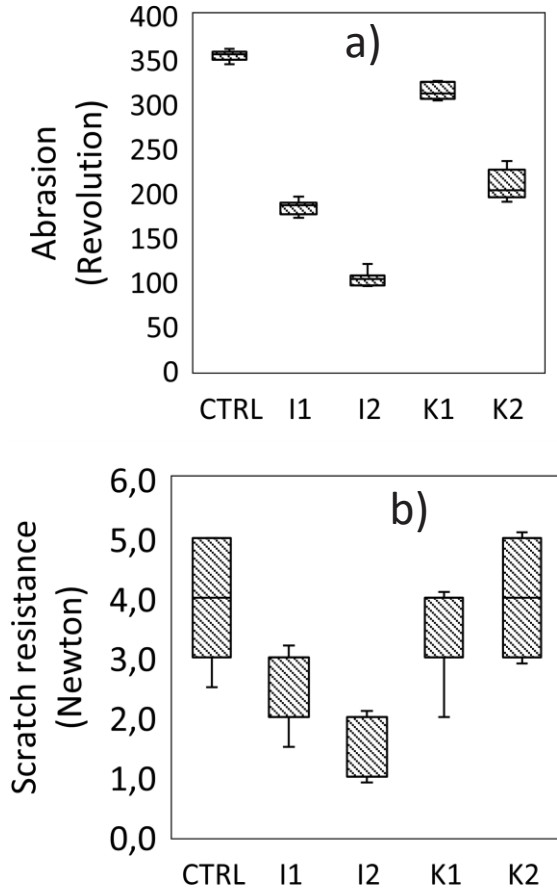


Figure 2. Surface mechanical stress results; a) Abrasion, b) Scratch results

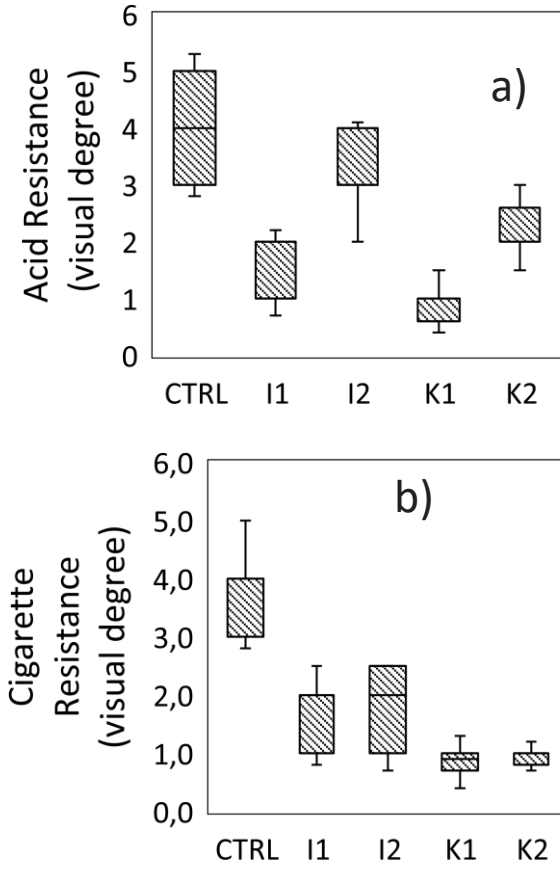


Figure 3. a) Acid stain resistance, b) Cigarette fire resistance



Figure 4. Worse sample (I2) Scratch circles

### 3.2. *Stain resistance*

The stain resistance of the samples is given in Table 3. The CTRL sample was the sample with the highest stain resistance. It was determined that decoupage glue had higher stain resistance than napkin glue. It was determined that the glue type was more effective than the DP thickness in stain resistance. It was determined that the strongest glue was urea formaldehyde. Stain resistance is an important feature for furniture surfaces. Stain resistance is generally used for smooth furniture surfaces. The most common stains today are tea, water, soap, acetone, coffee and pencil stains. The resistance of the samples against these stains was quite low, except for the CTRL sample. In this regard, surface coating processes using napkin glue and decoupage glue remain below standards. For this reason, surface coating processes with these adhesives do not seem to be applicable to the industry. These glues may be suitable for hobby use as customer expectations are not high.

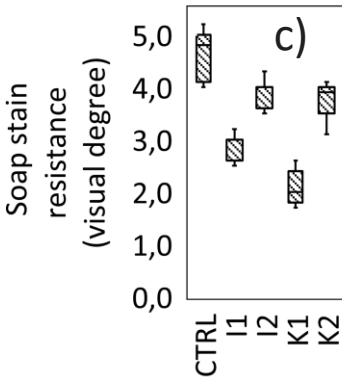
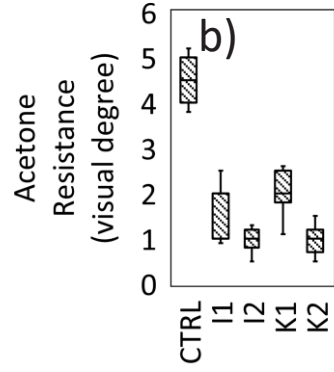
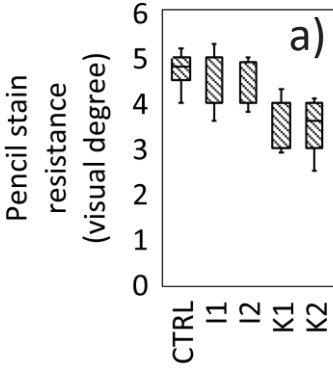
Table 3. Stain resistance results

Samples	Pencil (visual)	Acetone (visual)	Water (visual)	Soap (visual)	Tea (visual)	Coffee (visual)
CTRL	4,7 ±(0,4)* B**	4,4 ±(0,5) C	4,4 ±(0,53) B	4,7 ±(0,5) D	4,7 ±(0,4) D	4,9 ±(0,5) D
I1	4,4 ±(0,7) B	1,8 ±(0,6) B	3,6 ±(0,51) A	2,9 ±(0,3) B	3,1 ±(0,2) B	3 ±(0,4) B
I2	4,4 ±(0,5) B	1 ±(0,3) A	3,9 ±(0,47) A	3,9 ±(0,3) C	4 ±(0,2) C	4 ±(0,2) C
K1	3,7 ±(0,5) A	2 ±(0,5) B	3,8 ±(0,51) A	2,1 ±(3,8) A	2 ±(0,2) A	1,9 ±(0,3) A
K2	3,4 ±(0,6) A	1 ±(0,3) A	3,6 ±(0,57) A	3,7 ±(3,5) C	4 ±(0,3) C	4 ±(0,3) C

\*Standard deviation, \*\*Duncan analysis groups

When Figure 5 is examined, tea, soap, and acid stains can be clearly seen on the sample surfaces. In this state, it does not seem possible to use the samples on furniture surfaces. In particular, acid stains completely removed the napkin glue from the surface. It created a noticeable stain in tea and soap stains.





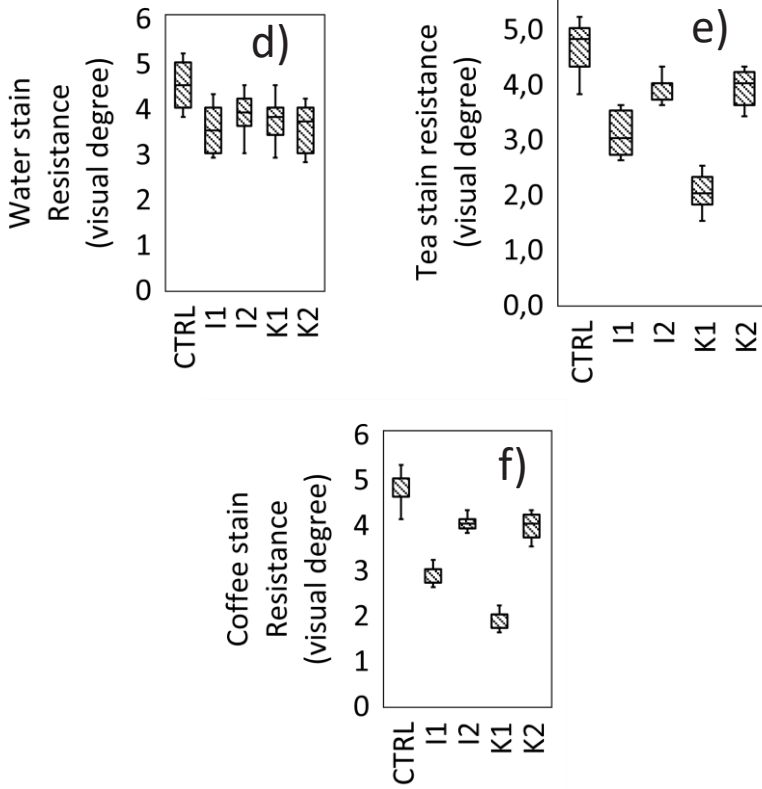


Figure 3. Stain resistance of samples; a) pencil stain resistance, b) acetone stain, c) soap stain, d) water stain, e) tea stain, f) coffee stain

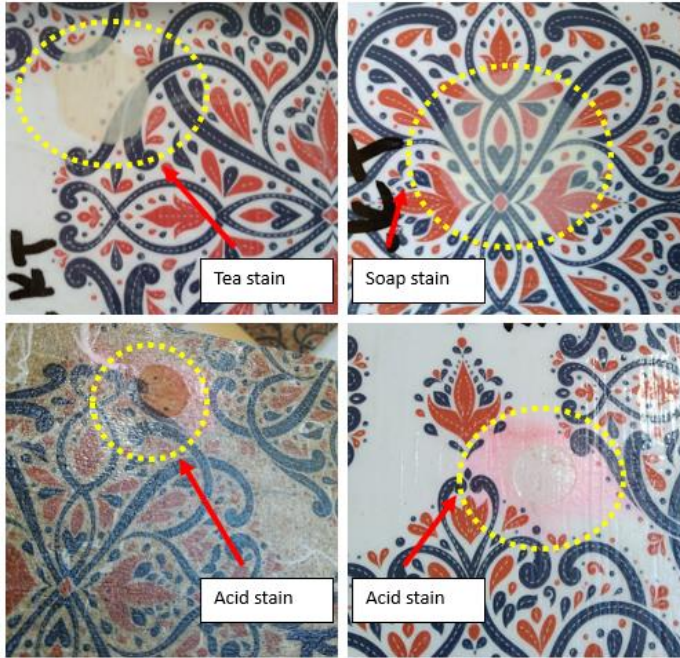


Figure 4. Stain resistance of samples

#### 4. Conclusions

In this study, the surface durability of coated particle board was investigated by decoupage papers used for hobby purposes. The abrasion, scratch, and stain resistance of the samples were analyzed to determine their surface durability. The results were analyzed statistically to determine differences among themselves and between groups. According to the abrasion analysis results, the surface durability of the samples was significantly lower than the CTRL sample. Scratch analysis results were similar to abrasion resistance. The napkin glue used in the study created a more durable surface than decoupage glue in terms of abrasion and scratch resistance. However, the stain resistance was higher than that of decoupage glue. Nevertheless, they were below standard durability. In this regard, it has been concluded that the boards whose surface is covered with napkins and decoupage glue cannot be used in furniture production. Thermoplastic glues provide poorer surface durability than thermoset glues. For this reason, the hardness of the layer must be increased by thermoplastic glues on the surface.

## **Declaration of conflicting interests**

The authors have no conflicts of interest to declare that are relevant to the content of this article.

## **Funding**

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

## **Authorship contribution statement:**

**Süheyla Esin Köksal:** Conceptualization, Methodology, Data curation, Formal analysis, Writing - original draft. **Orhan Kelleci:** Conceptualization, Methodology, Data curation, Formal analysis, Writing - original draft.

## References:

- Ahonen, H. (1977). *Properties and uses of paper based decorative plastic laminate board. The Encyclopedia of wood. New York.*
- Bardak, S., Sarı, B., Nemli, G., Kırıcı, H., Baharoğlu, M. (2011). The effect of decor paper properties and adhesive type on some properties of particleboard. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 31(6), 412–415. <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2011.02.008>
- Bulian, F., Graystone, J. (2009). *Wood coatings: Theory and practice. Elsevier.*
- de Meijer, M., Thurich, K., Militz, H. (1998). Comparative study on penetration characteristics of modern wood coatings. *Wood Science and Technology*, 32(5), 347–365. <https://doi.org/10.1007/BF00702791>
- Enzensberger, W. (1961). On the surface finishing of particleboard with resin-impregnated paper layers. *Holz Roh Werkst*, 19, 394–398.
- Gardner, D. (2002). in: *Wood Structure and Properties '02, J. Kudela and S. Kurjatko (Eds), pp.87-89. Arbora Publisher, Zvolen.*
- Gardner, D., Wolcott, M., Wilson, L., Huang, Y., Carpenter, M. (1995). in: *Wood Adhesives '95, Proc. No. 7296, pp. 29–36. Forest Products Society, Madison, WI (1995).*
- İstek, A., Gözalan, M., Özlüsoylu, İ. (2017). Yonga levha özelliklerine yüzey kaplama veya boyama işlemlerinin etkisi. *Kastamonu University Journal of Forestry Faculty*, 17(4), 619–629. <https://doi.org/10.17475/kastorman.180279>
- Kauppi, P. E., Sandström, V., Lipponen, A. (2018). Forest resources of nations in relation to human well-being. *PLOS ONE*, 13(5), e0196248. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0196248>
- Ke, S., Qiao, D., Zhang, X., Feng, Q. (2019). Changes of China's forestry and forest products industry over the past 40 years and challenges lying ahead. *Forest Policy and Economics*, 106, 101949. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2019.101949>

- Kelleci, O. (2013). *Silan ile modifiye edilen üreformaldehit kullanılarak üretilmiş yongalevhaların fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi* [Yüksek lisans]. Bartın Üniversitesi.
- Kirilenko, A. P., Sedjo, R. A. (2007). Climate change impacts on forestry. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(50), 19697–19702. <https://doi.org/10.1073/pnas.0701424104>
- Kúdela, J., Liptáková, E. (2006). Adhesion of coating materials to wood. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 20(8), 875–895. <https://doi.org/10.1163/156856106777638725>
- Roberts, R. J., Evans, P. D. (2005). Effects of manufacturing variables on surface quality and distribution of melamine formaldehyde resin in paper laminates. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 36(1), 95–104. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2003.05.001>
- Şahin, S. (2020). *Geçmiş, Günümüz ve Gelecekte Nüfus Gerçeği* (5th ed.). Ankara Pegem Akademi Yayıncılık. <https://doi.org/10.14527/9786053180173>
- Scheikl, M., Dunky, M. (1998). Measurement of Dynamic and Stau Contact Angles on Wood for the Determination of its Surface Tension and the Penetration of Liquids into the Wood Surface. *Holzforschung*, 52(1), 89–94. <https://doi.org/10.1515/hfsg.1998.52.1.89>
- Throe, C., Peck, T., Guarin Corredor, H., Schmithüsen, F. (2004). *The Policy Context of the European Forest Sector; Geneva Timber and Forest Discussion Paper ECE/TIM/DP/34; United Nations: Geneva, Switzerland, 2004.*
- Wålinder, M. (2000). *Wetting phenomena on wood — factors influencing measurements of wood wettability*, PhD Thesis, KTH — Royal Institute of Technology, Stockholm.

# BÖLÜM 2

## TOHUM ÖN ÇİMLENDİRME (PRIMING) UYGULAMALARINDA MİKRO BESİN ELEMENTLERİNİN KULLANIMI

*Süleyman KAVAK<sup>1</sup>*

---

<sup>1</sup> Doç. Dr. Süleyman KAVAK, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Isparta, E-mail: [suleymankavak@isparta.edu.tr](mailto:suleymankavak@isparta.edu.tr), ORCID NO: 0000-0003-0365-3747

## Ön Çimlendirme (Priming) Nedir?

Bitkisel üretimde iyi bir ürün deseni oluşturmak, öncelikli olarak ekilen tohumların homojen çimlenme ve çıkış göstermesi, bir örnek bitki gelişiminin sağlanması ve sonrasında yetiştiricilik sırasındaki kültürel işlemlerin eksiksiz ve tam olarak gerçekleştirilebilmesi ile mümkündür. Tohumların çimlenmesi her tohum türü için uygun sıcaklık ve nem koşullarında ekim ve ayrıca ekim yapıldığı toprak veya ortam koşullarının optimum olmasına bağlı değişkenlik gösterebilmektedir. Ayrıca tohumun genetik yapısı, dormansi gösterip göstermemesi ve tohumun ekim anındaki kalitesine bağlı olarak çimlenme ve çıkış oranı azalmakta veya değişkenlik gösterebilmekte bunun sonucunda istenilen bitki sıklığı ve ürün deseni sağlanamamaktadır. Özellikle direkt tohum ekimi ile yetiştiriciliği yapılan türlerin ekiminin yapıldığı düşük toprak sıcaklığı ve yüksek nemin meydana geldiği ilkbahar ekimlerinde çimlenme ve çıkış istenilen düzeyde meydana gelmemekte, çimlenme ve çıkış meydana gelse bile fideler yavaş büyümekte, genç bitkiler tohum ve toprak kökenli patojenlerden daha fazla etkilendiği için, istenilen bitki deseni ve verim potansiyeline ulaşamamaktadır (Ali vd., 1990; Turk vd., 2004)).

Tohum çimlenmesi tohumun kendi yapısından kaynaklanan faktörlere bağlı olarak ta değişkenlik gösterebilmektedir. Örneğin ekimin yapıldığı toprak ve iklim koşulları uygun olsa bile tohumdaki embriyonun gelişimini tam olarak tamamlaması veya her bir tohum içindeki embriyoların farklı gelişim seviyelerinde olması, ayrıca tohumun kendisinden veya çevresel faktörlerin etkisinden kaynaklanan dormansi gösterip göstermemesi (Bewley, 1997) gibi faktörler sonucunda çimlenme ve çıkış meydana gelmemekte veya istenilen seviye olmamaktadır.

Yukarıda açıklandığı gibi gerek tohumun kendisinden gerekse tohumun ekildiği fidelik veya arazi koşullarından kaynaklanan çimlenme ve çıkış problemlerinin ortadan kaldırılması, yaşanabilecek olumsuzlukların elimine edilmesi veya minimuma indirilmesi ve bunun neticesinde bir örnek ve kaliteli bir fide ve iyi bir bitki deseni elde etmek amacıyla tohumlar ekim öncesi “ön çimlendirme (priming)” adı verilen farklı uygulamalara tabi tutulmaktadır (Heydecker ve Gibbins, 1978). Bu uygulamalar ile tohum kalitesine bağlı olarak çimlenme ve çıkış yaşanan sorunlar en aza indirilmekte, sağlıklı ve kuvvetli gelişmiş bir örnek fideler elde edilebilmekte ve bu fidelerin stres koşullarına dayanıklılığı ve direnci artırılabilir (Khan, 1992; Parera ve Cantliffe, 1994): Aslında bu uygulamalar, çok eski zamanlardan beri günümüze kadar çiftçi koşullarında uzun zamandır bilinen ve uygulanan, ekim öncesi tohumların ıslatılması, nemlendirilmesi ve ıslak bezler arasında tutulması gibi uygulamaların, günümüzde daha kontrollü koşullarda ve istenilen amaca yönelik ticari olarak uygulanmasıdır. Yani tohumların çimlenme sırasındaki su alımının kontrol altında tutuldu-



ğu ve tohumun belli bir düzeye kadar su alımına izin verildiği kontrollü uygulamalardır.

Tohumlar ekildikleri ortamlarda su almaya başladıklarında çimlenmenin başlaması veya tamamlanması için belirli fizyolojik aktivitelere ihtiyaç duyarlar ve bu aktiviteler farklı tohum nemi seviyelerinde meydana gelmektedir. Ön çimlendirme uygulamaları ile tohumda çimlenme için gerekli metabolik aktiviteyi başlatacak ancak kökçük çıkışına izin vermeyecek seviyedeki su alımına izin verilir ve tohumun su alımı kontrol altında tutularak uygulama kökçük çıkışı başlamadan bitirilir (Heydecker ve Gibbins, 1978). Böylece çimlenmenin başlatılması veya tetiklenmesi için gerekli enzimler aktive edilerek tohumdaki mevcut depo besin maddeleri kullanılabilir hale getirilir ve embriyonik eksene taşınarak embriyonun büyümesi ve gelişimi için kullanılır. Ön çimlendirme uygulaması kökçük çıkışı olmadan sonlandırılır ve tohumlar hızlı bir şekilde birkaç kez yıkanarak uygulama öncesi orijinal nemli ağırlıklarına kadar kurutulur. Tohumlar kurutma sonrası hemen ekimde kullanılabilmesi gibi uygulama etkinliği kaybolmadan ekim zamanına kadar hermetik paketlerde ve düşük sıcaklıklarda 6-9 ay kadar depolanabilir. Ön çimlendirilmiş tohumlar ekimde kullanıldıklarında uygulama görmemiş tohumlara göre (çimlenme belli bir aşamaya kadar tamamlandığı için) daha hızlı ve homojen çimlenme ve çıkış göstermekte ve böylece olumsuz çevre koşullarından veya çeşitli stres faktörlerinden fazla etkilenmeden bir örnek ve homojen gelişim gösteren sağlıklı fide veya direkt tohum ekimi yapılan türlerde arazide iyi bir çıkış ve bitki deseni elde edilebilmektedir.

### **Bitki Besin Elementleri**

Tüm bitkiler vejetatif ve generatif gelişim evrelerinde mükemmel bir büyüme ve gelişim için bir takım inorganik elementlere ihtiyaç duymaktadır. Bu elementler bitki besin elementleri olarak adlandırılmakta ve bitki gelişmesi için mutlak gerekli elementlerin sayısında ve bunların sınıflandırılmasında araştırmacılar arasında farklı görüşler bulunmaktadır. Arnon ve Stout (1939) bitki büyüme ve gelişimi için 16 temel elementin mutlak gerekli olduğunu belirtirken, Tisdale vd. (1985) 20 elementin bitki gelişimi için mutlak gerekli olduğunu ifade etmektedir. Araştırmacılara göre değişmekle birlikte, bitki büyüme ve gelişimi için gerekli olan besin elementlerinin sınıflandırılmasında, bitkilerin ihtiyaç duydukları göreceli miktarlara göre makro ve mikro besin elementleri şeklindeki ayırım genel kabul görmüştür. Bu sınıflandırmada bitkilerin bu besin elementlerine az veya çok miktarda ihtiyaç duyması dikkate alınmaktadır (Kacar ve Katkat, 2010). Genel ve yaygın kabul gören görüşlere göre, bitkilerin en çok ihtiyaç duydukları makro besin elementleri, azot (N), potasyum (K), kalsiyum (Ca), fosfor (P), magnezyum (Mg) ve kükürt (S), mikro besin elementleri

ise, demir (Fe), çinko (Zn), mangan (Mn), bakır (Cu), bor (B), klor (Cl) ve molibden (Mo) ve nikel (Ni) olarak belirtilmektedir.

### **Mikro Besin Elementleri ile Ön Çimlendirme**

Mikro besin elementleri bitki ve insan sağlığı açısından hayati bir öneme sahiptir. Mikro besin elementlerinin topraktan ve yapraktan uygulanması dünyada en yaygın uygulama yöntemleridir. Özellikle gelişmekte olan ülkelerde, her iki yöntemde ekonomik olmaları ve çevresel açıdan fazla kirlenmeye sebep olmamaları bakımından ele alınmaktadır. Mikro besin elementlerinin tohum gücünün arttırmada kullanımı (invigoration), ön çimlendirme (priming) ve tohum kaplamayı içeren, cazip ve kolay bir yöntemdir. Tohum ön çimlendirme uygulamalarında, tohumlar özel mikro besin solüsyonlarında ıslatılıp ya direkt ekilmekte ya da tekrardan kurutulurken, tohum kaplamada, tohum yüzeyi belirli bir miktar mikro besin ile kaplandıktan sonra, son katman olarak katı materyaller ile kaplanır (Farooq vd., 2012). Tohumların ön çimlendirilmesinde tohumlar belli bir süre havalandırılmış su veya farklı kimyasal solüsyonlarda uygulamaya tabi tutulur ve uygulama sonrası orijinal ağırlıklarına kadar kurutulur. Bitki besin elementlerinin kullanıldığı bu uygulamalar da bir çeşit ön çimlendirme uygulaması olup, tohumlar yine besin elementlerinin bulunduğu havalandırılan solüsyonlarda uygulamaya tabi tutulur (Singh, 2007; 2004; Farooq vd., 2012). Mineral besin elementlerinin ön çimlendirme uygulamalarında kullanımı hem uygulama sırasında tohumun uygulanan besin elementi bakımından zenginleştirilmesini sağlamakta hem de bitkinin büyüme ve gelişme dönemindeki ihtiyaç duyacağı miktarın sağlanmasında ekonomik ve uygulaması kolay bir yöntem olarak belirtilmektedir (Atar vd., 2020). Bu çalışmada mikro bitki besin elementi olarak bilinen çinko (Zn), bor (B), molibden (Mo), mangan (Mn), bakır (Cu) ve kobalt (Co) ile yapılan ön çimlendirme uygulamalarının çimlenme, çıkış, fide kalitesi, bitki gelişimi, verim vb. parametreler üzerine etkileri incelenmiştir.

### **Çinko ile yapılan ön çimlendirme uygulamaları**

Çinko bitkilerin protein ve karbonhidrat sentez metabolizmasında önemli fonksiyonlarının yanında, çeşitli enzimlerin yapısında yer alan, enzimlerin aktivasyonunda ve oksin sentezinde görev alan bir element olup, verim ve kaliteyi doğrudan etkileyen, eksikliğinde ise özellikle bitkinin toprak üstü organlarında büyüme ve gelişme geriliğine yol açarak bodurluğa neden olan bir elementtir (Welch, 1995; Kacar ve Katkat, 2010). Topraktaki Zn eksikliğinde pirinç ve mısırdaki yaygın olarak görülen belirtiler, yapraklarda kahverengi lekelerdir (Marschner, 1995; Sharma, 2006).

Ön çimlendirme (priming) uygulamaları sırasında Zn uygulamaları, ürünün sonraki büyüme ve veriminde artışa neden olmuştur (Farooq vd.,

2012). Örneğin, ön çimlendirme uygulanmış ekinezya (koni çiçeği) *Echinacea purpurea* L. tohumlarında (%0.05' lik  $ZnSO_4$  solüsyonu) çimlenme ve tarla çıkışında sırasıyla, %38 ve %41' lik artış olduğu belirtilmiştir (Babaeva ve ark., 1999). Aynı şekilde, fasulye (*Phaseolus vulgaris* L.) tohumlarında Zn ön çimlendirme uygulaması ile önemli ölçüde verim ve verim ile ilgili özelliklerde artış gözlenmiştir (Kaya vd., 2007). Arpa (*Hordeum vulgare* L.) tohumlarında Zn ile ön çimlendirme uygulamasının, tohum çimlenmesi ve fide gelişiminde artışa neden olduğu (Ajouri vd., 2004) ve 100 mM P ve 10 mM Zn + 100mM P uygulamalarının fide çıkış oranını arttırdığı tespit edilmiştir (Abdulrahmani vd., 2007). Bir başka çalışmada, 4 haftalık arpa fidelerinde, ön çimlendirme uygulamasının kontrol tohumlarına göre, fidelerin fosfor ve çinko alınımını arttırdığı, büyümeyi önemli ölçüde teşvik ettiği ve kuraklık stresi koşullarında su kullanım etkinliği %44 iyileştirdiği tespit edilmiştir (Ajouri vd., 2004). Mısırdaki %1  $ZnSO_4$  solüsyonu uygulamasıyla (16 saat), bitki büyümesi, dane veriminin ve tohumun Zn içeriğinin arttığı tespit edilmiştir. 7 farklı tarla denemesinden elde edilen sonuçlar, priming uygulanmış tohumlarda, kontrol tohumlarına göre ortalama %27' lik verim artışı olduğunu göstermiştir (Harris vd., 2007).  $ZnSO_4$  (%0.25) + Borax (%0.50) ile ıslatılmış papaya (*Carica papaya* L.) tohumlarının, çıkış gücünün ve bitki gelişiminin arttığı belirtilmiştir (Deb vd., 2010). Kaur vd. (2009) safed mısır (*Chlorophytum borivilianum* L.) tohumlarının Zn ile ıslatıldığında çimlenmesinin arttığı, fayda maliyet değerinin topraktan Zn uygulamasına göre daha yüksek olduğu ifade etmiştir. Benzer şekilde pirinçte tohuma Zn uygulamasının bitki gelişimini ve dane verimini arttırdığı, ön çimlendirme uygulanmamış tohumlara göre maliyet etkisi ve ekonomik katkı açısından daha uygun olduğu saptanmıştır (Slaton vd., 2001). Zn ile ön çimlendirme uygulamalarının, nohut, mercimek, pirinç ve buğdayda, 2 yıllık deneme sonucunda verim üzerine herhangi bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir. İlk sezonda, Zn ile ön çimlendirilmiş nohut tohumları her iki bölgede de ürün gelişimi üzerine olumsuz etki göstermiştir. Bununla birlikte, Zn ile ön çimlendirme uygulamaları ikinci sezonda olumsuz bir etki oluşturmamış, diğer türlerde bu uygulamanın her iki sezonda olumsuz bir etkisi belirlenmemiştir. Belki de başarısızlık düşük toprak sıcaklığı ve tohuma fungusit uygulamaları ile ön çimlendirme uygulaması arasındaki negatif etkileşimle ortaya çıkmakta veya nohut bu etkileşimlere mercimekten daha duyarlıdır (Farooq vd., 2012). Yine de Zn solüsyonlu ön çimlendirme uygulamaları, tüm teste tabi tutulmuş türlerde, danelerin Zn içeriğinin artmasına neden olmuştur (Johnson vd., 2005). Barbunyada, Zn ile ön çimlendirme tohum uygulaması tek başına etkili bulunmamıştır (Rasmussen ve Boawn, 1969). Aynı şekilde buğdayda da topraktan Zn uygulamasının, Zn ile ön çimlendirme uygulaması ve yapraktan Zn uygulaması ile mukayese edildiğinde, daha üstün bir gübreleme metodu olarak karşımıza çıkmaktadır (Yılmaz vd., 1997). Fakat pirinç-

te, topraktan Zn uygulaması ve kontrol grubu ile 3 farklı dozda yapılan Zn ön çimlendirme uygulamaları ( $ZnSO_4 + ZnEDTA$ ; etilen diamin tetra asedik asit) kıyaslandığında, tohuma Zn ön çimlendirme uygulamasının, kuru madde, dokularda çinko ve dane verimi açısından topraktan Zn uygulamasıyla benzer veya daha iyi sonuçlar verdiği belirlenmiştir (Slaton vd., 2001). Ozturk vd., (2006) çimlenme sırasında yeni gelişen radisil ve koloptil içinde Zn' nin ( $200 \text{ mg kg}^{-1}$ 'e kadar) oldukça fazla olduğunu belirtmişlerdir. Bu sonuç, Zn erken dönemdeki fide gelişmesinde fizyolojik olaylarda olasılıkla membran fonksiyonu, protein sentezi, hücre büyümesi ve çevresel stres koşullarını tolare etmede kullanıldığını vurgulamıştır (Cakmak, 2000). Yüksek Zn içeriği çimlenme ve fide gelişimi sırasında toprak kaynaklı patojenlere karşı tohuma daha iyi direnç sağlayabilir (Marchner, 1995). Buğday tohumlarının  $0.5 \text{ M ZnSO}_4$  ve  $0,1 \text{ M ZnCl}_2$  solüsyonlarında 12 saat ön çimlendirme uygulamalarının çimlenme oranını ve fide büyüklüğünü arttırdığı belirtilmiş ancak  $0,1 \text{ M ZnCl}_2$  ve  $0,5 \text{ M ZnSO}_4$ 'ün üzeri uygulama dozlarının tohum çimlenmesi üzerine toksik etkili olduğu belirtilmiştir (Rehman vd., 2015). Mısır tohumları deiyonize su ve  $4 \text{ mM ZnSO}_4 \cdot 7H_2O$  çözeltisinde 24 saat süreyle ön çimlendirilmiş ve uygulama sonrası oda sıcaklığında orijinal ağırlığına geri kurutulmuştur. Çinko ile ön çimlendirme mısır tohumlarının çinko içeriğini kontrole göre %600 arttırmış, tuz stresinin bitki büyümesi üzerine zararlı etkilerini azaltmış ve deiyonize su ile ön çimlendirme uygulamasına göre bitki biyokütlesini %25 arttırmıştır. Ayrıca çinko uygulaması mısır bitkilerinin tuz stresi altında erken fide gelişimi ve bitkilerdeki besin elementi miktarlarını arttırmıştır (Imran vd., 2018). Buğday tohumlarının nano partikül çinko oksit ( $ZnO$ ) ile ön çimlendirilmesinin tohumların çimlenme performansı ve vigor indeksini arttırdığı, ayrıca nano priming uygulamasının tohumun su alımını da artırarak  $\alpha$ -amilaz aktivitesinin artmasına neden olduğu belirtilmiştir (Rai-Kalal ve Jajoo, 2021). Yine başka bir çalışmada pirinç tohumları farklı azot ve çinko solüsyonlarında ön çimlendirilmeye tabi tutulmuş, uygulamalarının çimlenme oranı ve fide büyüme performansını arttırdığı, fidelelerin çinko içeriğinin çimlenme sırasındaki kök ve koleoptil kuru ağırlığıyla birlikte doğrusal olarak arttığı ve uygulamalarının bitkilerdeki fotosentetik pigmentlerin içeriğini (klorofil a, klorofil b ve toplam klorofil içeriği) önemli ölçüde arttırdığı ifade edilmiştir (Tuiwong vd., 2022). Araştırmaların amacı; Zn ile ön çimlendirme uygulamalarının en olumlu sonuçlarını verecek dozu belirlemek olmalı ve ön çimlendirme sürecinde doz, uygulama süresi ve sıcaklığında çok dikkatli olunmalıdır (Farooq vd., 2012). Çizelge 1'de ön çimlendirmede kullanılan bazı Zn kaynakları verilmiştir.

**Çizelge 1.** Tohum ön çimlendirmede kullanılan bazı Zn kaynakları

Zn kaynağı	Kimyasal Formül	Zn (%)
Çinko oksit	ZnO	78- 80
Çinko süfat	ZnSO <sub>4</sub> H <sub>2</sub> O	22- 36
Çinko şelat	Na <sub>2</sub> Zn EDTA	9- 14
Çinko amonyum fosfat	Zn(NH <sub>4</sub> )PO <sub>4</sub> .H <sub>2</sub> O	34
Çinko amonyum sülfat	H <sub>8</sub> N <sub>2</sub> O <sub>8</sub> S <sub>2</sub> Zn <sub>2</sub>	12- 15
Çinko klorür	ZnCl <sub>2</sub>	48

### Bor (B) ile yapılan ön çimlendirme uygulamaları

Bor eksikliği, nükleik asit, karbonhidrat, protein, indol asetik asit, hücre duvarı sentezi, membran bütünlüğü ve fonksiyonu, fenol metabolizması gibi B içeren metabolik olaylarda şiddetli bozukluklara yol açarak, bitkisel ürünlerde şiddetli verim azalmalarına neden olmaktadır (Dell ve Huang, 1997; Tanaka ve Fujiwar, 2008). Bor ayrıca, kalsiyum kullanımı, hücre bölünmesi, çiçeklenme ve meyve tutumu, karbonhidrat ve nitrojen metabolizması, hastalık direnci, su ilişkileri ve belirli reaksiyonlar için katalizör olarak fonksiyonel ilişkilidir (Sprague, 1951). Bitkilerde yaygın olarak görülen B eksikliği belirtileri çiçeklenme ve meyve tutumunda azalma (Ho, 1999), düşük verim, meyve veya dane deformasyonudur (Shorrocks, 1997). Bununla birlikte, B eksikliği belirtileri türler arasında farklılık gösterir. Örneğin, yer fıstığı (*Arachis hypogaea* L.) ve soya fasulyesinde (*Glycine max* L.) B eksikliği sıklıkla “fıs meyve” olarak bilinen tohum içi boşluğa sebep olmaktadır (Farooq vd., 2012).

Siyah mercimek (*Vigna mungo* L.)’de B eksikliğinde tohumda herhangi bir semptom gözlenmezken, dane verimde %50 düşüş tespit edilmiştir (Keerati-Kasikorn vd., 1987). Rusya’da, seyreltik Borik asit çözeltisi (2 ile 20 mM) kullanılarak yapılan ön çimlendirme çalışmalarında şalgam (*Brassica rapa* L.) da dahil olmak üzere, soya fasulyesi (*Glycine max* L.), pancar (*Beta vulgaris* L.), ayçiçeği (*Helianthus annuus* L.), yonca (*Medicago sativa* L.), buğday ve arpa gibi birçok bitkilerin çimlenmesi üzerine B’un hem yararlı hem de zararlı etkileri saptanmıştır. Yukarıda ismi verilmiş olan türlerde %0.5’lik B solüsyonu ile ön çimlendirme uygulamasına tabi tutulmuş tohumlarında herhangi bir çimlenme ve çıkış görülmemiştir (Shorrocks, 1997). Rehman vd. (2010) pirinç tohumlarında %0.001’lik B solüsyonu ile ön çimlendirme uygulamasının, yaprak çıkış oranı, yaprak uzunluğu ve kök filiz oranını büyük ölçüde arttırdığını belirlemişlerdir. Benzer şekilde, 2 mg L<sup>-1</sup> bor solüsyonu ile 6 saat ön çimlendirme uygulamasıyla papayada çimlenmede önemli ölçüde artış ve erken fide büyümesi gözlemlenmiştir (Deb vd., 2010). Yulafta ise B ile ön çimlendirmenin çimlenme üzerine önemli bir etkisi görülmezken, kök filizinin önemli ölçüde arttığı belir-

lenmiştir (Saric ve Saciragic, 1969). %0.001 ve %0.1 dozlarında B ile yapılan ön çimlendirme pirinçte bitki çıkışı ve desenini arttırdığı, fakat bu konsantrasyonların üzerinde negatif etki görüldüğü bulunmuştur. %0.001 gibi düşük oranda B uygulamalarının diğer oranlara göre daha iyi sonuç verdiği ve kökçük çıkışı, plumule (gövde ve genç yaprak taslağı) uzunluğu ve ikincil kök sayısını arttırdığı, bununla birlikte %0.5'lik B solüsyonu ile uygulama görmüş tohumların çimlenmediği belirlenmiştir (Rehman vd., 2010). Bir başka çalışmada, ince daneli aromatik çeltik çeşitlerinden Super Basmati ve Shabeen Basmati tohumları oksijen gazı ilaveli (aerated) B solüsyonunda (%0.001, 0.01, 0.1 ve 0.5) ön çimlendirme uygulamasına tabi tutulmuşlardır. %0.001 ve %0.01' lik solüsyonlar ile ön çimlendirme uygulaması çıkış oranını önemli ölçüde artırırken bu dozların üstünde çıkış engellenmiştir (Farooq vd., 2012). Bor ile ön çimlendirme uygulamalarının ileriki dönem bitki büyüme evrelerindeki etkileride gözlenmiştir. Bezelye ile ilgili bir çalışmada, Kumar vd. (2008) %0.5' lik B çözeltisinde ön çimlendirme uygulamasının bitki boyu, çıkış oranı, %50 çiçeklenme zamanında ve %50 meyve tutumu ile bakla veriminde artışa neden olduğunu rapor etmişlerdir. Çinkoda olduğu gibi B ile ön çimlendirme uygulamalarının nohut, mercimek, pirinç veya buğdayda verim üzerinde görünür bir verim artışı olmamıştır. Verim üzerinde B ile ön çimlendirme uygulamalarının herhangi bir ürün ya da sezonda etkili olmadığı belirlenmiştir. Yine de B solüsyonlu ön çimlendirme uygulamaları bütün türlerde danele- rin B içeriğini artırmıştır (Johnson vd., 2005). Nohut (*Cicer arietinum* L.) üretimi bor (B) eksikliğinden olumsuz etkilenmektedir. Nohut tohumları, %0.01-0.5 (w/v) B konsantrasyonlarındaki havalandırılmış solüsyonlarda ön çimlendirilmiştir. %0.1'in üzerindeki B konsantrasyonların toksik olduğu ve tohum çimlenmesini engellediği belirlenmiştir. Bunun üzerine bora karşı toleranslı olan *Bacillus* sp. MN54 bakterisi ile birlikte %0.001 ve %0.0001 konsantrasyonlarında B ile ön çimlendirme yapılmış, bitki dese- ni, fide büyümesi ve dane verimini iyileştirmede uygulamalar etkili olmuştur (Noman vd., 2022). Bor ile ön çimlendirme uygulamaları en elverişli ve uygun maliyetli uygulama yöntemi olmasına rağmen, solüsyon konsantrasyonu uygulamalarda hayati önem taşımaktadır. Bu nedenle, farklı bor kaynaklarının ve konsantrasyonun, ön çimlendirme uygulamalarındaki etkinliğinin farklı türlerde araştırılması gereklidir (Çizelge 2).

**Çizelge 2.** Tohum ön çimlendirmede kullanılan bazı B kaynakları

B kaynağı	Kimyasal formülü	B (%)
Borax (sodyum tetraborat dekahidrat)	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	11
Borik asit	$\text{H}_3\text{BO}_3$	17
Kolemanit (kalsiyum borat)	$\text{CaO} \cdot 3\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	10
Borat granular (sodyum tetraborat) pentahidrat	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	15
Solubor	$\text{Na}_2\text{B}_8\text{O}_{13} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	20
Borasit (magnezyum borat)	$2\text{Mg}_3\text{B}_8\text{O}_{15} \cdot \text{MgCl}_2$	21
Sodyum tetraborat	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$	22
Üleksit	$\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{CaO} \cdot 5\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 16\text{H}_2\text{O}$	Değişken
Datolit	$2\text{CaO} \cdot \text{B}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	Değişken
Hidroborasit	$\text{CaO} \cdot \text{MgO} \cdot 3\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	Değişken

### Molibden ile yapılan ön çimlendirme uygulamaları

Molibden (Mo), azot beslenmesi ile ilgili kimyasal değişiklikler için bitkiler tarafından ihtiyaç duyulan bir mikro besin elementidir. Molibden, baklagil olmayan bitkilerin topraktan kullanılır nitrat almasına olanak sağlar. Molibden eksikliği bitkilerde, proteinler içerisinde asimile olmayan nitratların yapraklarda birikmesine neden olur (Farooq vd., 2012). Molibden baklagillerde, atmosferik N' u düzenlemek için kökteki nodül bakterilerine yardımcı olmaktadır (Campo vd., 2000). Baklagiller nitrat kullanımından daha çok azot bağlamak için molibdene gereksinim duyar (Donald ve Spencer, 1951; Campo vd., 2000). Mo eksikliği genellikle N eksikliğine benzer simptomlar gösterir. Baklagillerde, toprak mikro organizmalarının azot bağlama yeteneği, Mo eksikliğinde yüksek oranda engellenmektedir. Yulaflarda mavi sap (Blue-chaff), turunçgillerde sarı benek (yellow spot), ve karnabaharda kamçı kuyruk (whiptail) gibi fizyolojik bozukluklar Mo'den eksikliğine örnek olarak verilebilir (Chang, 1999).

Doğu Hindistan yapılan 48 farklı çalışmada, Mo ile ön çimlendirme uygulaması, kontrol (Mo olmadan) gruplarına kıyasla verimde %17-22 oranında ve topraktan Mo uygulamasına göre de verimi %20-25 oranında arttırmıştır (Johnson vd., 2005). Mo eksikliği olan toprakta, %0.1 veya % 1 sodyum molibdat çözeltisi içinde yonca (*Trifolium subterraneum* L.) tohumlarının ön çimlendirilmesinin, yoncannın büyümesi ve verimi arttırmada topraktan Mo uygulaması ile eşit derecede etkili olduğu belirtilmiştir (Farooq vd., 2012). Maksimum verim için gereksinimleri aşan uygulama düzeylerinde, danelerin Mo ve N içerikleri, eşdeğer toprak uygulamalarından daha yüksek bulunmuştur (Donald ve Spencer, 1951). Sodyum molibdat ve kobalt nitrat çözeltilerinde ön çimlendirme uygulamaları fasulyede, uygulamaların etkinliği ayrı ayrı değerlendirildiğinde nodülasyon, kuru



madde içeriği, azot ve verim bakımından molibden uygulamalarının kobalt uygulamalarından daha etkili olduğu göstermiştir (Mohandas, 1985). Benzer şekilde yeşil börülcede (green gram, *Vigna radiata* L.) sodyum molibdat ve rhizobia bakterileri ile yapılan ön çimlendirme uygulamaları, nodülasyonu,, azot fiksasyonunu, besin maddesi alınımını, bitki büyümesini ve verimi arttırmıştır. Her iki kaynağında tohum ön çimlendirme uygulamalarında, gübre uygulama etkinliğinin arttığı ve bununda kaynakların daha iyi kullanıldığı bir göstergesi olduğu belirtilmiştir (Pattanayak vd., 2000). Nohut tohumları, 250, 500 ve 750 ppm molibden içeren solüsyonlarda ön çimlendirme uygulamasına tabi tutulmuş ve 500 ppm dozuna kadar molibden uygulamalarının, bitki boyu, bitki başına düşen bakla sayısı, tohum verimi, saman verimi ve yağmur suyundan yararlanma oranını arttırdığı, 500 ppm Mo uygulamasından kontrole göre %18.9 daha fazla tohum verimi alındığı bildirilmiştir (Singh vd., 2014). Mo ile yapılan ön çimlendirme uygulamalarının, bitkilerin molibden ihtiyacını karşılamada topraktan uygulamalar kadar etkin olduğu görülmektedir. Bu konuda çok sayıda araştırma yapılmakla birlikte, farklı Mo kaynaklarının (Çizelge 3) farklı konsantrasyonlarında kullanımı ile ilgili çok daha fazla çalışmalar yapılabilir.

**Çizelge 3. Tohum ön çimlendirmede kullanılan için Mo kaynakları**

Mo Kaynağı	Kimyasal formül	Mo (%)
Molibden trioksit (molibdik oksit)	MoO <sub>3</sub>	66
Amonyum molibdat	(NH <sub>4</sub> ) <sub>6</sub> Mo <sub>7</sub> O <sub>24</sub> ·2H <sub>2</sub> O	54
Sodyum molibdat	Na <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O	39
Molibden frit	-	30

### Manganez ile yapılan ön çimlendirme uygulamaları

Manganez (Mn), azot metabolizması, fotosentez ve bitki metabolizması için gerekli diğer bazı bileşiklerin oluşturulması için hayati öneme sahiptir (Stout ve Arnon, 1939). Mn eksikliği genellikle yaprak damarları arasında kloroza neden olmakta ve bazı türlerde olgunluğun gecikmesine de neden olabilmektedir (Park vd., 1999). Şiddetli Mn eksikliğinde genç yapraklarda kahverengi nekrotik lekeler görülmekte ve genç yaprak dökümü görülmektedir (Stout ve Arnon, 1939; Chang, 1999).

Buğday tohumlarının MnSO<sub>4</sub> çözeltisinde ön çimlendirilmesi, bitki büyümesini, dane verimini ve danenin Mn içeriğini artırmış özellikle 12 saat %0.2 MnSO<sub>4</sub> dozu en etkili uygulama olmuştur (Khalid ve Malik, 1982). Marcar ve Graham (1986) MnSO<sub>4</sub> ile ön çimlendirilmiş buğday tohumlarında, verim ve danenin Mn içeriğinde artış olduğunu bildirmişlerdir. Ekinezya (*Echinaceae purpurea* L.) tohumlarının %0.1 MnSO<sub>4</sub> ile ön çimlendirilmesi, çimlenmede %36 ve tarla çıkışında %27' lik artış sağla-



mıştır (Babaeva vd., 1999). Karpuz tohumlarında farklı konsantrasyonlarda MnO ile nano priming uygulamasının fidelerin hormonal, fenolik asit, klorofil ve antioksidan profilleri üzerindeki etkisinin araştırılması üzerine yapılan çalışmada, 20 mg·L<sup>-1</sup> MnO ile nano priming uygulamasının fidelerin klorofil ve antioksidan profillerini değiştirdiğini göstermiştir. Nano priming uygulamasında 40 mg·L<sup>-1</sup> ve altındaki, MnO dozlarının karpuz fidelerinin fenolik asit ve fitohormon profilleri üzerinde kayda değer bir etkisi olduğu belirlenmiştir (Kasote vd., 2021). Mn ile ön çimlendirme ile ilgili birkaç çalışma olmasına rağmen, bu çalışmalar ilerideki dönemde bitki büyümesinde, verimde ve danenin besin içeriğindeki artışta toprak uygulamasından daha iyi olduğunu belirtmektedir. Çeşitli Mn tuzlarının ön çimlendirmede kullanım potansiyelini keşfetmeye ihtiyaç vardır (Çizelge 4).

**Çizelge 4. Tohum ön çimlendirmede kullanılan Mn kaynakları**

Mn kaynakları	Kimyasal formülü	Mn (%)
Manganez frit	-	35
Manganez klorit	MnCl <sub>2</sub>	17
Manganez karbonat	MnCO <sub>3</sub>	31
Manganez oksit	MnO	41-68
Manganez sülfat	MnSO <sub>4</sub> ·4H <sub>2</sub> O	26-28
Manganez şelat	Mn EDTA	12
Manganez amonyum fosfat	Mn(NH <sub>4</sub> )PO <sub>4</sub> ·H <sub>2</sub> O	28
Manganez poliflavanoid	-	8

### Bakır ile yapılan ön çimlendirme uygulamaları

Bakır (Cu) karbon asimilasyonu ve azot metabolizmasında görev almakta, eksikliği durumunda ağır sonuçları olabilen ve büyüme geriliğine neden olan bir elementtir (Farooq vd., 2012). Cu lignin biyosentezinde görev almakta ve yalnızca bitki hücre duvarlarının dayanımını arttırmada değil, aynı zamanda solmayı önlemede görev alır. Kloroz, bodurlaşma, dal ve köklerde geriye kuruma yaygın görülen Cu eksikliği belirtileridir (Stout ve Arnon, 1939; Chang, 1999; Osotsapar, 1999). Bu eksiklikler özellikle organik maddenin düşük olduğu kumlu topraklarda görülmektedir (Farooq vd., 2012).

Cu EDTA (0.04-0.16 kg Cu ha<sup>-1</sup>) solüsyonunda ön çimlendirme buğdayda dane verimini oldukça artmış fakat fide çıkışı baskılanmıştır. Çok düşük oranlarda Cu EDTA (0.04 kg Cu ha<sup>-1</sup>) ön çimlendirme uygulaması buğday tohumlarında Cu eksikliğini önleyerek, tohum verimini artırmıştır (Malhi, 2009). Başka bir araştırmada, yulafta dane verimi kontrol grubuna göre artmışken, uygulamanın çimlenme üzerine hiçbir etkisi görülmemiştir (Saric ve Saciragic, 1969). Arpa ve ekmeklik buğday tohumlarının

farklı konsantrasyonlardaki fosfor (P), bakır (Cu) ve çinko (Zn) içerikli priming çözeltilerinde uygulamaya tabi tutulması, tohumların Cu, Zn ve P içeriklerini arttırmakla birlikte, % 50 çıkış süresini artırmıştır (Atar vd., 2020). Mısır tohumlarında kitosan içeren ve içermeyen nano bakır ile ön çimlendirme uygulamaları kontrole kıyasla sürgün büyümesini ve fotosentetik elektron taşınmasını artırarak serada yetiştirilen mısır fidelerinin ilk gelişimini olumlu yönde etkilemekle birlikte nano bakır ile ön çimlendirme mısır fidelerinde oksidatif stresi tetiklemiştir. Tek başına kitosan uygulaması küçük morfo-fizyolojik tepkileri teşvik etmiştir (Gomes vd., 2021). Cu-kitosan nanopartiküllerinin (Cu-CNP), buğday fidelerinde tuz ve PEG kaynaklı hiperozmotik stres toleransını indüklemek için çevre dostu ve daha güvenli ön çimlendirme ajanı olarak kullanımı ile ilgili yapılan bir çalışmada, buğday tohumları sekiz saat boyunca %0,12 ve %0,16 Cu-CNP ile ön çimlendirilmiş ve PEG kaynaklı hiperosmotik stres (%15 PEG-6000 – 3,0 Mpa) ve tuz stresi (150 mM) altında çimlenmeye alınmıştır. Ön çimlendirme uygulamalarının etkisinden kaynaklanan biyokimyasal değişiklikler, tuzluluğun yanı sıra PEG kaynaklı hiperozmotik stres altındaki buğday fidelerinde büyüme ve çimlenme parametreleri üzerinde olumlu etkilere neden olmuştur (Farooq vd., 2022). Cu ile ön çimlendirme uygulamaları çimlenme ve fide çıkışını baskılayabilmekte, fakat dane verimini önemli ölçüde artırmaktadır (Farooq vd., 2012). Çeşitli bitki türlerinde farklı Cu kaynaklarının ve konsantrasyonlarının etkin kullanımını araştırmaya ihtiyaç vardır (Çizelge 5).

**Çizelge 5.** Tohum ön çimlendirmede kullanılan Cu kaynakları

Cu kaynakları	Kimyasal formülü	Cu (%)
Bakır amonyum fosfat	$\text{Cu}(\text{NH}_4)\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	32
Bakır şelat	$\text{Na}_2\text{CuEDTA}$	13
	$\text{NaCuHEDTA}$	9
Bakır frits	frit	40-50
Bakır sülfat	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	25

### **Kobalt ile yapılan ön çimlendirme uygulamaları**

Kobalt (Co) bazı bitkiler için yararlı, bazıları için ise temel gereksinim duyulan bir elementtir. Örneğin baklagillerde azot bağlanması için gerekli bir elementtir (Farooq vd., 2012). Bir geçiş elementi gibi, metabolizma ve bitki büyümesini etkileyen Co, çeşitli enzimler ve ko-enzimlerin temel bileşenidir. Kobalt, tohumlarda kuraklık direncini arttırma, yaprak yaşlanmasını geciktirme, etilen biosentezini önleme gibi faydalı etkilerinin yanı sıra tıbbi aromatik bitkilerde alkaloid birikiminin düzenlenmesi gibi etkilere sahiptir (Palit vd., 1994).

Kobalt nitrat ile ön çimlendirilmiş güvercin bezelyesi (*Cajanus cajan* L.) tohumlarında, bitki boyu, dal ve yaprak sayıları, toplam kuru madde miktarı ve verim artmıştır. Klorofil miktarında, net asimilasyon oranı, büyüme oranı ve bitki büyüme hızında da önemli ölçüde artışa neden olmuştur. Yine kobalt nitrat ile ön çimlendirme uygulanmış yerfıstığı tohumunda, bitki boyu, yaprak sayısı ve toplam kuru madde miktarı artmıştır. Güvercin fasulyesi ve yerfıstığında hem nodül sayısını hem de kök düğümlerinde leghaemoglobin içeriğini artırmıştır (Raj, 1987). Kabak tohumlarının (*Cucurbita pepo* L.), 0.25, 0.50 ve 1.00 ppm' lik Co solüsyonu ile havalandırılmış ortamda ekim öncesi 48 saat süreyle ıslatılması, suda ıslatmaya göre bitki büyümesi, dişi çiçek oranını ve meyve verimini arttırmıştır. 0.25, 0.50 ve 1.00 ppm' lik Co solüsyonu ile ıslatma sırasıyla meyve veriminde %26, 40 ve 56'lık artış sağlamıştır (Atta-Aly, 1998). Fasulye (*Phaseolus vulgaris* L.) tohumlarının, 1 ve 5 mg L<sup>-1</sup> kobalt nitrat çözeltisinde ön çimlendirilmesi, nodülasyon, kuru madde ve azot içeriği ile dane veriminde önemli ölçüde artışa neden olmuştur (Mohandas, 1985). Mikro besin elementleri kombinasyonu (0.16 mg g<sup>-1</sup> Mo, Sodyum Molibdat olarak ve 0.008 mg g<sup>-1</sup> kobalt klorür olarak) ve rhizobium ile tohum uygulamaları, nodülasyon, azot fiksasyonu, besin elementleri alınımı, bitki büyümesi ve ürün verimini önemli derecede arttırmıştır. Tohum uygulama kombinasyonları, kaynakların daha iyi kullanımını sağlayarak, gübre uygulama etkinliğini artırmıştır. Belli konsantrasyonlarda ve sürelerde kobalt ile ön çimlendirme uygulamaları bitki performansını önemli ölçüde artırır da bu faydanın daha iyi anlaşılması için ilave çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır (Farooq vd., 2012). Çizelge 6'da ön çimlendirmede kullanılan bazı Co kaynakları verilmiştir.

**Çizelge 6.** Tohum ön çimlendirmede kullanılan Co kaynakları

Co kaynakları	Kimyasal formülü	Co (%)
Kobalt Klorür	CoCl <sub>2</sub> .nH <sub>2</sub> O	Değişken
Kobalt nitrat	Co(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	Değişken

### Mikro Besin Ön Çimlendirme Uygulamalarını Etkileyen Faktörler

Ön çimlendirme uygulamaları, çeşitli çevresel değişkenlerden ve diğer faktörlerden etkilenmektedir (McDonald, 2000). Corbineau ve Come (2006), oksijen, sıcaklık ve çözelti konsantrasyonun (su potansiyeli) ön çimlendirme uygulamalarını etkileyen en önemli faktörler olduğunu ileri sürmüşlerdir. Oksijen, tohum ön çimlendirme uygulamalarının etkileyen en önemli değişkenlerinden biridir. Ancak, daha önceki mikro besinler ile ilgili ön çimlendirme çalışmalarında havalandırmanın etkileri, uygulama sırasında ve sonrasındaki performansları araştırılmamıştır (Farooq vd.,

2012). Ön çimlendirme sırasında ortama oksijen sağlamak özellikle ekim anındaki tohum performansını arttırmaktadır.

Ön çimlendirme sırasında düşük sıcaklıklar tohum performansını değiştirebilmekte (Lee vd., 1998) ve fizyolojik çimlenmede gecikmeye neden olsa bile, tohum bu sürede yeterli suyu alabilmektedir. Ayrıca düşük sıcaklıklar, ön çimlendirme sırasında mikrobiyal kontaminasyon riskini azaltmaktadır. Herhangi bir mikro besin ile ön çimlendirme uygulamasının tüm tohum partisinde yapılmadan önce az miktarda tohumda bu uygulamanın yapılarak toprakta çimlenme oranına bakılması yöntemin başarısı açısından daha iyi olacaktır (Farooq vd., 2012).

Solüsyon konsantrasyonu ve su potansiyeli tohum ön çimlendirme uygulamalarının etkinliğini belirleyen en önemli faktörlerdir (Farooq vd., 2012). Hatta bu faktörler, mikro besinlerin tohumların ön çimlendirilmesi sırasındaki eksikliği ve toksikliği arasındaki sınır dar olduğu için daha da önemli hale gelebilir. Tohum çimlenmesi tohum içindeki su potansiyeli kritik seviyeye geldiğinde başlayan bir süreçtir. Bu kritik seviye bitki türleri için farklı seviyelerde olmakla birlikte, çimlenme sıklıkla, tohumlar 0 ile -2 MPa su potansiyeline ulaştıklarında meydana gelmektedir (McDonald, 2000; Corbineau ve Come, 2006).

## Sonuç

Yapılan çalışmalarda mikro besin elementleri ile ön çimlendirme (priming) uygulamalarının, farklı tür ve çeşitlerde uygun dozlar ile uygulanmasıyla tohum çimlenmesi ve çıkış gücünde, dane veriminde, fide gelişiminde ve çıkışında, tohumların mikro besin içeriklerinde artışlara neden olduğu gözlenmiştir. Ayrıca farklı çalışmalarda, bitkiler için gerekli mikro besin elementlerinin ön çimlendirme ile uygulanmasının, topraktan veya yapraktan bitkilere uygulamaya kıyasla daha düşük maliyetli olduğu göstermiştir. Ancak bazı türlerde yapılan çalışmalarda ise başarısızlıklar gözlenmiştir. Bu başarısızlıkların; düşük toprak sıcaklığı, tohuma fungusit uygulamaları ile priming uygulamaları arasındaki negatif etkileşimler nedeniyle ortaya çıkmış olduğu düşünülmektedir. Yapılmış olan değişik ön çimlendirme çalışmalarında, farklı tür ve çeşitler için bulunmuş olan uygun dozlar olumlu etkiler yaratmışken, bu dozların üstünde ise olumlu etkilerin baskılandığı, çimlenme ve fide çıkışlarının engellendiği görülmektedir. Çünkü bitkiler mikro besin elementlerini makro olarak adlandırılan diğer besin elementlerine göre daha az kullanmakta ve mikro besin elementlerine büyüme ve gelişmelerinin belli dönemlerinde ihtiyaç duymaktadır. Bu bakımdan mikro besin elementleri ile yapılacak olan ön çimlendirme çalışmalarında amaç, en olumlu sonuçları verecek dozu belirlemek olmalı ve ön çimlendirme sürecinde doz, uygulama süresi ve sıcaklığında çok dikkatli olunmalıdır.

## Kaynaklar

- ABDULRAHMANI, B., GHASSEMI-GOLEZANI, K., VALIZADEH, M., FEIZI ASL, V. (2007). Seed priming and seedling establishment of barley (*Hordeum vulgare* L.). *International Journey of Food, Agriculture and Environment*, 5, 179-184.
- AJOURI, A., ASGEDOM, H., BECKER, M. (2004). Seed priming enhances germination and seedling growth of barley under conditions of P and Zn deficiency. *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, 167, 630-636.
- ALI, A., MACHADO, V.S., HAMIL, A.S. (1990). Osmo conditioning of tomato and onion seeds. *Scientia Horticulturae*, 43: 213-224.
- ARNON, D.I., STOUT, P.R. (1939) The essentiality of certain elements in minute quantity for plants with special reference to copper. *Plant Physiol.*, 14: 371-375.
- ATAR, B., UYGUR, V., SUKUŞU, E. (2020). Effects of priming with copper, zinc and phosphorus on seed and seedling composition in wheat and barley. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 7(1): 104-111.
- ATTA-ALY, M.A. (1998). Soaking summer squash seeds in low concentrations of cobalt solution before sowing increased plant growth, femaleness, and fruit yield via increasing plant ethylene level. *J. Plant Growth Regul.*, 17, 25-32.
- BABAEVA, E.Y., VOLOBUEVA, V.F., YAGODIN, B.A., KLIMAKHIN, G.I. (1999). Sowing quality and productivity of *Echinacea purpurea* in relation to soaking the seed in manganese and zinc solutions. *Iz-vestiya Timiryazevskoi Sel'skokhozyaistvennoi Akademii*. 4, 73-80.
- BEWLEY, J.D. (1997). Seed germination and dormancy. *The Plant Cell*, 9: 1055-1066.
- CAKMAK, I. (2000). Role of zinc in protecting plant cells from reactive oxygen species. *New Phytol.* 146, 185-205.
- CAMPO, R.J., ALBINO, U.B., HUNGRIA, M. (2000). Importance of molybdenum and cobalt to the biological nitrogen fixation. In: *Current Plant Science and Biotechnology in Agriculture*, F.O. Pedrosa, M. Hungria,
- CHANG, S.S. (1999). Micronutrients in crop production of Taiwan. In: *Proceedings of International Workshop on Micronutrient in Crop Production*, held Nov. 8-13, 1999, National Taiwan University, Taipei, Taiwan ROC.
- CORBINEAU, F., CÔME, D. (2006). Priming: a technique for improving seed quality. *Seed Test. Int.* 132, 38-40.
- DEB, P., DAS, A., GHOSH, S.K., SURESH, C.P. (2010). Improvement of seed germination and seedling growth of papaya (*Carica papaya* L.) through different pre-sowing seed treatments. *Acta Hort.*, 851, 313-316.
- DELL, B., HUANG, L. (1997). Physiological responses of plants to boron. *Plant Soil*, 193, 103-120.

- DONALD, C.M., SPENCER, D. (1951). The control of molybdenum deficiency in subterranean clover by pre-soaking the seed in sodium molybdate solution. *Australian J. Agric. Res.*, 2, 295–301.
- FAROOQ, M., WAHID, A., KADAMBOT SIDDIQUE, H.M., (2012). Micronutrient application through seed treatments - A review. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 2012, 12 (1), 125-142.
- FAROOQ, T., NISA, Z. U., HAMEED, A., AHMED, T., HAMEED, A. (2022). Priming with copper-chitosan nanoparticles elicit tolerance against PEG-induced hyperosmotic stress and salinity in wheat. *BMC Chemistry*, (2022) 16:23. <https://doi.org/10.1186/s13065-022-00813-1>
- GOMES, D.G., PELEGRINO, M.T., FERREIRA, A.S., BAZZO, J.H.B., ZUCARELI, C., SEABRA, A.B. OLIVEIRAB, H.C. (2021). Seed priming with copper-loaded chitosan nanoparticles promotes early growth and enzymatic antioxidant defense of maize (*Zea mays* L.) seedlings. *J Chem Technol Biotechnol.*, 96: 2176–2184.
- HARRIS, D., RASHID, A., MIRAJ, G., ARIF, M., SHAH, H. (2007). On-farm seed priming with zinc sulphate solution – A cost-effective way to increase the maize yields of resource-poor farmers. *Field Crops Res.* 10, 119–127.
- HEYDECKER, W., GIBBINS, B. (1978). The 'priming' of seeds. *Acta Horticulturae*, 83: 213-215.
- HO, S.B. (1999). Boron deficiency of crops in Taiwan. In: *Proceedings of International Workshop on Micronutrient in Crop Production*, held on Nov. 8–13, 1999, National Taiwan University, Taipei, Taiwan ROC.
- IMRAN, M., BOELT, B., MÜHLING, K.A. (2018). Zinc seed priming improves salt resistance in maize. *J Agro Crop Sci.*, 204:390–399.
- JOHNSON, S.E., LAUREN, J.G., WELCH, R.M., DUXBURY, J.M. (2005). A comparison of the effects of micronutrient seed priming and soil fertilization on the mineral nutrition of chickpea (*Cicer arietinum*), lentil (*Lens culinaris*), rice (*Oryza sativa*) and wheat (*Triticum aestivum*). *Nepal. Exper. Agric.*, 41, 427–448.
- KACAR, B., KATKAT, A.V. (2010). Bitki besleme. *Nobel Yayın Dağıtım*, Ankara.
- KASOTE, D.M., LEE, J.H.J., JAYAPRAKASHA, G.K., PATIL, B.S. (2021). Manganese Oxide Nanoparticles as Safer Seed Priming Agent to Improve Chlorophyll and Antioxidant Profiles in Watermelon Seedlings. *Nanomaterials*, 2021, 11, 1016. <https://doi.org/10.3390/nano11041016>
- KAUR, R., ARORA, S., THUKRAL, A.K. (2009). Enhancing seed germination of *Chlorophytum borivilianum* Sant. Et fernand. with PGRs, steroidal hormones and zinc. *Res. J. Seed Sci.* 2, 32–39.
- KAYA, M., ATAK, M., KHAWAR, K.M., ÇİFTÇİ, C.Y., ÖZCAN, S. (2007). Effect of pre-sowing seed treatment with zinc and foliar spray of humic acids

- on yield of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Int. J. Agric. Biol.*, 7, 875–878.
- KEERATI-KASIKORN, P., PANYA, P., BELL, R.W., LONERAGAN, J.F. (1987). Effects of boron on peanut grown in Northeast Soils. In: *Proceedings of the Sixth Thailand National Groundnut Meeting*, Prince of Songkla University, Songkla, Thailand. (In Thai with English abstract).
- KHALID, B.Y., MALIK, N.S.A., (1982). Presowing soaking of wheat seeds in copper and manganese solutions. *Commun. Soil Sci. Plant Analy.*, 13, 981–986.
- KHAN, A.A., (1992). Preplant physiological seed conditioning. *Horticultural Reviews*, 13: 131-181.
- KUMAR, R., KUMAR, S.S., PANDEY, A.C. (2008). Effect of seed soaking in nitrogen, phosphorus, potassium and boron on growth yield of garden pea (*Pisum sativum* L.). *Ecol. Environ. Conserv.*, 14: 383-386.
- LEE, S.S., KIM, J.H., HONG, S.B., KIM, M.K., PARK, E.H. (1998). Optimum water potential, temperature, and duration for priming of rice seeds. *Korean J. Crop Sci.*, 43: 1–5.
- MALHI, S.S. (2009). Effectiveness of seed-soaked Cu, autumn- versus spring-applied Cu, and Cu-treated P fertilizer on seed yield of wheat and residual nitrate-N for a Cu-deficient soil. *Can. J. Plant Sci.* 89, 1017–1030.
- MARCAR, N.E., GRAHAM, R.D. (1986). Effect of seed manganese content on the growth of wheat (*Triticum aestivum*) under manganese deficiency. *Plant Soil*, 96, 165–173.
- MARSCHNER, H., (1995). Mineral Nutrition of Higher Plants, 2nd edn. Academic Press, London, UK.
- McDONALD, M.B., (2000). Seed priming. In: *Black, M., Bewley, J.D. (ed.) Seed Technology and Its Biological Basis*. 287–325. Sheffield Academic Press, Sheffield, UK.
- MOHANDAS, S. (1985). Effect of presowing seed treatment with molybdenum and cobalt on growth, nitrogen and yield in bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Plant Soil*, 86, 283–285.
- NOMAN M., WAQAS, A.M., MUHAMMAD, N., TAUQEER, A.Y., MUHAMMAD, N., SHAHID, F., MUBSHAR, H. (2022). Seed priming with boron and *Bacillus* sp. MN54 inoculation improves productivity and grain boron concentration of chickpea. *Crop and Pasture Science*, 73(5), 494-502.
- OSOTSAPAR, Y. (1999). Micronutrients in crop production in Thailand. In: *Proceedings of International Workshop on Micronutrient in Crop Production*, held Nov. 8–13, 1999, National Taiwan University, Taipei, Taiwan ROC.
- OZTURK, L., YAZICI, M.A., YUCEL, C., TORUN, A., CEKIC, C., BAGCI, A., OZKAN, H., BRAUN, H.J., SAYERS, Z. CAKMAK, I. (2006). Concent-



- ration and localization of zinc during seed development and germination in wheat. *Physiol. Plant.*, 128, 144–152.
- PALIT, S., SHARMA, A., TALUKDER, G. (1994). Effects of cobalt on plants. *Bot. Rev.*, 60, 149–181.
- PARERA, C.A., CANTLIFFE, D.J. (1994). Presowing seed priming. *Horticultural Reviews*, 16: 109-141.
- PARK, Y.H., LEE, J.Y., KIM, S.C., KIM, P.J. (1999). Distribution characteristics of micronutrients in soils and vegetable plants in Korea. In: *Proceedings of International Workshop on Micronutrient in Crop Production*, held Nov. 8–13, 1999, National Taiwan University, Taipei, Taiwan ROC.
- PATTANAYAK, S.K., DASH, V., JENA, M.K., NAYAK, R.K. (2000). Seed treatment of green gram with molybdenum and cobalt: effect on nodulation, biomass production and N uptake in an acid soil. *J. Ind. Soc. Soil Sci.*, 48, 769–773.
- RAI-KALAL, P., JAJOO, A., (2021). Priming with zinc oxide nanoparticles improve germination and photosynthetic performance in wheat. *Plant Physiology and Biochemistry*, 160, 341–351.
- RAJ, A.S. (1987). Cobalt nutrition of pigeonpea and peanut in relation to growth and yield. *J. Plant. Nutr.*, 10, 2137–2145.
- RASMUSSEN, P.E., BOAWN, L.C. (1969). Zinc seed treatment as a source of zinc for beans. *Agron. J.*, 61, 674–676.
- REHMAN, A., FAROOQ, M., CHEEMA, Z.A., WAHID, A. (2010). Role of boron in leaf elongation and tillering dynamics in fine grain aromatic rice. *J. Plant Nutr.*, 36(1),42-54.
- REHMAN, A., FAROOQ, M., AHMAD, R., BASRA, S.M.A. (2015). Seed priming with zinc improves the germination and early seedling growth of wheat. *Seed Science and Technology*, 43(2), 262-268.
- SARIC, T., SACIRAGIC, B. (1969). Effect of oat seed treatment with microelements. *Plant Soil*, 31, 185–187.
- SHARMA, C.P. (2006). Plant Micronutrients. *Science Publishers*, Enfield, NH, USA.
- SHORROCKS, V.M. (1997). The occurrence and correction of boron deficiency. *Plant Soil*, 193, 121–148.
- SINGH, M.V. (2007). Efficiency of seed treatment for ameliorating zinc deficiency in crops. In: *Zinc Crops 2007, Improving Crop Production and Human Health*, 24–26 May, 2007, Istanbul, Turkey.
- SINGH, S., BAWA, S. S., SINGH, S., SHARMA, S.C., KUMAR, V. (2014). Effect of seed priming with molybdenum on performance of rainfed chickpea (*Cicer arietinum* L.). *J. Res. Punjab Agric. Univ.*, 51(2), 124-127.



- SLATON, N.A., WILSON-JR, C.E., NTAMATUNGIRO, S., NORMAN, R.J., BOOTHE, D.L. (2001). Evaluation of zinc seed treatments for rice. *Agron. J.*, 93, 152–157.
- SPRAGUE, H.B. (1951). *Hunger Signs in Crops*. McKay, New York, USA.
- STOUT, P.R., ARNON, D.I. (1939). Experimental methods for the study of the role of copper, manganese, and zinc in the nutrition of higher plants. *Amer J. Bot.*, 26, 144–149.
- TANAKA, M., FUJIWAR, T. (2008). Physiological roles and transport mechanisms of boron: perspectives from plants. *Pflügers Arch. European J. Physiol.*, 456, 671-677.
- TISDALE, S. L., NELSON, W. L., BEATON, J. D. (1985). *Soil Fertility and Fertilizers*. 4<sup>th</sup> Ed. p. 1-754. Macmillian Publishing Company, New York.
- TUIWONG, P., LORDKAEW, S., VEERADITTAKIT, J., JAMJOD, S. AND PROM-U-THAI, C. (2022). Seed priming and foliar application with nitrogen and zinc improve seedling growth, yield, and zinc accumulation in rice. *Agriculture*, 12, 144. <https://doi.org/10.3390/agriculture12020144>.
- TURK, M.A., RAHMAN, A., TAWAHA, M., LEE, K.D. (2004). Seed germination and seedling growth of three lentil cultivars under moisture stress. *Asian Journal of Plant Sciences*, 3 (3): 394-397.
- WELCH, R.M. (1995). Micronutrient nutrition of plants. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 14, 49-82.
- YILMAZ, A., EKIZ, H., TORUN, B., GULTEKIN, I., KARANLIK, S., BAGCI, S.A., CAKMAK, I. (1997). Effect of different zinc application methods on grain yield and zinc concentration in wheat cultivars grown on zinc-deficient calcareous soils. *J. Plant Nutr.*, 20, 461–471.



# BÖLÜM 3

## MİKROBİYAL BİYOKÜTLE VE MİKROBİYAL BİYOKÜTLEYİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

*İlyas BOLAT<sup>1</sup>*

---

<sup>1</sup> İlyas BOLAT (Doç. Dr.), Bartın Üniversitesi, Bartın Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Toprak İlimi ve Ekolojisi ABD, Bartın, ORCID ID: 0000-0002-5354-2968

## 1. MİKROBİYAL BİYOKÜTLE VE ÖNEMİ

Ölü örtü (ölü birincil ürünler), toprak organik maddesi ( $C_{org}$ ) ve toprak mikrobiyal biyokütlesi ( $C_{mic}$ ) arasındaki ilişki, seksenli yıllarda toprak ekosistemi analizleri açısından toprak mikrobiyal ekolojisinde önemli bir konu haline gelmiştir. O yüzden bu bölümde, yaklaşık  $5 \times 10^3 \mu m^3$  ten büyük bitki kökleri ve toprak hayvanları hariç, toprak organik maddesinin canlı kısmı olarak tanımlanan toprak mikrobiyal biyokütlesinin miktarı, büyüklüğü, önemi, dolaşımı ve mikrobiyal biyokütleyi etkileyen faktörler hakkında bilgiler verilecektir.

Mikrobiyal biyokütle, toprakta bulunan organik maddenin 5–10  $\mu m^3$ 'ten küçük canlı mikroorganizmalarını oluşturan kısmı olarak tanımlanmaktadır. Toprak mikrobiyal biyokütlesinin önemi Jenkinson (1977) tarafından şöyle özetlenmiştir: “Mikrobiyal biyokütle, topraktaki organik C'nin yalnızca %1–5'ini oluşturur; fakat o toprağa giren tüm organik maddenin içinden geçmesi gereken iğne deliğidir.” Toprak mikrobiyal biyokütlesi, genellikle kilogram toprak başına miligram karbon ( $mg\ kg^{-1}\ C$ ) veya kuru ağırlık gramı başına mikrogram karbon ( $\mu g\ g^{-1}\ C$ ) olarak ifade edilir; toprak mikrobiyal biyokütle karbonu, toprak organik maddesinin %1 ile %5'i arasında değişiklik göstermektedir. Son zamanlarda toprağın mikrobiyal biyokütlesini tahmin etmeye olan ilgi, mikrobiyal biyokütlenin besin maddelerinin daha sonra dağıtılması için bir havuz işlevi görmesi, toprağın iç yapısının oluşumu (strüktürü) ve stabilizasyonundaki rolü ile ekolojik bir belirteç yani indikatör olmasından kaynaklanmaktadır. Bilindiği üzere toprak mikroorganizmaları, yalnızca biyokimyasal dönüşümleri gerçekleştirebilme yetenekleri nedeniyle değil, aynı zamanda mineral besin maddeleri için hem kaynak hem de havuz olarak önem taşımaları nedeniyle toprak verimliliğinde çok önemli rol oynamaktadır (Jenkinson ve Ladd, 1981; Diaz-Ravina vd., 1993; Anderson ve Domsch, 2010). Bunların haricinde toprak mikroorganizmaları, bitki kökleri ile simbiyotik ilişkiler kurmakta ve böylece bitki patojenlerine karşı biyolojik savaşçı olarak fayda sağlamaktadırlar. Ayrıca bu canlılar toprağın agregatlaşmasına katkıda bulunurlar ve toprak oluşumuna katılmaktadırlar (Dalal, 1998).

Toprak canlıları/organizmaları içinde yer alan ve dolayısıyla toprak organik maddesinin canlı bileşeni olan toprak mikrobiyal biyokütlesi, bakterileri, aktinomisetleri, mantarları, algleri, protozoaları ve diğer toprak mikro faunasını içeren (Tablo 1) toprak katmanlarındaki değişken (labile) yani değişme eğiliminde bulunan besin havuzuna verilen isimdir. Bu durum mikrobiyal biyokütlenin, besin mineralizasyonunu yönlendirmesinden ve temel bitki besin maddelerinin (C, N, P ve S) küçük ama değişken (labile) bir kaynağı olmasından kaynaklanmaktadır. Diğer bir anlatımla toprak sisteminde enerji aktarımı ve besin döngüsü için ana faktör konumunda olan toprak mikrobiyal biyokütlesi hem besin kaynağı hem de besin havu-

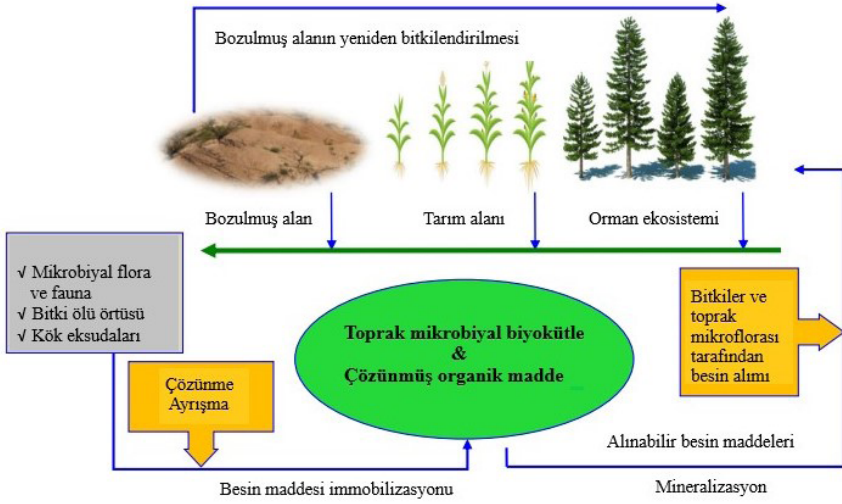
zu görevi görebilmektedir. Örneğin yapılan bir çalışmada Kuzey Kutbu, Alp Tundraları ve hatta ılıman ormanlar gibi azotun (N) son derece yoksun olduğu ekosistemlerin topraklarında, toprak mikro florasının (toprak mikrobiyal biyokütlesi) ölümünden sonra toprağa geçen yani salınan besinler arasında, bitki besin maddelerinden olan azotun (N) önemli bir yer tuttuğu vurgulanmaktadır. Çeşitli karasal ekosistemlerde mikrobiyal floranın ölümünden sonra azotun (N) tekrar toprağa geçmesinden dolayı, azotun (N) toprak mikro-florası tarafından alınımının N'nin kısa süreli depolanması için gelişmiş olabilecek bir adaptasyon olabileceği öne sürülmektedir. Dolayısıyla besin maddeleri açısından fakir ekosistemlerde toprak mikrobiyal biyokütlesi, mevcut besinlerin ana deposu olarak görev yapmakta ve bitkilerin hayatta kalmasında çok önemli roller oynamaktadır. Bilindiği üzere ekosistemlerin işleyişi, temel olarak toprak-bitki-hayvan besin ağındaki mikrobiyal etkileşimlerin aracılık ettiği kimyasal döngülerin/çevrimlerin, karbonun ve diğer besin maddelerinin besin zinciri basamakları boyunca gerçekleşen akışına dayanır. Topraktaki mikrobiyal çeşitlilik ve biyokütle, karbon ve besin dönüşümü/döngüsü yoluyla toprak sağlığına ilişkin temel işlevleri sürdürerek ekosistemin sürdürülebilirliğinde çok önemli yer tutmaktadır. Hatta ekosistemde meydana gelen tahribatlarda ya da bozulmalardan sonra bile, daha yüksek mikrobiyal çeşitliliğe ve biyokütleyle sahip bir ekosistem, mikrobiyal tamponlama yoluyla ekolojik süreçleri sürdürme konusunda daha yüksek bir kapasiteye sahip olabilmektedir. O yüzden topraktaki mikrobiyal biyokütlenin, bozulmuş arazilerin rehabilitasyonunda temel olan ekolojik etken olduğu sıklıkla ifade edilmeye başlanmıştır. Çünkü günümüzde yer üstü (bitki ölü örtüsü miktarı ve kalitesi) ve yer altının (topraktaki mikrobiyal flora ve fauna çeşitliliği) ekosistem süreçlerini ve istikrarını kontrol etmede temel rol oynayan ana faktörler olduğuna dair artan bilgiler bulunmaktadır. Bu bağlamda çeşitli ekolojik etkenler arasında, mikroplar ( $N_2$  bağlayıcılar, P çözüldürücüler, büyüme hormonu üretenler vb.) ve bunların toprak mikrobiyal biyokütle havuzları, tüm dünyada çeşitli ekosistem fonksiyonlarının/işlevlerinin kontrol edilmesinde önemli bir ekolojik itici güç olarak değerlendirilmektedir. Örneğin toprak karbonu (C), azotu (N) ve fosforu (P) ile birlikte toprak reaksiyonu (pH), çeşitli besinlerden yoksun ekosistemlerin işleyişini sınırlandırabilen temel faktörlerdir. Buradan hareketle ekosistem işleyişinin önemli bir itici gücü olan toprak mikrobiyal biyokütlesi, toprak bozukluklarından/degradasyonundan kaynaklanan bozulmaların hassas ve çok önemli olan biyolojik bir göstergesi olarak kabul edilmektedir. Bundan dolayı topraktaki mikrobiyal çeşitlilik ve biyokütle, ekosistem hizmetlerinde çok önemli rol/roller oynayan ekosistemin vazgeçilmez ve olmazsa olmazı olan bir parçası durumundadır (Şekil 1). Toprağın mikrobiyal biyokütlesi, toprak mineralleri ve organik maddeden oluşan karmaşık bir matris (ana kütle/yapı) içinde bulunmaktadır. Bir gram toprak  $10^9$ 'dan fazla bakteri ve

yüzlerce metrelik mantar hifleri içerebilmektedir. Bununla birlikte Tablo 1’de toprakta bulunan bazı mikrobiyal canlıların ve diğer faunaların kütlesi hektarda ton cinsinden verilmiştir (Bauhus ve Khanna, 1999; Carnicer vd., 2015; Horwath, 2017; Singh ve Gupta, 2018; Das vd., 2023).

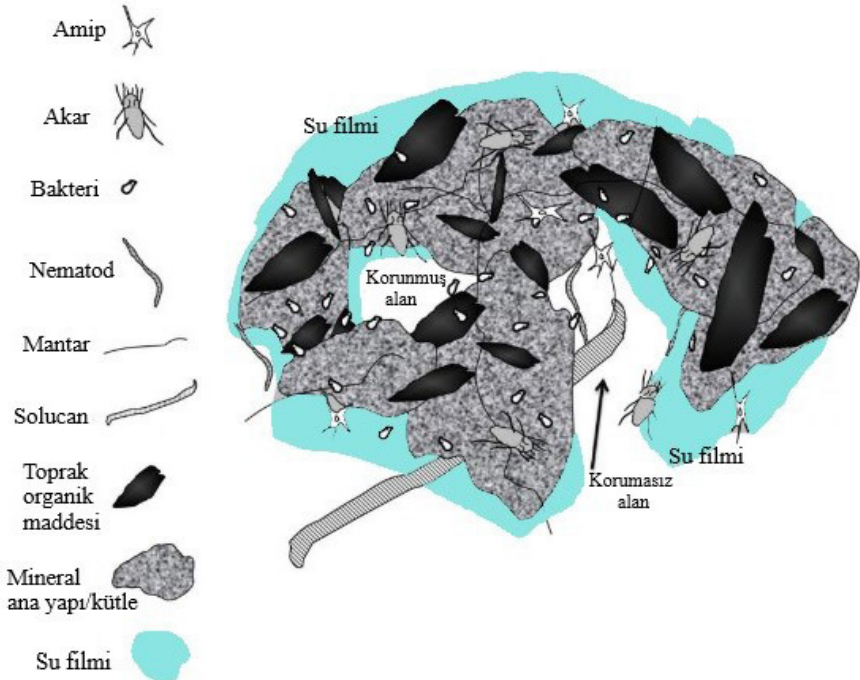
**Tablo 1.** *Topraktaki toprak mikrobiyal biyokütle bileşenlerinin kütlesi (Horwath, 2017’den değiştirilerek).*

<b>Toprak Mikrobiyal Bileşenleri</b>	<b>Ton/Hektar</b>
Bakteriler	1–2
Mantarlar	2–5
Aktinomisetler	1–2
Protozoalar	0.5’e kadar
Nematodlar	0.5’e kadar
Solucanlar	0–2.5
Diğer faunalar (kollembola, akarlar, eklembacaklılar, vb.)	0.5’e kadar

Hem bitkilerin hem de mikroorganizmaların dokularında yaklaşık olarak %45–50 civarında karbon (C) bulunmaktadır. Bitkilerin ve mikroorganizmaların dokularındaki C miktarı nispeten eşit seviyede bulunmaktadır. Öte yandan bitki dokusu tipik olarak %1–3 oranında azot (N) içerirken, mikroorganizmalar %10–15 oranında N içermektedir. Bitki dokusunun yaklaşık %0,2’i fosfor (P) iken, mikroorganizma dokularının %1–1,5’i P’dir. Verilen değerlerden anlaşılacağı üzere mikroorganizmaların dokularındaki N ve P miktarları bitkilere nazaran çok daha fazladır. Toprak mikrobiyal biyokütlesi, farklı habitatlardan ve substratlardan oluşan çok sayıda toprak nişinde yaşamaktadır (Şekil 2). Çoğu toprakta, toprağın mikrobiyal biyokütlesi toplam toprak C’nin yaklaşık %1–5’ini, toplam toprak N’nin yaklaşık %1–10’unu ve toplam toprak P’nin %20–30’unu oluşturmaktadır (Bauhus ve Khanna, 1999; Bardgett, 2005; Horwath, 2017).



**Şekil 1.** Bitkisel besin kaynağı olarak toprak mikrobiyal biyokütlesinin tarım ve orman ekosistemlerine katkısını gösteren şematik gösterim (Singh ve Gupta, 2018'den değiştirilerek).

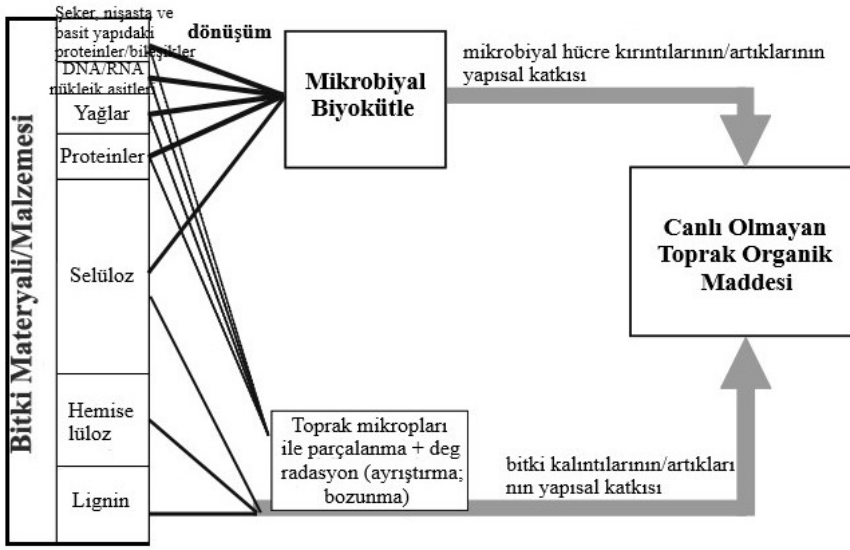


**Şekil 2.** Toprak ekosistemi, farklı habitatlardan ve substratlardan oluşan nişlerin (ekolojik konum/mevki) meydana getirdiği agregat strüktürü oluşturmak üzere birbirini ile etkileşime giren mineraller ve toprak organik maddesinden oluşur (Horwath, 2017'den değiştirilerek).

Yukarıdaki şekilde (Şekil 2) görülebileceği üzere canlı ve cansız faktörlerin bir araya gelmesi ile meydana gelen bu yapıdaki korunan/korunmuş alan, oksijen kaynağından ve substratlardan izole edilmiş bölgedir. Diğer taraftan korunmasız veya sürekli açık gözenekler, bol miktarda gaz değişimine ve substrat akışına sahip olan bölgelerdir (Horwath, 2017).

Bu arada toprak organik maddesi sadece işlevsel olarak tarif edilen hümik maddeler cinsinden tanımlanmamalıdır. Çünkü toprak organik maddesi biyotik ve abiyotik değişimlerin/dönüşümlerin karmaşık bir dizisi tarafından oluşturulan oldukça aromatik makromoleküllerden daha ziyade, toprakta bulunan çeşitli çürüme aşamalarındaki bitki ve mikrobiyal kalıntıların/artıkların komplike bir karışımıdır. Toprak organik maddesinin aktif bir bileşeni olan toprak mikrobiyal biyokütlesi, besin dönüşümlerinde/değişimlerinde ve depolanmasında rol oynar. Mikrobiyal biyokütlenin dönüşümü sırasında açığa çıkan besinler genellikle bitkilerden elde edilebilir (Şekil 3). Örneğin büyük çoğunlukla azot (N) döngüsünün doğal olarak gerçekleştiği karasal ekosistemlerde, mikrobiyal biyokütle, organik azotun (N) bitkiler tarafından alınabilir formlara dönüştürülmesinden sorumludur. Benzer olarak azot (N) kaynaklarına gereksinim duyan tarımsal sistemler de mikrobiyal biyokütle ve onun mahsule/ürüne N sağlama faaliyetlerine ihtiyaç duymaktadır. Gübrelenmiş sistemler de mikrobiyal biyokütle N'nin önemli bir kaynağı ve havuzu olabilmektedir. Öte yandan mikrobiyal biyokütlenin içerdiği karbon, mikrobiyal süreçler için depolanan enerjiyi ifade etmektedir. Bu bağlamda mikrobiyal biyokütle C, potansiyel mikrobiyal aktiviteyi gösterebilmektedir. Ayrıca toprak mikrobiyal biyokütlesi çok daha fazla değişken/kararsız toprak organik maddesine sahip toprak katmanlarında meydana gelen biyokimyasal değişikliklerin büyüklüğünü ve aynı zamanda bitki besin maddeleri deposunu göstermektedir. Bu nedenle, mikrobiyal biyokütlenin miktarı topraktaki organik maddenin degradasyonuna/bozulmasına veya birikmesine işaret edebilmektedir. Toprak mikrobiyal biyokütlesi ve dolayısıyla üst toprağın mikrobiyal aktivitesi toprak sağlığında çok önemli olan bir gösterge konumundadır (Rice vd., 1997; Miltner vd., 2012; Das vd., 2023).





**Şekil 3.** Topraktaki bitki artıklarının parçalanması sırasında karbon (C) akışının kavramsal şeması. Her ne kadar C orijinal olarak bitki organik maddesinden türetilmiş olsa da bu C'nin moleküler özellikleri mikroorganizmalar tarafından işlemden geçirildiğinden mikrobiyal biyokütleden elde edilmektedir (Miltner vd., 2012'den değiştirilerek).

Bunların dışında toplam toprak organik maddesinin %95 kadarı cansız olduğundan ve dolayısıyla nispeten kararlı veya değişime dirençli olduğundan, toprak organik maddesinde ölçülebilir bir değişikliğin gözlemlenmesi için gereken süre on yılları alabilmektedir. Buna karşılık mikrobiyal biyokütle, topraktaki organik maddenin canlı bir bileşeni olmasından dolayı, kısa süreler boyunca yanıt vermeyen toplam organik C ve N ile karşılaştırıldığında toprak yönetimindeki değişikliklerin erken bir göstergesi olabilmektedir. Böylece mikrobiyal biyokütle toprağın bozulma/degradasyon seviyesini belirlemek için tercih edilen mikrobiyolojik bir değişken olarak karşımıza çıkmaktadır (Rice vd., 1997; Sparling, 1997; Balota vd., 2003; Kara ve Bolat, 2007a; Kara vd., 2008; Kara vd., 2010; Bolat vd., 2015b).

Bilindiği üzere bitkilerin ve mikroorganizmaların farklı bileşenleri (selüloz, hemiselüloz, lignin vb.) biyokimyasal olarak çeşitlilik göstermektedir. Ayrıca ölü örtünün parçalanması/ayırıştırılması ile çeşitli enerji ve azot (N) açısından zengin bileşenlerin ortaya çıkarılması için çeşitli enzimlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bundan dolayı hem bitki hem de mikrobiyal biyokütlenin çeşitli bileşenlerinin ayrışması, belirli substratları parçalamak/ayırıştırmak için enzimler kullanma konusunda uzmanlaşmış mikroorganizma grupları tarafından gerçekleştirilmektedir. Bu mikroorganizmalara örnek olarak *Pseudomonas aeruginosa* ve *Burkholderia* sp.

verilebilir. Ayrışmanın ilk aşaması, basit lipitler, şekerler ve nişasta gibi bitki ölü örtüsü basit bileşiklerinin parçalanmasını kapsamaktadır. Lipitler hücre duvarlarının ana bileşenleridir ve ayrışma süreci sırasında hızla parçalanmaları muhtemeldir. Lipitler, yağ asitlerinden kompleks sterollere, fosfolipitlere, kütinlere ve suberinlere kadar uzanan çeşitli bileşik sınıfını temsil etmektedir. Yüksek organik madde içeren topraklar en fazla lipidi ihtiva etmektedir. Killi topraklar kumlu topraklara göre daha fazla lipit içermektedir. Mikroorganizmalar, lipitleri parçalamak için çeşitli lipazlar kullanırlar. Lipit ayrışmasının boyutu, uzun zincirli alifatik yağ asitleri ve fosfolipitlerin nispeten hızlı bir şekilde parçalanmasıyla kimyasal karmaşıklıklarına bağlıdır; kompleks kütin ve suberin ise ayrışmaya karşı dirençlidir. Nişasta, bitkilerde enerji depolama bileşiği olarak kullanılan basit bir polisakkarittir. Amilaz enzimi nişastayı kolaylıkla parçalar. Birçok bakteri ve mantar, çözünmeyen nişastayı çözünebilir, kolayca metabolize edilen glikoza dönüştürmek için amilaz enzimini üretmektedir. Bu bakteriler arasında *Bacillus* (Firmicutes) ve *Pseudomonas*, *Escherichia coli* ve *Serratia marscens* gibi proteobakteriler (*Proteobacteria*) yer almaktadır. Bu bakteriler bitki artıklarını/kalıntılarını parçaladığında, kendi biyokütlelerini oluşturmak için bitki biyokütlesindeki düşük molekül ağırlıklı bileşikler, örneğin nükleik asitleri, lipidleri, proteinleri ve karbonhidratları kullanmaktadır. Bu faaliyeti gerçekleştiren mantarlar arasında ise *Trichoderma* ve *Aspergillus* (her ikisi de Ascomycota şubesinde) ve *Rhizopus* (Zygomycota) bulunmaktadır. Ölü örtünün basit bileşenleri parçalandıktan/ayrıştıktan sonra yani ölü örtüde başka ayrışacak basit bileşiklerin kalmadığı durumda, mikrobiyal biyokütlenin bir alt kümesi daha karmaşık hücre yapılarının ayrışmasını başlatmaktadır. Bitkinin ikincil hücre duvarı hem hemiselüloz, pektinler ve selüloz gibi kompleks polisakkaritleri hem de lignin formundaki kompleks hidrokarbonları ihtiva etmektedir. Yıllık bazda hemiselüloz, pektinler ve selüloz dünyadaki biyosentetik olarak üretilen en büyük polimerleri temsil etmektedir. Hemiselüloz ve pektin, 5-C şekerlerinden veya glikanlardan sentezlenir. Hemiselülozlar, toplu olarak pektinazlar olarak bilinen çeşitli enzimler tarafından basit şekerlere indirgenir. Pektin ve hemiselülozun parçalanması aynı anda gerçekleşmektedir. Hemiselüloz/pektinin ayrışması, hem proteobakteriler (*Proteobacteria*), *Art-hobacter* (*Actinobacteria*) hem de *Bacillus* (Firmicutes) *Erwinia* ve *Pseudomonas*'ı içeren pektinolitik toprak bakterileri tarafından gerçekleştirilir. Bu süreçte faaliyet gösteren toprak mantar çeşitleri de vardır. En yaygın pektinolitik mantarlar *Aspergillus*, *Sclerotina*, *Penicillium* ve *Fusarium* ile *Rhizopus* (Zygomycota) olarak verilebilir. Selüloz bitki hücre duvarının önemli bir bileşenidir ve mikrofibriller halinde bulunur. Selülaz adı verilen bir grup enzim tarafından ayrıştırılmaktadır. *Trichoderma*, *Acremonium celluloyticus*, *Penicillium*, *Fusarium* ve *Agaricu* gibi çok çeşitli mantarlar selülozu kısmen parçalar ve ayrıştırırlar. Ayrıca bakteriler de sınırlı ölçüde

de olsa selülozu parçalama ve ayrıştırma yeteneğine sahiptirler. Bu grup içerisinde en yaygın olan *Cellulomas* (Actinobacteria), *Cellovibrio* ve *Pseudomonas* (Proteobacteria) ile *Bacillus* (Firmicutes) gibi toprak bakterileridir. Anaerobik bakteriler arasında ise *Acetobacter* (Proteobacteria), *Bacteriodes* (Bacteroidetes), *Clostridium* ve *Ruminococcus* (Firmicutes) ile *Fibrobacter* (Fibrobacteres) bulunmaktadır. Lignin, karasal bitkilerin ikincil bir hücre duvarı ile çevrelenmiş karmaşık bir damar dokusu geliştirmesine olanak tanıyan eşsiz bir hidrokarbondur. Ligninin temel yapısı aromatik bir halka ve 3-C yan zincirinden oluşan fenil propanoid birimine dayanmaktadır. Hidrokarbonların rastgele birleşimi, enzimlerin saldırması zor olan hidrofobik, spesifik olmayan bir yapı meydana getirir. Imperfecti (Deuteromycota) ve Ascomycetes (Ascomycota) tarafından temsil edilen mantar lignin parçalayıcıları, ikincil duvar yapısı çökerken açığa çıkan polisakkaritleri tercih ederek tam olmayan bir parçalanma gerçekleştirirler. Buna karşılık kahverengi ve beyaz çürükçül mantarları (Phylum Basidiomycota'dan) daha etkili parçalayıcı/ayrıştırıcıdır. Bunlar polisakkaritleri açığa çıkarmak için lignini demetilasyon yoluyla parçalara ayırırlar/çözerler. Birçok laboratuvar ve saha çalışmasının aksine, doğal ortam şartlarında (in situ) ligninin parçalara ayrılması/ayrıştırılması hızla ilerler ve mikrobiyal büyüme için enerji açısından zengin polisakkaritleri ve besin maddelerini açığa çıkarmaktadır (Horwath ve Elliott, 1996; Miltner vd., 2012; Horwath, 2017).

Yukarıda ifade edilmeye çalışıldığı üzere toprak mikrobiyal biyokütlesinin en önemli işlevi bitki, mikrobiyal ve toprak organik maddesinin ayrıştırılmasını gerçekleştirmesidir. Nitekim ayrışma süreçleri sırasında mikrobiyal biyokütle, bitki ölü örtülerinden besin maddelerini alır (immobilizasyon/hareketsizleştirir) ve serbest bırakır (mineralleştirir). Bu son derece önemli olan aktivite olmadan, ölü bitki biyokütlesi veya diğer bir adıyla ölü örtü alanda birikebileceğinden net birincil üretim (NPP) ve net ikincil üretim (NSP) için gerekli olan besinlerin alınabilirliği/mevcudiyeti kısıtlanabilecektir. Besin maddelerinin ölü örtüden mineralizasyonu ölü örtünün kalitesine bağlıdır. Bununla birlikte parçaların/kırıntıların kalitesi öncelikle azot (N) içeriğiyle ilgilidir. Hem bitki hem de mikrobiyal dokudaki toplam N'nin çoğunluğunu proteinler içermektedir. Bitki proteinlerinin %70'e kadarı, yapraklardaki fotosentetik enzim ribuloz bifosfazda bulunmaktadır. Öte yandan mikroorganizmalar %55'e kadar protein içermektedir. Birikmiş/depolanmış ölü örtü perspektifinden bakıldığında, ayrışma sırasında mineralizasyonun optimal bir şekilde gerçekleşebilmesi için gerekli sınır değer 25:1'lik bir C:N oranının altıdır. Ayrıca ölü örtünün lignin içeriğinin artmasıyla N mineralizasyonunu da tahmin edilebilmektedir. Nitekim ölü örtünün bileşimindeki lignin miktarının artması daha az N mineralizasyonuna yol açmaktadır (Jensen vd., 2005; Horwath, 2017).

## 2. MİKROBİYAL BİYOKÜTLEYİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Daha önceki bölümde mikrobiyal biyokütlenin ekosistemde çok önemli fonksiyonları yerine getirdiği izah edilmeye çalışılmıştır. Toprağın yaşayan mikrobiyal bileşeni olarak tanımlanan toprak mikrobiyal biyokütlesi, ölü örtünün ayrışmasından, besin döngüsünden ve enerji akışından sorumlu olan toprak ekosisteminin birincil temsilcisidir. Başka bir anlatımla hem organik maddenin dönüşümü hem de karbon ve diğer mineral besinlerin depolanmasını düzenleyen toprağın mikrobiyal biyokütlesi, ekosistemde enerji transferi ve besin döngüsü üzerinde büyük bir etkiye sahip bulunmaktadır. Bu işlevler, besin ağının her düzeyinde ekosistemin üretkenliğini veya net birincil üretimi sürdürmek için kritik öneme sahiptir. Dolayısıyla mikrobiyal biyokütlenin genellikle bitki büyümesi üzerinde faydalı etkileri bulunmaktadır. Net birincil üreticiler toprağa yapılan yıllık C girdisinin çoğunluğundan sorumludur. Bitki ölü örtüsü, sızıntı ve sızıntı sularının belirli moleküler yapılarını ve bileşenlerini parçalayabilen ve kullanabilen bir mikro ve makro veya fauna konsorsiyumu bulunmaktadır. Toprak mikrobiyal biyokütlesi hem serbest yaşayan hem de mikro ve makro faunanın sindirim yollarının temel simbiyotik bileşenleri olan toprak besin ağı boyunca önemli bir oyuncudur. Mesela termitlerdeki bağırsakta yaşayan bakteriler, selüloz gibi ikincil hücre duvarı polisakkaritlerini parçalayan simbiyozun bir örneğidir. Net birincil üretim (NPP) döngüsü/dolaşımı, net ikincil üretim (NSP) olarak adlandırılan, topraktaki mikroorganizmaların yeni biyokütle oluşturması için enerji kaynağı ve substrat sağlar. Toprak biyokütlesinin ayrıştırıcı faaliyeti günler ile on yıllar arasında değişmektedir. Gerçekleşen bu faaliyet sıcaklığa ve neme son derece bağlıdır ve genellikle de bunlar tarafından düzenlenir. Net birincil üretimin (NPP) ve net ikincil üretimin (NSP) yalnızca küçük bir kısmı su tutma kapasitesi ve temel besin maddelerinin hem yapısında hem de iyon değişimi yoluyla depolanması gibi toprak özelliklerine değişiklikler kazandıran başka bir ekosistem özelliği olan toprak organik maddesine (SOM) dönüştürülür. Bu ayrışma sürecinden sonra kalan C, net ekosistem üretimidir (NEP). Net ekosistem üretimi (NEP) dinamiktir ve öncelikle iklimden ve ikincil olarak toprak mineralojisi gibi edafik faktörlerden etkilenen bir ekosistem özelliği olma eğilimindedir (Rasmussen vd., 2005). Net ekosistem üretimini (NEP) etkileyen diğer toprak, çevresel ve organizma faktörleri Tablo 2’de verilmiştir (Horwath, 2017). Tabloda (Tablo 2) verilenlerden anlaşılacağı üzere net ekosistem üretimini (NEP) gerçekleştiren toprak mikrobiyal biyokütlesini etkileyen çok sayıda faktör bulunmaktadır. Aşağıda bu faktörlerden bazılarının toprak mikrobiyal biyokütlesini nasıl etkiledikleri konusunda açıklamalara yer verilmiştir.

**Tablo 2.** *Toprak mikrobiyal biyokütlesinin faaliyetini ve dağılımını etkileyen toprak, çevre ve canlı faktörler (Horwath, 2017'den değiştirilerek).*

Toprak Faktörü	Çevre Faktörü	Organizma/Canlı Faktörü
Mineraloji	Yağış	Bitki örtüsü
Anakaya	Sıcaklık	Net birincil üretim
Toprak yaşı	Yağmur gölgesi/Yağış azlığı	Bitki örtüsü geçmişi
Topografya/Yer yüzü şekli	Bakı (kuzey, güney vb.)	Hayvan (otlatma)
Toprak reaksiyonu (pH)	Yükselti	İnsan etkisi
Su tutma kapasitesi	Manzara/Peyzaj çöküntüsü	Hayvan (tünel kazma/açma)
İnfiltrasyon	Su kaynakları	
Tane büyüklüğü (kum, toz ve kil)	Yangın tahribatı/geçmişi	
Hacim ağırlığı	Kültivasyon/Bitki yetiştirme	
Toprak organik madde içeriği	Nehir kıyısı etkisi/Kıyı etkisi	
Verimliliği	Çevre kirliliği/Kirlilik	
Erozyon		

### 2.1. Sıcaklık ve Nemde/Yağışta Meydana Gelen Değişimler

Organik substratların (glikoz, protein, karbohidrat gibi maddeler) yanı sıra sıcaklık ve nem de büyük bir çoğunlukla topraktaki mikrobiyal biyokütle miktarına etki etmektedir. Nitekim toprak mikrobiyal biyokütlesinin çoğunlukla toprağın kurumasıyla azaldığı ve yeniden ıslandığında/nemlendiğinde arttığı bildirilmektedir. Bununla birlikte kuru toprakların yeniden ıslanması durumundaki reaksiyon, mikrobiyal canlıların çoğalması açısından birbirilerine göre farklılık gösterirken, son derece de hızlı olabilmektedir; bakteriyel biyokütle bazen birkaç saat içinde ikiye katlanırken, mantar biyokütlesi birkaç gün içinde ikiye katlanmaktadır (Wardle ve Parkinson 1990; Wardle, 1992). Ancak toprak nemi ile mikrobiyal biyokütle arasındaki pozitif ilişkiler her zaman ve her yerde geçerli değildir ve bazen bu değişkenler arasında negatif ilişkiler de tespit edilmiştir. Görünüşte olumsuz olan bu ilişkiler, yüksek toprak nemi koşullarında mikrobivori (mikrobivori: mezofauna, mikrofauna ve meiofauna hayvanları tarafından uygulanan mikropları (özellikle bakterileri) yemekten oluşan bir beslenme davranışına verilen isimdir.) beslenme davranışının artmasından veya kuraklığa dayanıklı mantarların büyümesini teşvik edebilecek bitki köklerinin uzun süreli kurak dönemlerinde ölmesinden kaynaklana-

bilmektedir (Clarholm ve Rosswall, 1980; Raghubanshi, 1991; Wardle, 1992). Açıklamalardan anlaşılacağı üzere substrat kalitesi ve miktarının yanı sıra çevresel koşullar da mikrobiyal biyokütleyi ve aktiviteyi etkileyebilmektedir. Bu faktörlerden biri olan nem koşulları topraktaki mikroorganizmaların hayatta kalmasını ve aktivitesini kontrol eden önemli bir değişkendir. Yeterli toprak nemi mikrobiyal biyokütleyi ve aktiviteyi artırmaktadır. Ancak tarla kapasitesinin üstünde, sınırlı oksijen mevcudiyetinin olması nedeniyle mikrobiyal aktivite artan nemle birlikte azalmaktadır. Örneğin bir çalışmada otlak/mera toprağının %50–60 su tutma kapasitesine kadar nemlendirildiği koşullarda mikrobiyal biyokütlenin arttığı ancak toprakların aşamalı kuruma koşullarına maruz kaldıkça mikrobiyal biyokütlenin büyük ölçüde azaldığı bildirilmektedir. Bu değişkenliğin sebebinin ise toprak mikroorganizmalarının çoğunun düşük nem koşullarını tolere edememelerinden ve toprağın kuruması sırasındaki kuruma stresinden kaynaklandığı ileri sürülmektedir (Jiang-shan vd., 2005). Öte yandan, sıcaklığın mikrobiyal biyokütle üzerindeki etkilerine ilişkin yapılan farklı çalışmalar, mikrobiyal biyokütlenin sıcaklık artışlarıyla arttığını, azaldığını veya herhangi bir etkisinin olmadığını bildirmektedir. Mesela coğrafi olarak birbirine bitişik bir bölgede yapılan çalışmada (Dalal ve Mayer, 1987), mikrobiyal biyokütlenin yıllık ortalama yağışın artmasıyla arttığı bulunmuş; buna karşın yarı kurak subtropikal ortamda yıllık ortalama sıcaklığın 20°C'nin üzerine çıkacak şekilde artmasıyla birlikte düşüş gösterdiği tespit edilmiştir. Yapılan başka bir çalışmada da (Alvarez vd., 1995), sıcaklığın 10°C'den 20°C'ye çıkmasıyla mikrobiyal biyokütle miktarının toprakta 300 mg kg<sup>-1</sup>'den 200 mg kg<sup>-1</sup>'a düştüğü bildirilmektedir. Öte yandan yapılan bir çalışmada yüksek sıcaklıklarda mikrobiyal aktivitenin artacağı ve böylece substrat ayrışmasının hızlanacağı, bunun sonucunun da daha fazla mikrobiyal biyokütle ve/veya daha düşük C/N oranına sahip biyokütle üretimine yol açabileceği ileri sürülmektedir (Verburg vd., 1999). Kandeler vd. (1998) ve Contin vd. (2000) yaptıkları çalışmalarda hem mikrobiyal biyokütle C'nin hem de N'nin sıcaklığa nispeten duyarlı olduğunu ve dolayısıyla sıcaklığın mikrobiyal biyokütle C ve N üzerinde hiçbir etkisinin olmadığını bulmuşlardır. Genel olarak denilebilir ki, artan sıcaklıkla birlikte mikrobiyal biyokütle içeriğinin yükselme eğilimi, arazi çalışmalarından ziyade laboratuvar deneylerinde daha belirgin bir şekilde ortaya çıkmaktadır. Çünkü gerek iklimsel ve gerekse hidrolojik koşullar ile toprak tekstürü ve diğer toprak özellikleri, arazi şartlarında mikrobiyal biyokütlenin sıcaklıkta meydana gelen farklılığa olan tepkisini değiştirebilmekte ve hatta gizleyebilmektedir (Jiang-shan vd., 2005).

Toprak mikrobiyal biyokütlesindeki mevsimsel dalgalanmalar, çoğunlukla substrat miktarındaki, sıcaklık ve nemdeki değişikliklerden meydana gelmektedir. Örneğin Lynch ve Panting (1982), mikrobiyal bi-

yokütle miktarının maksimum kök biyokütlesi zamanında en yüksek değerine ulaştığını ve daha sonra azaldığını bulmuşlardır. Zogg vd. (1997) de mevsimsel değişikliklerin (sıcaklık, nem ve substrat tedarigi) toprak mikrobiyal biyokütlesinin hem bileşimini hem de işlevini değiştirdiğini bildirmektedirler. Mevsimsel dalgalanmalar/değişiklikler herhangi bir ekosistemin mikrobiyal biyokütle C miktarı üzerinde önemli bir etki oluşturabilmektedir (Kujur ve Patel, 2012). Nitekim mikrobiyal biyokütlenin mevsimsel değişikliklere tepkisi, mikrobiyal dolaşımın düzenlenmesinde ortaya çıkmaktadır; bu da besin maddelerinin alınabilirliğini ve sonuçta bitki beslenmesini etkileyebilmektedir. Mevsimsel değişiklik mikrobiyal canlıların değişen toprak nemi ve sıcaklığına karşı verecekleri tepkilere yol açarak doğrudan veya bitki verimliliğini ve dolayısıyla organik madde salınımının mevsimsel düzenini etkileyerek dolaylı olarak değişikliğe neden olmaktadır. Genel olarak hiçbir çalışma mikrobiyal biyokütlenin kışın maksimum seviyeye ulaştığını ortaya koymasa da kış mevsimine ait mikrobiyal biyokütle değerleri çoğunlukla yılın diğer zamanlarındaki değerlerinden önemli ölçüde farklı da çıkmamaktadır. Belirgin mevsimsel yağış düzenine sahip daha sıcak alanlar, toprak nemine olumlu ya da olumsuz tepkiler göstermektedir (Wardle, 1992).

Mevsimsel değişikliğin hem orman ölü örtüsündeki hem de topraktaki mikrobiyal biyokütle C, N ve P içeriklerini etkileyip etkilemediğini araştıran çalışmalar Türkiye’de de mevcuttur (Bolat, 2011; Bolat vd., 2015a; Bolat vd., 2020; Bolat vd., 2022). Bunlardan bir tanesinde kayın orman alanına ait toprakların mikrobiyal biyokütle C ( $C_{mic}$ ), N ( $N_{mic}$ ) ve P ( $P_{mic}$ )’nin mevsimsel değişimi adlı çalışmada toprağın ortalama en yüksek  $C_{mic}$ ,  $N_{mic}$  ve  $P_{mic}$  içeriklerinin sonbaharda ( $C_{mic}$ : 650,51;  $N_{mic}$ : 128,39 ve  $P_{mic}$ : 30,77  $\mu\text{g g}^{-1}$ ), en düşük değerlerin ise ilkbaharda ( $C_{mic}$ : 516,75;  $N_{mic}$ : 83,33 ve  $P_{mic}$ : 21,40  $\mu\text{g g}^{-1}$ ) olduğu ortaya çıkmıştır. Bu değişimin nedeni, özellikle ilkbahar mevsiminde topraktaki organik C, toplam N ve kullanılabilir P konsantrasyonlarının daha düşük olmasıyla açıklanmıştır. Öte yandan çalışmada mikrobiyal biyokütle ile toprak nemi, toprak sıcaklığı, organik C, toplam N ve kullanılabilir P arasında pozitif bir korelasyon olduğu vurgulanmaktadır. Bu sonuçlar, yukarıda ifade edilen değişkenlerle birlikte hem toprak sıcaklığının hem de neminin toprağın  $C_{mic}$ ,  $N_{mic}$  ve  $P_{mic}$  miktarlarını etkilediğini göstermektedir (Bolat vd., 2022). Toprak mikrobiyal biyokütle karbon miktarı ve bunun orman ekosistemlerindeki iklimsel ve diğer çevresel faktörlerle ilişkisi adlı çalışmada, mikrobiyal biyokütle C miktarları, farklı orman türlerinde yıllık ortalama sıcaklığın (YOS-°C) artmasıyla birlikte artış eğilimi gösterirken, yıllık ortalama yağışın (YOY-mm) artmasıyla birlikte mikrobiyal biyokütle karbon miktarları önemli ölçüde azalış göstermiştir. Yıllık ortalama sıcaklığın (YOS-°C) 10°C’nin altında olduğu alanlarda, mikrobiyal biyokütle C miktarı 55–1360 mg



kg<sup>-1</sup> arasında, 10–20°C aralığında 64,19–1649 mg kg<sup>-1</sup> arasında, 20–30°C aralığında 125,5–2102,25 mg kg<sup>-1</sup> arasında ve 30°C'nin üzerinde sıcaklıklarda 76,8–832,39 mg kg<sup>-1</sup> arasında değişim göstermektedir. Bu sonuçlardan da anlaşılacağı üzere, yapılan çalışma toprak mikrobiyal biyokütle C miktarında belirgin mevsimsel dalgalanmaların olduğunu işaret etmektedir. Nitekim söz konusu çalışmada mikrobiyal C miktarlarının yağışlı mevsimlerde kış mevsimlerine göre çok daha yüksek olduğu bildirilmektedir. Bakteri ve mantar popülasyonlarıyla karşılaştırıldığında mikrobiyal biyokütle C, yaz ve muson mevsiminde (mayıs ortasından kasım sonuna kadar geçen zaman) büyüme eğilimi göstermektedir. Mikrobiyal biyokütle C ve mantar büyümesinin, bakteri popülasyonlarına göre daha yüksek çoğalma değerlerine sahip olduğu ortaya çıkmıştır. Ancak tropikal kurak orman (TKO), tropikal nehir kıyısı (riparian) ormanı (TNKO), geniş yapraklı ve karışık orman (GYKO) ve karışık orman (KO) alanlarında en yüksek mikrobiyal biyokütle değerleri ilkbahar başında veya yaz aylarında gözlenirken, subtropikal nemli orman (SNO), alpin çayır ormanı (AÇO), tropikal ıslak herdem yeşil orman (TIHYO) ve subtropikal dağ orman (SDO) alanında maksimum değerler kış aylarında kaydedilmiştir. Ayrıca bu çalışmada (Das vd., 2023) toprak mikrobiyal biyokütle C miktarının yıllık ortalama yağışın (YOY–mm) 1000 mm'nin altında olduğu yetişme ortamlarında/alanlarda daha yüksek olduğu bildirilmektedir. Bununla birlikte yağış miktarının artmasıyla mikrobiyal biyokütle C'nin azalış eğilimine geçtiğinden söz edilmektedir. Bunun nedeninin daha fazla yağışın (>1000 mm) ölü örtüyü ve organik maddeyi yüzeysel akış ile alandan uzaklaştırması ile mikrobiyal popülasyonu veya topraktaki mikroorganizmaları yıkayıp toprağın derinlerine kadar taşınmasından ileri geldiği vurgulanmaktadır. Dolayısıyla gerçekleşen yıkanma olayının sonucunda toprağın horizonlarında mikrobiyal biyokütle C miktarının azalması gerçekleşmektedir.

Yapılan çalışmalarda toprak mikrobiyal biyokütle C miktarının yükselti ile farklılık gösterdiği bildirilmektedir (Das vd., 2023). Nitekim en yüksek toprak mikrobiyal biyokütle C miktarı alçak rakımlarda (deniz seviyesinden; <500 m ve 500–1000 m yükselti aralığında) kaydedilirken, en düşük biyokütle C miktarı 1000–2000 m rakım aralığı ile 2000 m> daha yüksek rakımlarda tespit edilmiştir. Netice olarak, bu çalışmada toprak mikrobiyal biyokütle C miktarlarının yükseltinin yani rakımın artmasıyla birlikte düştüğü, toprak organik C miktarlarının ise rakım/yükselti ile ters ilişki göstererek artış yönünde bir eğilim gösterdiği ortaya çıkmıştır. Buna karşılık yapılan başka bir çalışmada yükseltinin (rakımın) artmasıyla birlikte toprağın mikrobiyal biyokütle C miktarının da arttığı bildirilmektedir. Mikrobiyal biyokütle C miktarında gözlemlenen bu artışının sebebinin yükselti ile toprağın organik C içeriğinde meydana gelen artıştan kaynaklanabileceği tahmin edilmektedir. Çünkü söz konusu çalışmada toprak or-



ganik C içeriği ile mikrobiyal biyokütle C miktarı arasında pozitif bir korelasyonun olduğu ifade edilmektedir. Ayrıca çalışmanın yazarlarına göre, yükselti toprak sıcaklığı ve neminde değişikliğe yol açtığından, ayrışma şartlarına tesir ederek besin maddesi alınabilirliğini, toprak mikrobiyal biyokütle miktarı ve faaliyetini etkilemektedir (Bolat ve Öztürk, 2017). Benzer olarak Anderson (2003), organizmaların her metabolik aktivitesinin mevcut/alınabilir karbon kaynaklarına bağlı olduğunu vurgulamakta ve mikrobiyal biyokütle C ile toplam C arasında çok yakın bir niceliksel ilişkinin bulunduğundan bahsetmektedir.

Das vd. (2023) bugüne kadar yapılan çalışmalardan elde edilen mikrobiyal biyokütle C verilerine dayanarak dünyada on farklı iklim şartlarının olduğunu bildirmektedirler. Bunlar yaş/ıslak ve kuru tropikal iklim, yaş/ıslak tropikal iklim, kuru tropikal iklim, sıcak nemli tropikal iklim, tropikal muson ve nemli iklim, subtropikal muson iklimi, subtropikal nemli muson iklimi, subtropikal muson sıcak ve kurak iklim, ılıman iklim ve deniz iklimidir. Bu iklim tiplerinden mikrobiyal biyokütle C miktarının sıcak nemli tropikal iklimde daha yüksek olduğu, ardından tropikal muson ve nemli iklim, subtropikal muson sıcak ve kuru iklim, ılıman iklim, subtropikal muson iklimi, ıslak ve kuru tropikal iklim, subtropikal nemli muson iklimi, ıslak tropikal iklim, kuru tropikal iklim ve deniz ikliminin geldiği tespit edilmiştir (Tablo 3).

**Tablo 3.** Farklı iklim koşullarına bağlı olarak toprak mikrobiyal biyokütle karbon ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) aralığı (Das vd., 2023'ten değiştirilerek).

Orman Tipleri	Mikrobiyal Biyokütle C ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) Aralıkları
Yaş/ıslak ve kuru tropikal iklim	127,0–1453,5
Yaş/ıslak tropikal iklim	125,5–1094,0
Kuru tropikal iklim	278,27–981,78
Sıcak nemli tropikal iklim	262,5–2214,4
Tropikal muson ve nemli iklim	207,5–2156,0
Subtropikal muson iklimi	161,66–1500,0
Subtropikal nemli muson iklimi	64,19–1380,86
Subtropikal muson sıcak ve kurak iklim	506,63–2102,25
İlman iklim	80,0–1602,16
Deniz iklimi	58,2–724,0

## 2.2. Toprak Türü, Toprağın Tane Büyüklüğü ve Toprak Derinliği

Mikrobiyal biyokütlenin bulunduğu ortam olan toprak, mikrobiyal kütle için en az üç fonksiyonu yerine getirmektedir: (1) mikrobiyal biyokütleyi muhafaza etmek için bir hacimsel mekân sağlar, (2) substratları (glikoz, protein ve karbonhidratlar vb.) mikrobiyal hücrelerin yakınında tutar, (3) ve biyosentetik reaksiyonlar için metabolik ürünlerin verimli kullanılmasına yönelik bir ortam sağlar. Bu bağlamda toprak tekstürünün toprağın mikrobiyal biyokütlesini etkilediği sıklıkla ifade edilmektedir. Nitekim ince tekstürlü yüksek kil içeriğine sahip topraklar, daha kaba tekstürlü topraklarla karşılaştırıldığında aynı miktardaki substrat ilavesi ile daha hızlı biyokütle oluşumunu teşvik etme eğilimindedirler. Bu durum, kilin organik ürünlerin dolaşımını engelleme ve böylece mikrobiyal biyokütlenin tutulmasını artırma, besinleri absorbe etme, ayrışmayı azaltma ve dolayısıyla mikroorganizmaları mikrobivori (mikrobivori: mezofauna, mikrofauna ve meiofauna hayvanları tarafından uygulanan mikropları (özellikle bakterileri) yemekten oluşan bir beslenme davranışına verilen isimdir.) beslenme davranışının artmasına karşı koruma konusundaki yüksek yetenekleri gibi bir dizi nedene bağlanmıştır. O yüzden yapılan çalışmalarda mikrobiyal biyokütle karbonunun genellikle topraktaki kil içeriğiyle önemli ölçüde ilişkili olduğu bildirilmektedir. Bir diğer ifadeyle mikrobiyal biyokütle miktarı genellikle toprağın kil içeriğinin artmasıyla birlikte artış göstermektedir. Bu durum bizlere kilin mikrobiyal biyokütleyi arttırmadaki temel rolünün kesinlikle kilin organik maddeyi tutma konusundaki üstün kabiliyeti ile bağlantılı olduğunu göstermektedir. Buna rağmen mikrobiyal biyokütledeki bu artış kil içeriğinin artış göstermesine bağlı olarak süreklilik arz etmemekte; hatta azalışa bile geçebilmektedir. Ancak, nispeten bozulmamış yani bakir ekosistemlerde %50 kil içeriğine sahip topraklarda, mikrobiyal biyokütle içeriklerinde normalin üstünde bir değerlere ulaşıldığı görülmektedir. Öte yandan %50'den fazla kil içeren topraklarda mikrobiyal biyokütle miktarını içeren veriler de sınırlı sayıdadır. İyi agregatlanmış tozlu balçıklı topraklarda mikrobiyal biyokütle genellikle 0,020–0,002 mm'lik tane boyutu fraksiyonlarında en fazla düzeylerde; ancak agregat boyutu küçüldükçe mikrobiyal oran da artış göstermektedir (Wardle, 1992; Dalal, 1998). Örneğin Van Gestel vd. (1996) tarafından yapılan çalışmada, mikrobiyal biyokütle C'nin 0,2 mm'den büyük (>0,2 mm) fraksiyonuna sahip toprakta 122 mg kg<sup>-1</sup>, 0,020–0,002 mm fraksiyonuna sahip toprakta 328 mg kg<sup>-1</sup>, buna karşın 0,002 mm'den küçük (<0,002 mm) fraksiyona sahip toprakta ise yalnızca 132,5 mg kg<sup>-1</sup> olduğu tespit etmiştir (Tablo 2). Bununla birlikte aynı çalışmada, tozlu balçıklı toprakta fraksiyon boyutu >0,200 mm'den <0,002 mm'ye düştükçe mikrobiyal oranın %1,5'ten %4,1'e istikrarlı bir şekilde arttığı bildirilmektedir (Tablo 4).

**Tablo 4.** Tozlu balçıklı türde bir toprağın çeşitli tane fraksiyonlarındaki mikrobiyal biyokütle karbon ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) ve mikrobiyal oran (%) değerleri (Van Gestel vd., 1996'dan değiştirilerek).

Toprak Tane Büyüklüğü (mm)	Mikrobiyal Biyokütle C ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	Mikrobiyal Oran (Biyokütle C/Organik C) (%)
> 0,2	122,0	1,5
0,2–0,05	283,0	1,8
0,05–0,02	63,9	2,3
0,02–0,002	327,5	2,6
< 0,002	132,5	4,1
Bütün toprak örneği	873,0	2,0

Bir diğer çalışmada toprak tekstürüne göre toprak mantar türlerinin farklılık gösterdiği ifade edilmektedir. Söz konusu çalışmada killi türdeki toprakta *Penicillium*, *Aspergillus* ve *Gliocladium* cinslerinin daha ağırlıklı olarak bulunduğu, kumlu-tozlu türdeki toprakta ise daha çok *Fusarium* cinsinin bulunduğu tespit edilmiştir (Kara ve Bolat, 2007b). Sonuç olarak karbon döngüsü, mikrobiyal biyokütle dönüşümü ve oluşumu toprak tekstürü tarafından kontrol edilebilmekte ve genellikle de bunların toprağın kil içeriğiyle bağlantılı olduğu görülmektedir. Çünkü kil mineralleri topraktaki organik maddeleri adsorbe edebilmekte, pH değişimini tamponlayabilmekte ve bakteriyel hücrelerin etrafında hücreler oluşturarak organik maddelerin bozulmasını en aza indirebilmekte veya mikrobivori (mikrobivori: mezofauna, mikrofauna ve meiofauna hayvanları tarafından uygulanan mikropları (özellikle bakterileri) yemekten oluşan bir beslenme davranışına verilen isimdir.) beslenme davranışının artmasına karşı koruma sağlayabilmektedir (Jiang-shan vd., 2005).

Toprak derinlikleri de toprak mikrobiyal biyokütle C miktarı üzerinde büyük etkiye sahip olup, mikrobiyal biyokütle C miktarı derinliğin artmasıyla birlikte azalma eğilimi göstermektedir. Nitekim yapılan bir çalışmada mikrobiyal biyokütle C miktarı çalışmaya konu olan tüm orman kategorilerinde toprak profilinin en üstünde daha fazla, profilin alt katmalarında ise daha düşük bulunmuştur. Bu durum bir toprak profilinde profilinin alt derinlik kademelerinin daha düşük karbon ve azot içeriğine, buna karşın profilin üst kısmının humuslu olan nispeten daha fazla organik maddeye sahip olmasıyla açıklanmıştır. Ayrıca çalışmadaki veriler en yüksek mikrobiyal biyokütle C miktarının 0–20 cm toprak derinliğinde olduğu, en düşük mikrobiyal biyokütle C miktarının 30 ile 60 cm arasındaki derinlik ile 60 cm'den daha aşağılardaki toprak derinliklerinde olduğunu bildirmektedir (Das vd., 2023). Ladin ormanında (*Picea orientalis* L.) yapılan bir çalışmada ise toprakların mikrobiyal biyokütle C içerikleri, 0–15 cm derinlik

kademesinde 437,40–1315,20  $\mu\text{g g}^{-1}$  arasında (ortalama  $725,4801 \pm 102,05 \mu\text{g g}^{-1}$ ), 15–30 cm derinlik kademesinde 194,20–578,20  $\mu\text{g g}^{-1}$  arasında (ortalama  $321,55 \pm 42,85 \mu\text{g g}^{-1}$ ) değişim gösterdiği tespit edilmiştir. Toprak derinliğine göre istatistiksel olarak aralarında önemli bir fark ( $P < 0,05$ ) saptanmıştır. 15–30 cm toprak derinliğinde mikrobiyal biyokütle karbonun düşük çıkmasının nedeni, bu derinlik kademesinde organik karbon içeriğinin düşük çıkmasıyla açıklanmıştır (Çakıroğlu vd., 2022). Lopes vd. (2010) tarafından doğal orman alanında yapılan çalışmada mikrobiyal biyokütle C, 0–10 cm toprak derinliğinde 85,5  $\text{mg kg}^{-1}$  ve 10–20 cm toprak derinliğinde 48,6  $\text{mg kg}^{-1}$  olarak bulunmuştur. Çalışmada  $C_{\text{mic}}$ 'in toprak derinliğinin artmasıyla azalış gösterdiği vurgulanmaktadır. Benzer olarak Fang ve Moncrieff (2005) tarafından sitka ladini (*Picea sitchensis* (Bong.) Carr.) ormanlarında yapılan bir çalışmada mikrobiyal biyokütle C'nin toprak derinliğinin artmasıyla birlikte azalış gösterdiği bildirilmektedir. Çalışmada mikrobiyal biyokütle C, 0–8 cm derinlikte 626,6  $\mu\text{g g}^{-1}$ ; 8–16 cm derinlikte 462,6  $\mu\text{g g}^{-1}$ ; 16–24 cm derinlikte 387,6  $\mu\text{g g}^{-1}$ ; 24–32 cm derinlikte 273,0  $\mu\text{g g}^{-1}$  olarak bulunmuştur.

### 2.3. Bitki Örtüsü, Arazi Kullanım Biçimi ve Toprak Strüktürü

Toprak mikrobiyal biyokütlesi alan/toprak üzerinde vejetasyonun olup olmasından ve mevcut vejetasyonun çeşitlinden etkilenmektedir. Çünkü bitki örtüsünün, ekseriyetle toprağın mikrobiyal biyokütlesi üzerinde önemli olan uyarıcı bir etkisi bulunmaktadır ve bu durum, rizosferin toprak sistemini sürekli olarak hazır karbon (C) ve azot (N) formlarıyla “beslemesi” ile sağlanmaktadır. Bununla birlikte, mikrobiyal biyokütle çoğunlukla kökün yalnızca hızla büyüyen kısmında artış gösterirken, köklerin zamanla yaşlanmasıyla birlikte ve köklerden daha uzak mesafelerde mikrobiyal popülasyonlarda azalmalar meydana gelmektedir. Bitkilerin kök bölgelerinde mikrobiyal biyokütle miktarının yüksek olması, rizosferden salınan substratların büyük bir kısmının mikroflora tarafından kolaylıkla kullanılabilmesini göstermektedir. Yapılan çalışmaların çoğunda mikrobiyal biyokütlenin bitki (ve özellikle kök) biyokütlesi ile güçlü ve pozitif korelasyonlar gösterdiği görülmektedir. Örneğin nadasa bırakılan tarıma elverişli sistemlerin genellikle nadasa bırakılmayarak ekilen sistemlere göre çok daha düşük mikrobiyal biyokütle veya biyokütle karbon/organik karbon değerlerine sahip olduğu vurgulanmaktadır (Srivastava ve Singh, 1991; Wardle ve Parkinson, 1992; Wardle, 1992; Kara vd., 2008). Öte yandan bitki türlerinin ölü örtü kalitesi (örneğin C/N oranı) farklı olduğundan, farklı bitki türlerine bağlı olarak ekosistemlerin toprak mikroorganizmaları genellikle değişken miktarlarda mikrobiyal biyokütleye sahip olabilmektedir. Nitekim Bauhus vd. (1998) tarafından yapılan çalışmada mikrobiyal biyokütlenin hem ölü örtü ve toprak örnekleri arasında hem de iğne yapraklı ve yapraklı ağaçlara ait ölü örtü ve toprak örnekleri arasında farklılık

gösterdiği ifade edilirken, iğne yapraklı (kozalaklı) ağaçların altında mikrobiyal biyokütlenin daha az olduğu ifade edilmektedir. Sonuçta benzer çevre ve toprak koşullarında bile, farklı bitki türleri mikrobiyal biyokütleyi büyük oranda etkilemektedir. Ayrıca aynı çalışmada her bitkinin kimyasal yapısının (selüloz, hemiselüloz, yağ ve lignin gibi) farklı olmasından dolayı, mikrobiyal biyokütlenin ölü örtüye ait olan organik dokudaki C/N veya lignin/N oranlarının artmasıyla azalış gösterdiği vurgulanmaktadır. Türkiye'nin kuzeybatısındaki ılıman ormanlarda ölü örtü ayrışması ve mikrobiyal biyokütle miktarının araştırıldığı bir çalışmada, kayın yaprakların diğer ağaç türlerinin yapraklarına göre daha fazla lignin içeriğine sahip olduğu ifade edilmektedir. Çalışma sonucunda kayın yapraklarının ayrışmasının saf göknar meşçeresine kıyasla daha yavaş gerçekleştiği ve bu durumun da ölü örtü kalitesini, mikrobiyal biyokütleyi ve aktiviteyi etkilediği bildirilmektedir (Kara vd., 2014). Yapılan başka bir çalışmada ortalama toprak mikrobiyal biyokütle C ( $C_{mic}$ ) ve mikrobiyal biyokütle N ( $N_{mic}$ ) miktarı, sapsız meşe (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) alanına ait topraklarda kızılalağaç (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.) alanına ait topraklara göre sırasıyla yaklaşık %38 ve %57 daha yüksek bulunmuştur. Toprak mikrobiyal biyokütle miktarında ortaya çıkan bu farklılığın sebebinin bitki örtüsü çeşidi, iklim, arazi kullanım tipi ile sıcaklık, organik C, toprak reaksiyonu (pH), kil mineralleri ve yıkanma olayları gibi toprak özelliklerinden kaynaklanabileceği bildirilmektedir (Bolat ve Şensoy, 2019).

Farklı bitki türlerinden etkilenen mikrobiyal biyokütle, arazi kullanım biçiminden de etkilenmektedir. Örneğin orman ve otlak/mera alanı bitki örtüsü altındaki toprakların mikrobiyal biyokütle miktarlarının, genellikle tarım alanına dönüştürülmesi sonucunda azalış eğilimi gösterdiği bildirilmektedir (Srivastava ve Singh 1991). Benzer olarak Smith ve Paul (1990) tarafından tarım, orman ve otlak/mera ekosistemlerinde yapılan bir çalışmanın sonucunda mikrobiyal biyokütle C'nin sırasıyla 560, 680 ve 870 mg kg<sup>-1</sup> olduğu ortaya çıkmıştır. Yapılan başka bir çalışmada, farklı arazi kullanımının aynı ekolojik koşullar altında doğal toprak özelliklerini değiştirerek topraktaki mikrobiyal biyokütle C (orman; 1028,29 µg g<sup>-1</sup>; mera 898,47 µg g<sup>-1</sup> ve tarım; 485,10 µg g<sup>-1</sup>) ve N (orman; 129,99 µg g<sup>-1</sup>; mera 100,90 µg g<sup>-1</sup> ve tarım; 42,60 µg g<sup>-1</sup>) üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir (Kara ve Bolat, 2008a). Türkiye'de yapılmış başka bir çalışma, farklı ağaç türleri ile ilişkili mikrobiyal topluluk yapısında farklılıklar ile mikrobiyal biyokütle, toprak özellikleri, ölü örtü miktarı ve kalitesi arasında karmaşık ilişkiler olduğunu bildirmektedir. Ayrıca söz konusu çalışmada, kayın orman alanının karaçam plantasyonuna dönüştürülmesinin toprak mikrobiyal biyokütle C ve N'de bir azalışa neden olduğu ortaya çıkmıştır (Kara ve Bolat, 2008b).

Yoğun toprak işleminin neden olduğu toprak strüktüründe (toprağın iç yapısındaki) meydana gelen değişiklikler, suyun toprak içerisinde hareketini (perkelasyonu; süzülmesini), toprağın sıcaklığını ve havalanmasını etkileyerek toprak erozyonunun artmasına neden olurken, mikrobiyal toplulukları ve biyokütleyi önemli ölçüde azaltmaktadır. Bununla birlikte, daha az toprak işlemeyi içeren arazi yönetim sistemleri, makro agregatların oluşumunu ve stabilizasyonunu teşvik eder; bu durum, toprak örtüsünün sağladığı korumayla birleştiğinde, toprak neminin daha fazla tutulmasına, mahsullerde artan rizosfer etkisine, daha yüksek organik madde mevcudiyetine, daha iyi kimyasal ve fiziksel toprak özelliklerinin meydana gelmesi ile aşırı/ekstrem sıcaklıkların azalmasına olanak sağladığından, mikroorganizmaların yaşam alanlarının korunması gerçekleştirilir ve böylece daha az toprak işleminin yapıldığı sistemlerde daha yüksek düzeyde mikrobiyal biyokütlenin bulunmasına katkı sağlar. Sonuçta toprak ve ürün yönetimine bağlı uygulamalar, toprak strüktürünü (toprağın iç yapısını) ve mikrobiyotanın habitatlarını doğrudan etkilediğinden, toprak kalitesinin korunmasında ve iyileştirilmesinde önemli bir role sahip bulunmaktadır (Gil vd., 2011; López-Fando vd., 2011; López-Garrido vd., 2012; Silva vd., 2014). Bu bağlamda toprak mikrobiyal biyokütlesinin hem toprak strüktürü ile hem de agregat boyutu ve stabilitesi ile önemli ölçüde pozitif ilişkiler gösterdiği vurgulanmaktadır. Nitekim yapılan tarımsal faaliyetlere bağlı olarak tarım alanlarına göre otlak/mera alanlarında kaydedilen mikrobiyal biyokütle miktarının sürekli fazla çıkmasının nedeni, mera alanlarında toprak strüktürünün daha az bozulmasından kaynaklandığı öne sürülmektedir. Keza toprak işleme faaliyetlerin daha az yapıldığı sistemlerde agregat stabilitesi, geniş mantar ağlarının oluşumunu teşvik ederek, mantarların baskın olduğu (bakterilere nispeten) mikrobiyal biyokütlenin gelişmesine yol açmaktadır (Wardle, 1992). Genel olarak elde edilen mevcut bilgiler hem orman ve mera alanlarında hem de tarım alanı (yani arazi kullanım biçimi) topraklarında bitki türlerinin ve toprak strüktürünün toprağın mikrobiyal biyokütlesini etkilediğini göstermektedir.

#### **2.4. Organik Madde, Toprak Yönetimi ve Gübreleme**

Bundan önceki bölümlerde kısmen yer yer belirtildiği gibi mikrobiyal biyokütle toprağın organik madde (substratlardan; glikoz, karbonhidrat vb.) içeriğinden son derece etkilenmektedir. Dolayısıyla bu ikisi arasında güçlü ve pozitif bir ilişkili bulunmaktadır. Bu yüzden yüksek organik madde girdisine sahip veya mevcut toprak organik madde içeriğinin fazla olduğu ekosistemler, mikroorganizmalar için tercih edilen enerji kaynağını ihtiva ettiklerinden, daha yüksek mikrobiyal biyokütle içeriğine sahip olma eğilimindedir. Bu nedenle, glikoz veya sakkaroz gibi kolaylıkla ayrışabilen C kaynaklarının toprağa eklenmesi/ilave edilmesi, mikrobiyal büyüme ve aktivitede hızlı bir artışa neden olmaktadır. Başka bir anlatımla toprak

mikrobiyal biyokütle miktarı/içeriği ve faaliyeti, substrat C'nin sistemlere (toprağa) girişi ile ilişkilidir ve bu nedenle toprağın bitki örtüsü artıkları (ölü örtü) ile değiştirilmesi her zaman toprak mikrobiyal biyokütlesinde bir artışa yol açmaktadır. Netice olarak, topraktaki karbon ve azotun artması ve diğer besin maddelerinin döngüsü, mikrobiyal biyokütle ve toprak kalitesinde artışa ve dolayısıyla ekosistem verimliliğine olanak sağlamaktadır (Jiang-shan vd., 2005; Bolat ve Şensoy, 2019). Nitekim yapılan bir çalışmada ölü örtü ve toprak örneklerine karbon (C) ve azot (N) çözeltilerinin eklenmesiyle birlikte hem ölü örtüde hem de toprakta mikrobiyal biyokütle C ( $C_{mic}$ ) ve N ( $N_{mic}$ ) miktarının ve mikrobiyal aktivitenin (solunumun) arttığı bildirilmektedir (Allen ve Schlesinger, 2004). Orman alanında yapılan bir çalışmada, ağaçların kesilmesinden sonra kesim artıklarının alanda bırakılmasına bağlı olarak toprakta mikrobiyal biyokütle miktarının arttığı bildirilirken, göknar (*Abies balsamea* (L.) Mill.) meşceresinde yapılan aralama kesimi sonucunda, alanda (toprağın içinde) kalan ağaç köklerinin mikrobiyal canlılar için kolay bir C kaynağı olmalarından dolayı mikrobiyal gelişimi teşvik ettiği ve bundan dolayı mikrobiyal biyokütle azotu ( $N_{mic}$ ) önemli ölçüde artırdığı bildirilmektedir (Entry vd., 1986; Thibodeau vd., 2000). Yapılan başka bir çalışmada ormancılık faaliyetlerinden biri olan aralamanın toprak sıcaklığı, mikrobiyal biyokütle C ve N ve organik C'de artışlara neden olduğu, toprak nemini, bazal solunumu ve metabolik oranı ( $qCO_2$ ) azalttığı bulunmuştur. Çalışmada orman alanında gerçekleştirilen aralamanın mikrobiyal biyokütle ve toprak solunumu üzerindeki etkisinin değişen mikro iklim koşulları ve orman ölü örtüsü, toprak sıcaklığı, toprak nemi, toprak pH'ı ve toprak organik maddesi gibi toprak özelliklerinin ortak etkilerinin sonucuna göre ortaya çıktığı vurgulanmaktadır (Bolat, 2014). Tarımsal rotasyonlar (yer değiştirme), bitki biyokütle girdisinin, özellikle de kök biyokütlesinin miktarını ve kalitesini düzenleyerek toprağın mikrobiyal biyokütlesini etkiler. Bitki biyokütlesinin girdisi ne kadar fazla olursa, toprağın mikrobiyal biyokütlesindeki artış da o kadar fazla olmaktadır. Örneğin, yapılan bir çalışmanın sonucuna göre tahıl-mera rotasyonunun topraktaki, özellikle de toprağın üst katmanlarındaki mikrobiyal biyokütlerde artışa neden olduğu ortaya çıkmıştır (Collins vd., 1992). Yalancı akasya (*Robinia pseudoacacia* L.) ağaçlandırmasının toprak mikrobiyal biyokütlesi ve aktivitesi üzerindeki etkilerinin incelediği bir çalışmada, yalancı akasya ile ağaçlandırmanın toprağın mikrobiyal biyokütlesini ve aktivitesini olumlu yönde etkileyerek toprağın özelliklerini iyileştirdiği ve böylece toprak kalitesini ve sağlığını geliştirdiği bildirilmektedir (Bolat vd., 2016). Çeşitli gübreler ile toprağın gübrelenmesi de mikrobiyal biyokütleyi artırmaktadır. Nitekim yapılan çalışmalarda azot (N) gübresi uygulamalarıyla tahıl ekiminin aynı zamanda topraktaki mikrobiyal biyokütle C ve N'yi arttırdığı bildirilmektedir. Mikrobiyal biyokütle üzerindeki olumlu yönde ki bu etkilerin esas olarak bitki büyümesi ve bitki kalıntılarının toprağa



dönüşü yoluyla C girdi miktarının artmasından kaynaklandığı ileri sürülmektedir. Örneğin sürekli buğday ekimi, korunga-buğday rotasyonu ve ot + baklagil meralarında yapılan çalışmada, kök biyokütlesi yoluyla ölçülen ortalama C girdisinin ve bitki kalıntılarının geri dönüşünün sırasıyla 1800, 2200 ve 4800 karbon (C) kg ha<sup>-1</sup> yıl olduğu tespit edilmiştir. 4 yıl sonra, ilgili mikrobiyal biyokütle C değerleri 426, 513 ve 837 kg ha<sup>-1</sup> olmuştur, bu da toprağa C girdisinin boyutunu yansıtmaktadır (Dalal, 1998). Organik artıkların/gübrelerin ve çiftlik gübresinin toprağa uygulanması da mikrobiyal biyokütleyi artırmaktadır. Nitekim Ghosal ve Singh (1995), pirinç ve mercimek yetişen alanlarda yaptıkları çalışmada, alana 4 yıl boyunca 20 ton ha<sup>-1</sup> oranında çiftlik gübresi uygulandığında, toprağın mikrobiyal biyokütlesinde %50'lik bir artış olduğunu, hatta çiftlik gübresi ile birlikte yılda 40 kg N ha<sup>-1</sup> uygulanması halinde, toprak mikrobiyal biyokütle C'nin 200 mg kg<sup>-1</sup>'den 350 mg kg<sup>-1</sup> kadar yükseldiğini bildirmektedir. Çalışmada toprak mikrobiyal biyokütle N için de benzer artışlar tespit edilirken, mikrobiyal biyokütle P için iki kattan daha fazla bir artışın olduğu ortaya çıkmıştır. Yukarıdaki açıklamaların hepsi dikkate alındığında, toprağın pH'ı üzerinde zararlı bir etki meydana getirmeden bitki biyokütle üretimini artıran rotasyonların ve katkı maddelerinin (hem organik hem anorganik gübrelerin) genellikle topraktaki mikrobiyal biyoküttelede bir artışa yol açtığı rahatlıkla ifade edilebilir. Bununla birlikte organik katkı (organik gübre çeşitleri) maddeleri, ağır metallerle kirlenmediği veya toprağın reaksiyonunu (pH'ı) olumsuz yönde etkilemediği sürece mikrobiyal biyokütleyi doğrudan artırabilmektedir. Sonuçta değişen toprak mikrobiyal biyokütle değerlerinin iklim, arazi kullanımı ve yönetimi ile kültürel uygulamaların etkilerini niteliksel olarak ifade ettiği görülmektedir.

### 2.5. Toprak Reaksiyonu (pH)

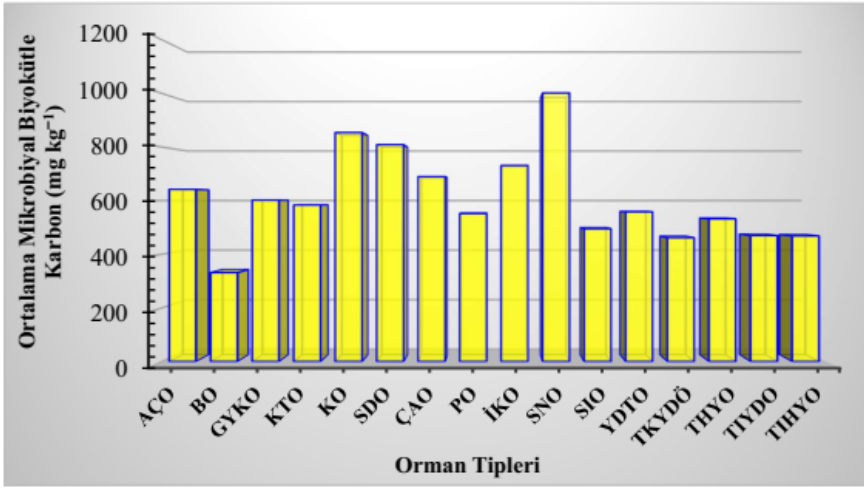
Toprak reaksiyonu (pH'ı) toprağın tüm kimyasal, fiziksel ve biyolojik özelliklerini etkileyen çok önemli bir özelliğidir. Bu yüzden toprak pH'ının belirli mikroorganizmalar, toprağın mikrobiyal biyokütlesi, mikrobiyal aktivite/faaliyet ve son zamanda yapılan çalışmalarda da mikrobiyal topluluk yapısı üzerindeki etkisi araştırılmış ve araştırılmaya da devam edilmektedir. Örneğin daha önce Wardle (1992), mikrobiyal biyokütlenin büyüklüğünü etkilemede toprak pH'ının belki de en az toprak karbon (C) ve azot (N) konsantrasyonları kadar önemli olduğu sonucuna varmıştır. Keza toprak pH'ı organik C çözünürlüğünü etkiler ve pH'ın düşmesiyle biyolojik olarak toksik olan alüminyumun (Al) mevcudiyetini arttırmaktadır. Bunun haricinde toprak organik C'i ve ayrışma oranı olan  $C_{org} / N_{toplam}$  oranı, toprak pH'ı düştükçe bitki C girdilerinin azalması nedeniyle azalış göstermektedir. Bu da mikrobiyal topluluk yapısında ve mikrobiyal faaliyetlerde değişikliklere neden olmaktadır. Nitekim değişik bölgelerde farklı araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalarda bambaşka değerler elde



edilmiş olsa da toprak pH'ı ile biyokütle C ( $R^2 = 0,80$ ,  $p < 0,001$ ), biyokütle ninhidrin-N ( $R^2 = 0,90$ ,  $p < 0,001$ ), organik C ( $R^2 = 0,83$ ,  $p < 0,001$ ) ve toplam N ( $R^2 = 0,83$ ,  $p < 0,001$ ) arasında pozitif ve anlamlı sonuçların olması, mikrobiyal biyokütle büyümesinin/gelişmesinin harekete geçirilmesinde toprak organik maddesinin ve pH'ının ne kadar etkili olduğunu doğrulamaktadır. Ayrıca yapılan çalışmalarda toprak pH arttıkça toprakta CO<sub>2</sub> yayılmasında/oluşumunda da artış ( $R^2 = 0,97$ ,  $p < 0,001$ ) olduğu da bildirilmektedir. Buna karşılık solunum katsayısı ( $qCO_2$ ), pH'ının düşük olduğu yerlerde artış göstererek en büyük değerlere ulaşmıştır. Bu durum çok büyük bir ihtimalle düşük toprak pH'ının neden olduğu strese verilen tepkinin sonucudur. Öte yandan mikrobiyal biyokütle ve mikrobiyal faaliyet, yaklaşık 5 ile 7 arasındaki pH değerlerinde bir dengelenme eğilimi göstermektedir. Çünkü bu pH aralığında (pH 5–7) organik C, toplam N ve Al konsantrasyonları arasındaki farklar küçüktür, bir diğer ifadeyle birbirlerine göre oransal olarak az veya fazla değildir. Bütün bunların ötesinde toprak pH'ının mikrobiyal özellikler üzerindeki etkileri, farklı toprak türlerinin, bitki örtüsünün ve yerel iklim koşullarının etkileriyle karışığının yani başka faktörlerin de devreye girdiğinin unutulmaması gerekmektedir (Flis vd., 1993; Andersson vd., 2000; Marstorp vd., 2000; Bååth ve Anderson, 2003; Pietri ve Brookes, 2008; Bolat ve Şensoy, 2019).

### 3. FARKLI ORMAN EKOSİSTEMLERİNDE MİKROBİYAL BİYOKÜTLE KARBON ( $C_{mic}$ ) MİKTARLARI

Bugüne kadar yapılan çalışmaların geneli değerlendirildiğinde mikrobiyal biyokütle C miktarı 55 mg kg<sup>-1</sup> (geniş yapraklı ve karışık orman; GYKO) ile 2214,4 mg kg<sup>-1</sup> (subtropikal dağ ormanı; SDO) arasında değişirken, toprak organik C miktarları 800 mg kg<sup>-1</sup> (boreal orman; BO) ile 210.000 mg kg<sup>-1</sup> (geniş yapraklı ve karışık orman; GYKO) arasında değişmektedir. Bu bağlamda dünya genelinde farklı orman tiplerinde toprak mikrobiyal biyokütle C ( $C_{mic}$ ) miktarları ortalamalarına ilişkin elde edilen bulgular Şekil 4'te gösterilmektedir (Das vd., 2023).



**Şekil 4.** Dünya genelinde farklı orman ekosistemlerinde toprağın ortalama mikrobiyal biyokütle karbon ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) miktarları (Das vd., 2023'ten değiştirilerek).

Şeklin (Şekil 4) incelenmesinden anlaşılacağı üzere farklı orman ekosistemlerinde mikrobiyal biyokütle C miktarının/içeriğinin ortalama değerleri büyük farklılıklar göstermektedir. Nitekim en yüksek mikrobiyal biyokütle C miktarı subtropikal nemli orman (SNO) ( $1001,64 \pm 106,56 \text{ mg kg}^{-1}$ ) alanında tespit edilmişken, bundan sonra karışık orman (KO) ( $853,78 \pm 111,24 \text{ mg kg}^{-1}$ ) alanı gelmiş, bu ikisini subtropikal dağ ormanı (SDO) ( $808,58 \pm 105,63 \text{ mg kg}^{-1}$ ) ve ikincil/tali karışık orman (İKO) ( $731,20 \pm 87,54 \text{ mg kg}^{-1}$ ) alanları izlemiştir. Bu sıra düzeninin ardından sırasıyla çam ağırlıklı orman (ÇAO) ( $689,5 \pm 338,5 \text{ mg kg}^{-1}$ ), alpin çayır ormanı (AÇO) ( $641,75 \pm 115,173,00 \text{ mg kg}^{-1}$ ), geniş yapraklı ve karışık orman (GYKO) ( $601,64 \pm 75,01 \text{ mg kg}^{-1}$ ), kurak tropikal orman (KTO) ( $583,42 \pm 37,88 \text{ mg kg}^{-1}$ ), yaprağını döken tropikal orman (YDYO) ( $558,09 \pm 74,84 \text{ mg kg}^{-1}$ ), plantasyon ormanı (PO) ( $551,66 \pm 77,07 \text{ mg kg}^{-1}$ ), tropikal herdem yeşil orman (THYO) ( $532,08 \pm 177,09 \text{ mg kg}^{-1}$ ), subtropikal ıslak orman (SIO) ( $495 \pm 85,73 \text{ mg kg}^{-1}$ ), tropikal ıslak yaprağını döken orman (TIYDO) ( $469,62 \pm 82,74 \text{ mg kg}^{-1}$ ), tropikal ıslak herdem yeşil orman (TIHYO) ( $468,06 \pm 52,76 \text{ mg kg}^{-1}$ ), tropikal kurak yaprak döken orman (TKYDO) ( $461,56 \pm 144,90 \text{ mg kg}^{-1}$ ) ve boreal orman (BO) ( $331,52 \pm 61,83 \text{ mg kg}^{-1}$ ) gelmektedir. Bununla birlikte söz konusu çalışmaya göre, genel olarak mikrobiyal biyokütle C miktarı SNO, KO, SDO, İKO, ÇAO, AÇO, GYKO ve KTO'da diğer orman alanlarına göre daha fazla, toprak organik C miktarının maksimum değeri GYKO, KO ve tropikal nehir kıyısı ormanın (TNKO) alanında daha fazladır (Das vd., 2023).

#### 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Toprak, hayati derecede önemli olan doğal bir kaynaktır. O yüzden toprağın kalitesinin korunması her toplumun hayatta kalması için şarttır. Öte yandan toprak organik maddesi, toprak kalitesinin önemli bir göstergesidir. Çünkü organik madde hem toprak fonksiyonunu etkiler hem de toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri üzerindeki olumlu etkileriyle bitki ve mikrobiyal büyümeye doğrudan katkıda bulunmaktadır. Ancak topraktaki organik madde miktarı onlarca yıl boyunca süren bir zaman içerisinde yavaş yavaş değişmektedir. Bununla birlikte mikrobiyal biyokütle, topraktaki organik maddenin dinamik, yaşayan bir bileşenidir. Bu nedenle mikrobiyal biyokütle, toprağın organik madde seviyelerindeki değişim yönünün erken bir göstergesi olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte mikrobiyal biyokütle ile ürün verimliliği arasında pozitif korelasyonların olduğu bilinen bir gerçekliktir. Buradan hareketle toprak mikrobiyal biyokütlesinin boyutundaki değişikliklerin, çeşitli ekosistem türlerinin işleyişindeki değişkenliği etkileyebileceği söylenebilir. Ancak daha önceki açıklanmaya çalışıldığı üzere mikrobiyal biyokütle miktarları/içerikleri iklim değişkenlerinden, toprak tipinden ve mevsimden etkilendiğinden, yapılan çalışmalardan elde edilen toprak mikrobiyal biyokütle değerlerinin yorumlanmasının dikkatli yapılması gerekmektedir. Çünkü geniş bir coğrafi alanda, iklim değişkenliği, arazi kullanım türleri ve baskın bitki örtüsü bileşimi, farklı ekosistem türleri arasında toprak mikrobiyal biyokütle değişkenliğine yol açan temel faktörler olabilmektedir. Bu sayılanlara ilave olarak değişen bitki artıkları çeşitlerinin (ölü örtü artıkları ve ince kökler) neden olduğu substrat (organik C ve N) girdilerinin miktar ve kalitesindeki farklılıkların ve buna bağlı ilgili besin maddesi spesifikliğinin, ekosistem türleri arasında toprağın mikrobiyal biyokütlesini etkisi altına almada çok önemli faktörler olduğu da gözlerden uzak tutulmamalıdır. Aynı yetişme ortamında ise uygun nem ve sıcaklığın yanı sıra azalan yüzeysel akış, daha fazla besin mineralizasyonu ve immobilizasyonu teşvik edeceğinden daha yüksek mikrobiyal biyokütle C miktarının elde edilmesinin altında yatan ana nedenler olarak sayılabilir. Bütün bunlara rağmen yukarıda vurgulanan hususlara dikkat edildiği sürece, mikrobiyal biyokütle ve bunun diğer toprak özellikleriyle ilişkisi, toprak sağlığının ve kalitesinin değerlendirilmesinde yararlı/faydalı bir parametre olarak karşımıza çıkmaktadır.

#### TEŞEKKÜR

Öncelikle, şu zamana kadar maddi ve manevi yardımlarını, özverilerini, desteklerini ve teşviklerini hiçbir zaman benden esirgemeyen ve her zaman yanımda olan en küçüğünden en büyüğüne tüm aile üyelerime sonsuz şükranlarımı sunarım. Bununla birlikte, akademik manada yetişirken elinde bir fener ile yolumu aydınlatan, önümü açan ve yorulduğumda

her anlamda beni cesaretlendiren, destekleyen hocama/hocalarıma çok teşekkür ediyorum. Ayrıca bu kitap bölümünün yazılmasına beni teşvik eden çok değerli meslektaşlarıma da teşekkürlerimi sunuyorum. Bu ve bundan önce yazılan kitap bölümlerinde hataların ve eksiklerin olması çok doğaldır. O yüzden bunların düzeltilmesi için yapılacak olan eleştiri ve öneriler şükranla karşılanacaktır. Öte yandan çalışmayı okuyup değerlendiren okuyucuların, ilgilenenlerin ve araştırmacıların, çalışmayı umduklarından daha ilginç ve faydalı bulduklarında bu beni fazlasıyla mutlu edecektir. Bu yüzden çalışmanın araştırmacılara, uygulayıcılara, tüm ilgilienlere ve bilim dünyasına yararlı, faydalı ve ışık tutması tek dileğimdir.

## KAYNAKLAR

- Allen, A. S., & Schlesinger, W. H. (2004). Nutrient limitations to soil microbial biomass and activity in loblolly pine forests. *Soil Biology and Biochemistry*, 36(4), 581–589.
- Alvarez, R., Santanatoglia, O. J., & García, R. (1995). Effect of temperature on soil microbial biomass and its metabolic quotient in situ under different tillage systems. *Biology and Fertility of Soils*, 19, 227–230.
- Anderson, T. H. (2003). Microbial eco-physiological indicators to assess soil quality. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 98(1–3), 285–293.
- Anderson, T. H., & Domsch, K. H. (2010). Soil microbial biomass: the eco-physiological approach. *Soil Biology and Biochemistry*, 42(12), 2039–2043.
- Andersson, S., Nilsson, S. I., & Saetre, P. (2000). Leaching of dissolved organic carbon (DOC) and dissolved organic nitrogen (DON) in mor humus as affected by temperature and pH. *Soil Biology and Biochemistry*, 32(1), 1–10.
- Bååth, E., & Anderson, T. H. (2003). Comparison of soil fungal/bacterial ratios in a pH gradient using physiological and PLFA-based techniques. *Soil Biology and Biochemistry*, 35(7), 955–963.
- Balota, E. L., Colozzi-Filho, A., Andrade, D. S., & Dick, R. P. (2003). Microbial biomass in soils under different tillage and crop rotation systems. *Biology and Fertility of Soils*, 38, 15–20.
- Bardgett, R. (2005). *The biology of soil: a community and ecosystem approach*. Oxford University Press Inc., New York. ISBN 978-0-19-852502-8, 241 s.
- Bauhus J., & Khanna P. K. (1999). The significance of microbial biomass in forest soils. In: Rastin, N. and Bauhus, J. (eds.) *Going Underground - Ecological Studies in Forest Soils*. Research Signpost, Trivandrum, India, 77–110.
- Bauhus, J., Pare, D., & Cote, L. (1998). Effects of tree species, stand age and soil type on soil microbial biomass and its activity in a southern boreal forest. *Soil Biology and Biochemistry*, 30(8-9), 1077–1089.
- Bolat, İ. (2011). Kayın, göknar ve göknar-kayın meşcerelerinde üst toprak ve ölü örtüdeki mikrobiyal biyokütle karbon ( $C_{mic}$ ), azot ( $N_{mic}$ ), fosfor ( $P_{mic}$ ) ve mikrobiyal solunumun mevsimsel değişimi. Bartın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi (Yayımlanmamış), Bartın, 423 s.
- Bolat, İ. (2014). The effect of thinning on microbial biomass C, N and basal respiration in black pine forest soils in Mudurnu, Turkey. *European Journal of Forest Research*, 133, 131–139.
- Bolat, İ., & Öztürk, M. (2017). Effects of altitudinal gradients on leaf area index, soil microbial biomass C and microbial activity in a temperate mixed forest ecosystem of Northwestern Turkey. *iForest-Biogeosciences and Forestry*, 10(1), 334.

- Bolat, İ., & Şensoy, H. (2019). Microbial biomass soil content and activity under black alder and sessile oak in the Western Black Sea Region of Turkey. *International Journal of Environmental Research*, 13, 781–791.
- Bolat, İ., Kara, Ö., & Tunay, M. (2020). Göknar-Kayın karışık meşceresi altındaki ölü örtü örneklerinde mikrobiyal biyokütle C ( $C_{mic}$ ), N ( $N_{mic}$ ) ve P ( $P_{mic}$ )’un mevsimsel değişimi. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 22(3), 993–1003.
- Bolat, İ., Kara, Ö., & Tunay, M. (2022). Seasonal changes of microbial biomass carbon, nitrogen, and phosphorus in soil under an oriental beech stand. *Forestist*, 72(3), 259–265.
- Bolat, İ., Kara, Ö., Şensoy, H., & Yüksel, K. (2016). Influences of Black Locust (*Robinia pseudoacacia* L.) afforestation on soil microbial biomass and activity. *iForest-Biogeosciences and Forestry*, 9(1), 171.
- Bolat, İ., Kara, Ö., & Tunay, M. (2015a). Effects of seasonal changes on microbial biomass and respiration of forest floor and topsoil under Bornmullerian fir stand. *Eurasian Journal of Forest Science*, 3(1), 1–13.
- Bolat, İ., Şensoy, H., & Özer, D. (2015b). Short-term changes in microbial biomass and activity in soils under black locust trees (*Robinia pseudoacacia* L.) in the northwest of Turkey. *Journal of Soils and Sediments*, 15, 2189–2198.
- Carnicer, J., Sardans, J., Stefanescu, C., Ubach, A., Bartrons, M., Asensio, D., & Penuelas, J. (2015). Global biodiversity, stoichiometry and ecosystem function responses to human-induced C–N–P imbalances. *Journal of Plant Physiology*, 172, 82–91.
- Clarholm, M., & Rosswall, T. (1980). Biomass and turnover of bacteria in a forest soil and a peat. *Soil Biology and Biochemistry*, 12(1), 49–57.
- Collins, H. P., Rasmussen, P. E., & Douglas Jr, C. L. (1992). Crop rotation and residue management effects on soil carbon and microbial dynamics. *Soil Science Society of America Journal*, 56(3), 783–788.
- Contin, M., Corcimaru, S., De Nobili, M., & Brookes, P. C. (2000). Temperature changes and the ATP concentration of the soil microbial biomass. *Soil Biology and Biochemistry*, 32(8-9), 1219–1225.
- Çakıroğlu, K., Kara, Ö., & Bolat, İ. (2022). Ladin meşcereleri üst topraklarında derinliğe göre  $C_{mic}$  ve  $N_{mic}$ ’in değişimi. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 24(3), 637–650.
- Dalal, R. C. (1998). Soil microbial biomass—what do the numbers really mean?. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 38(7), 649–665.
- Dalal, R. C., & Mayer, R. J. (1987). Long term trends in fertility of soils under continuous cultivation and cereal cropping in southern Queensland. VII. Dynamics of nitrogen mineralization potentials and microbial biomass. *Soil Research*, 25(4), 461–472.

- 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, 933–945.
- Diaz-Ravina, M., Acea, M. J., & Carballas, T. (1993). Microbial biomass and its contribution to nutrient concentrations in forest soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 25(1), 25–31.
- Entry, J. A., Stark, N. M., & Loewenstein, H. (1986). Effect of timber harvesting on microbial biomass fluxes in a northern Rocky Mountain Forest soil. *Canadian Journal of Forest Research*, 16(5), 1076–1081.
- Fang, C., & Moncrieff, J. B. (2005). The variation of soil microbial respiration with depth in relation to soil carbon composition. *Plant and Soil*, 268, 243–253.
- Flis, S. E., Glenn, A. R., & Dilworth, M. J. (1993). The interaction between aluminium and root nodule bacteria. *Soil Biology and Biochemistry*, 25(4), 403–417.
- Ghoshal, N., & Singh, K. P. (1995). Effects of farmyard manure and inorganic fertilizer on the dynamics of soil microbial biomass in a tropical dryland agroecosystem. *Biology and Fertility of Soils*, 19, 231–238.
- Gil, S. V., Meriles, J., Conforto, C., Basanta, M., Radl, V., Hagn, A., ... & March, G. J. (2011). Response of soil microbial communities to different management practices in surface soils of a soybean agroecosystem in Argentina. *European Journal of Soil Biology*, 47(1), 55–60.
- Horwath, W. R. (2017). The role of the soil microbial biomass in cycling nutrients. *Microbial Biomass: A Paradigm Shift in Terrestrial Biogeochemistry*, 41–66.
- Horwath, W. R., & Elliott, L. F. (1996). Ryegrass straw component decomposition during mesophilic and thermophilic incubations. *Biology and Fertility of Soils*, 21, 227–232.
- Jenkinson D. S. and Ladd J. N. (1981). Microbial biomass in soil measurement and turnover. In: Paul EA, Ladd JN (eds) *Soil biochemistry*, vol 5. Marcel Dekker Inc, New York and Basel, pp 415–471.
- Jenkinson, D. S. (1977). Studies on the decomposition of plant material in soil. V. The effects of plant cover and soil type on the loss of carbon from <sup>14</sup>C labelled ryegrass decomposing under field conditions. *Journal of Soil Science*, 28(3), 424–434.
- Jensen, L. S., Salo, T., Palmason, F., Breland, T. A., Henriksen, T. M., Stenberg, B., ... & Esala, M. (2005). Influence of biochemical quality on C and N mineralization from a broad variety of plant materials in soil. *Plant and Soil*, 273, 307–326.
- Jiang-shan, Z., Jian-fen, G., Guang-shui, C., & Wei, Q. (2005). Soil microbial biomass and its controls. *Journal of Forestry Research*, 16, 327–330.

- Kandeler, E., Tschерko, D., Bardgett, R. D., Hobbs, P. J., Kampichler, C., & Jones, T. H. (1998). The response of soil microorganisms and roots to elevated CO<sub>2</sub> and temperature in a terrestrial model ecosystem. *Plant and Soil*, 202, 251–262.
- Kara, Ö., & Bolat, İ. (2007a). Impact of alkaline dust pollution on soil microbial biomass carbon. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 31(3), 181–187.
- Kara, Ö., & Bolat, İ. (2007b). Influence of soil compaction on microfungus community structure in two soil types in Bartın Province. *Turkey. Journal of Basic Microbiology*, 47(5), 394–399.
- Kara, Ö., & Bolat, İ. (2008a). The effect of different land uses on soil microbial biomass carbon and nitrogen in Bartın province. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 32(4), 281–288.
- Kara, Ö., & Bolat, İ. (2008b). Soil microbial biomass C and N changes in relation to forest conversion in the Northwestern Turkey. *Land Degradation and Development*, 19(4), 421–428.
- Kara, Ö., Bolat, İ., Çakıroğlu, K., & Öztürk, M. (2008). Plant canopy effects on litter accumulation and soil microbial biomass in two temperate forests. *Biology and Fertility of Soils*, 45, 193–198.
- Kara, Ö., Bolat, İ., Çakıroğlu, K., & Şentürk, M. (2014). Litter decomposition and microbial biomass in temperate forests in Northwestern Turkey. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 14(1), 31–41.
- Kara, Ö., Şensoy, H., & Bolat, İ. (2010). Slope length effects on microbial biomass and activity of eroded sediments. *Journal of Soils and Sediments*, 10, 434–439.
- Kujur, M., & Patel, A. K. (2012). Quantifying the contribution of different soil properties on microbial biomass carbon, nitrogen and phosphorous in dry tropical ecosystem. *International Journal of Environmental Sciences*, 2(4), 2272–2284.
- Lopes, M. M., Salviano, A. A. C., Araujo, A. S. F., Nunes, L. A. P. L., & Oliveira, M. E. (2010). Changes in soil microbial biomass and activity in different Brazilian pastures. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 8(4), 1253–1259.
- López-Fando, C., & Pardo, M. T. (2011). Soil carbon storage and stratification under different tillage systems in a semi-arid region. *Soil and Tillage Research*, 111(2), 224–230.
- López-Garrido, R., Deurer, M., Madejón, E., Murillo, J. M., & Moreno, F. (2012). Tillage influence on biophysical soil properties: The example of a long-term tillage experiment under Mediterranean rainfed conditions in South Spain. *Soil and Tillage Research*, 118, 52–60.



- Lynch, J. M., & Panting, L. M. (1982). Effects of season, cultivation and nitrogen fertilizer on the size of the soil microbial biomass. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 33(3), 249–252.
- Marstorp, H., Guan, X., & Gong, P. (2000). Relationship between dsDNA, chloroform labile C and ergosterol in soils of different organic matter contents and pH. *Soil Biology and Biochemistry*, 32(6), 879–882.
- Miltner, A., Bombach, P., Schmidt-Brücken, B., & Kästner, M. (2012). SOM genesis: microbial biomass as a significant source. *Biogeochemistry*, 111, 41–55.
- Pietri, J. A., & Brookes, P. C. (2008). Relationships between soil pH and microbial properties in a UK arable soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 40(7), 1856–1861.
- Raghubanshi, A. S. (1991). Dynamics of soil biomass C, N, and P in a dry tropical forest in India. *Biology and Fertility of Soils*, 12, 55–59.
- Rasmussen, C., Southard, R. J., & Horwath, W. R. (2005). Modeling energy inputs to predict pedogenic environments using regional environmental databases. *Soil Science Society of America Journal*, 69(4), 1266–1274.
- Rice, C. W., Moorman, T. B., & Beare, M. (1997). Role of microbial biomass carbon and nitrogen in soil quality. In J. W. Doran & A. J. Jones (Eds.), *Methods for Assessing Soil Quality*, SSSA Special Publication 49, 203–215. Madison: Soil Science Society of America, Inc.
- Silva, A. P. D., Babujia, L. C., Franchini, J. C., Ralisch, R., Hungria, M., & de Fátima Guimarães, M. (2014). Soil structure and its influence on microbial biomass in different soil and crop management systems. *Soil and Tillage Research*, 142, 42–53.
- Singh, J. S., & Gupta, V. K. (2018). Soil microbial biomass: A key soil driver in management of ecosystem functioning. *Science of the Total Environment*, 634, 497–500.
- Smith, J. L., and Paul, E. A. (1990). The significance of soil biomass estimations. In 'Soil Biochemistry'. Vol. 6. (Eds J. M. Bollog and G. Stotzky.) pp. 357–96. (Marcel Dekker: New York.)
- Sparling, G. P. (1997). Soil microbial biomass, activity and nutrient cycling as indicators of soil health. In: Pankhurst C, Doube BM, Gupta VVSR (eds) Biological indicators of soil health. CAB International, Wallingford, pp 97–119.
- Srivastava, S. C., & Singh, J. S. (1991). Microbial C, N and P in dry tropical forest soils: effects of alternate land-uses and nutrient flux. *Soil Biology and Biochemistry*, 23(2), 117–124.
- Thibodeau, L., Raymond, P., Camiré, C., & Munson, A. D. (2000). Impact of pre-commercial thinning in balsam fir stands on soil nitrogen dynamics, mi-

- icrobial biomass, decomposition, and foliar nutrition. *Canadian Journal of Forest Research*, 30(2), 229–238.
- Van Gestel, M., Merckx, R., & Vlassak, K. (1996). Distribution of <sup>14</sup>C-labelled biomass and microbial products in microaggregates of a silty-loam soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 28(8), 1113–1115.
- Verburg, P. S. J., Van Dam, D., Hefting, M. M., & Tietema, A. (1999). Microbial transformations of C and N in a boreal forest floor as affected by temperature. *Plant and Soil*, 208, 187–197.
- Wardle, D. (1992). A comparative assessment of factors which influence microbial biomass carbon and nitrogen levels in soil. *Biological Reviews*, 67(3), 321–358.
- Wardle, D. A., & Parkinson, D. (1990). Comparison of physiological techniques for estimating the response of the soil microbial biomass to soil moisture. *Soil Biology and Biochemistry*, 22(6), 817–823.
- Wardle, D. A., & Parkinson, D. (1992). Influence of the herbicides 2, 4-D and glyphosate on soil microbial biomass and activity: a field experiment. *Soil Biology and Biochemistry*, 24(2), 185–186.
- Zogg, G. P., Zak, D. R., Ringelberg, D. B., White, D. C., MacDonald, N. W., & Pregitzer, K. S. (1997). Compositional and functional shifts in microbial communities due to soil warming. *Soil Science Society of America Journal*, 61(2), 475–481.

# BÖLÜM 4

## THYMBRA SPICATA, LAVANDULA STOECHAS VE LAURIS NOBİLİS BİTKİLERİNİN ANTİMİKROBİYAL ETKİNLİĞİ<sup>1</sup>

*Hayrettin ATA<sup>2</sup>*

*Pınar ERECEVİT SÖNMEZ<sup>3</sup>*

*Azime KÜÇÜKGÜL<sup>4</sup>*

1 Tez Adı: Kekik, Defne ve Karabaş Bitki Uçucu Yağlarının Bazı Patojenler Üzerine Antimikrobiyal Etkinliği Yazar: Hayrettin ATA, Danışman: Prof. Dr. Azime KÜÇÜKGÜL, Yer Bilgisi: Munzur Üniversitesi / Lisansüstü Eğitim Enstitüsü / Su Ürünleri Ana Bilim Dalı / Su Ürünleri Yetiştiriciliği Bilim Dalı, Konu: Su Ürünleri = Aquatic Products

2 Yüksek Lisans Öğr.,Munzur Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Yetiştiricilik Bölümü, Tunceli, Türkiye, <https://orcid.org/0009-0007-3343-2490>

3 Dr. Öğr. Üyesi, Munzur Üniversitesi, Pertek Sakine Genç MYO, Gıda İşleme Bölümü, Tunceli, Türkiye, <https://orcid.org/0000-0003-2389-0694>

4 Prof. Dr.,Munzur Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Yetiştiricilik Bölümü, Tunceli, Türkiye, <https://orcid.org/0000-0002-0515-6667>

## GİRİŞ

İnsan tüketiminde önemli bir paya sahip hayvansal protein kaynaklarından bir tanesi olan balıketi doymuş yağlar, karbonhidratlar ve kolesterol açısından düşük besin içeriğine sahiptir. Ayrıca, mineral, çeşitli vitaminler ve çoklu doymamış yağ asitleri gibi önemli besin maddelerini içermektedir (FAO, 2012). Bu nedenle su ürünleri üretimi ülkemiz içinde en önemli kaynakların başında gelmekte ve yıldan yıla bu sektör büyümektedir.

Ancak, her sektör gibi su ürünleri üretiminde de bazı olumsuz durumlar (su kirliliği, hastalık problemleri, yoğun stok vb.) ortaya çıkmakta ve sektör etkilenebilmektedir (Kum ve ark., 2004; Arda et al., 2005). Bakteriler uzun süre canlı dışında da kalabildiği için risk oluşturma açısından önemli bir durum olup yetiştiricilik ünitelerinde ciddiyle üzerinde durulması gerekli konuların başında gelmektedir (Klesius ve Pridgeon, 2011). Özellikle *Flavobacterium* spp., *Pseudomonas* spp., *Yersinia* spp., *Streptococcus* spp., , *Aeromonas* spp., gibi türler önemli kayıplara neden olduğu birçok araştırmacı tarafından bildirilmiştir (Kum ve ark., 2004; Klesius ve Pridgeon, 2011).

Uzun yıllardır hastalıkların tedavisinde antibiyotikler kullanılmıştır. Antibiyotikler önceleri olumlu etkiler göstermiş ancak zamanla dirençli suşların gelişmesi, kalıntı problemleri vb. birçok neden kullanımını sınırlandırmıştır (Okmen ve ark., 2012). Bu nedenle alternatif tedavi yöntemleri arayışına girilmiştir. Bu çaba neticesinde doğal kaynaklı ürünler özellikle tıbbi içeriği ile daha önce çok kez çalışılmış bitkiler üzerinde durulmuş ve yeni tedavi yöntemleri olarak denenmiştir (Peddie ve Secombes, 2003; Küçükgül ve ark., 2019).

Önemli bir ticaret ürünü olup zahter (*Thymbra spicata* L.) Lamiaceae (Labiatae) familyasında yer almaktadır. Özellikle uçucu yağ bileşenlerinde bulunan karvakrol,  $\gamma$ -terpinen ve p-simen gibi bileşikler ile antibakteriyal, antioksidan, antifungal, antihelmintik gibi etkileri sağlamaktadır (Baydar ve ark., 1999; Koparal ve Zeytinoğlu, 2003; Markovic ve ark., 2011). Bunun yanında halk arasında Karabaş otu olarak bilinen *Lavandula stoechas* L. ise güçlü bir antiseptik ve yara tedavi edici özelliğe sahiptir (Ayril, 1997; Öztürk ve ark., 2005). Karabaş otunun kimyasal bileşenleri arasında en fazla bulunan linalool, linalil asetat, okaliptol, kafur vb. bileşenler antibakteriyal ve antifungal etkileri üzerinde önemli olduğu bildirilmiştir (Krasniewska ve ark., 2017; Jianu ve ark., 2013). Birçok sektörde kullanım alanı bulmuş önemli bir diğer tıbbi bitki olan defne (*Lauris nobilis* L.); Tropikal Asya, Amerika, Afrika ve Akdeniz gibi ülkelerde yayılış göstermektedir (Baytop, 1999). Çalışmalarda yapraklarının güçlü bir antimikrobiyal olduğu (Sangun ve ark., 2007) bildirilmiş ve bu etkiyi içerdiği kimyasal bileşenlerden sağladığı rapor edilmiştir. İçeriğinde okaliptolün

major bileşen olarak vurgulanmış  $\alpha$ -pinene, sabinen gibi uçucu bileşenlerle beraber tedavi edici etkinlikte rol oynadığı birçok çalışmayla ortaya konmuştur (Tural ve ark., 2019; Karadeniz, 2001; Sangun ve ark., 2007).

Tüm bu veriler ışığında tıbbi öneme sahip bu üç önemli bitkinin (zahter, karabaş otu ve zahter) kimyasal bileşenleri ve antimikrobiyal etkileri üzerinde durulmuş literatürler eşliğinde daha detaylı olarak ele alınmıştır.

### **ZAHTER (*Thymbra spicata* L.)**

Önemli bir ticaret ürünü olup zahter (*Thymbra spicata* L.) Lamiaceae (Labiatae) familyasında yer almaktadır. Türkiye’de yetiştiriciliği yapılan 400 türü olduğu bilinmektedir. Geniş bir adaptasyon yeteneği olan zahter ülkemizde hemen her bölgede yetişebilmektedir (Joma, 2018). Özellikle Güneydoğu Anadolu Bölgesinde Kilis, Hatay ve Gaziantep yörelerinde yaygın olarak bulunmaktadır (Resim 1). Uzun yıllardır gıda ve tıbbi kökenli ilaç olarak kullanılan bitkinin günümüzde de ticari olarak birçok kullanım alanı (Bitkisel çay, kekik uçucu yağı, kekik suyu, kahvaltılık vb.) olduğu bilinmektedir (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2020).



**Resim 1.5.** Hatay İli zahter (*Thymbra spicata* L.) tarlası (Ulusoy, 2018)

### ***Thymbra spicata*’nın Kullanım Alanları**

İlkbahar döneminde toplanan *Thymbra* cinsine giren *Thymbra spicata* L. var. *Spicata*’nın (zahter), taze sürgünleri ve kurutulmuş yaprak ve çiçek kısımları baharat olarak tüketilmektedir (Baytop, 1999; Şekeroğlu, 2008). Kurutulan bu ürünlerin su buharı distilasyonu ile elde edilen keskin kokulu uçucu yağı ve yağın altına kekik suyu olarak bilinen kısmı daha ziyade halk arasında soğuk algınlığı, astım, bronşit, öksürük, kolik ve ishal gibi rahatsızlıkların tedavinde kullanılmaktadır (Dirican ve ark., 2012; Kaya ve ark., 2013; Baytop, 1999; Şekeroğlu, 2008, 2010).

### ***Thymbra spicata*'nın Fitokimyasal Etkinliği**

Zahter daha çok baharat ve bitki çayları olarak kullanılmakta, bu nedenle doğadan yüksek miktarda toplanmaktadır. Zahter içeriğinde bulunan fenolik bileşenler (karvakrol ve timol gibi) sayesinde antioksidan, antibakteriyel ve antimikrobiyal özellikler gibi bazı tedavi edici etkilere sahip olduğu birçok çalışma ile ortaya konmuştur. Diğer bileşenlerden bazıları ise mirsen,  $\alpha$ -terpinen,  $\beta$ -karyofillen,  $\alpha$ -pinendir (Baydar ve ark., 2004; Kılıç, 2006; Kızıl, 2010; Markovic ve ark., 2011; Kaya ve ark., 2013).

Koparal ve Zeytinoğlu (2003) tarafından yapılan çalışmada *Origanum*, *Satureja*, *Thymbra*, *Thymus* ve *Corydorthymus* cinslerine ait bitkilerin uçucu yağ bileşenleri değerlendirilmiştir. Ana bileşenin karvakrol olduğu ve antibakteriyel, antifungal, antihelmintik, insectisidal, analjezik ve antioksidan etkinliğin ise kavrakrolden kaynaklandığı bildirilmiştir. İsparta yöresinden toplanan *Coridothymus capitatus* (L.) Reichb., *Thymbra spicata* L., *Salvia triloba* L. ve *S. fruticosa* Mill. türlerinde ait uçucu yağ verim ve kompozisyonu araştırıldığı bir diğer çalışmada, *O. minutiflorum* ortalama %1.45, *C. capitatus* %2.46 ve *T. spicata*'nın ise %2.03 uçucu yağ içerdiği, her üç türün uçucu yağında da en önemli komponentin karvakrol olduğu (sırasıyla %89.17, %69.00 ve %76.01) saptanmıştır (Baydar ve ark., 1999). İrtem (2003), Lamiaceae familyası *Thymus* cinsi birkaç bitkinin toprak üstü kısımlarının hidrodistilasyonu sonucu uçucu yağlarının ana bileşenlerini saptadı ve antibakteriyel aktiviteleri değerlendirdi. Timolün (%56.6, %42.8, %36.9) sırasıyla *Thymus longicaulis* subsp. *chaubardii* var. *chaubardii* (kemotip I ve II), *Thymus zygioides* var. *Lycaonicus*'un ana bileşenleri olduğunu rapor etti. Bunun yanında *Thymus longicaulis* subsp. *longicaulis* var. *sibisophyllus* (%60) da karvakrol, *Thymus pulvinatus* ise ana bileşen olarak borneol (%27.9) içerdiği bildirdi.

Bitkilerin farklı bir kullanım alanı olan uçucu yağ eldesi bitki özütleri olarak kabul edildiği için önem arz eder. Ayrıca uçucu yağlar içerdikleri kimyasal bileşenler sayesinde antibakteriyel, antiinflamatuvar, antioksidan vb. özellik kazanıp fitoterapötik olarak kullanımları mümkün olur. Alternatif tıpta değerlendirilen güçlü bir antimikrobiyal etki gösteren zahter bitkisi uzun yıllardır kullanılmaktadır. Son yapılan çalışmalar göstermektedir ki zahter antibiyotiklere karşı alternatif bir tedavi olarak değerlendirilebilir. Fitoterapötik özelliği bulunan bitki (nane, çördük otu, zahter, yabani kekik, İzmir kekiği) uçucu yağlarının bazı mikroorganizmalara karşı antibakteriyel etkinliği ve etkin bazı antibiyotiklerle karşılaştırılmasının amaçlandığı bir çalışmada, antimikrobiyal aktivite için disk difüzyon metodu uygulanmıştır. İnkübasyon süreleri sonunda 5, 10 ve 15  $\mu$ l uçucu yağ emdirilmiş disklerin inhibisyonzon çapları ölçülmüştür. Sonuçlar değerlendirildiğinde inhibisyonzon çapı ile konsantrasyon artışının paralel olduğu gözlenmiştir. Zon çaplarının ise 8-50 mm arasında değişim gösterdiği ve en güçlü bak-

terilerin *Streptococcus pyogenes* ve *S. aureus* olduğu bildirilmiştir (Akcan ve ark., 2007). Bir diğer araştırmada, zahter ekstresietanol ve kloroform çözeltileri ile 4 farklı konsantrasyonda (25 mg/ml-50 mg/ml-75 mg/ml ve 100 mg/ml) çalışılmış, *Escherichia coli*, *Pseudomonasa eruginosa* ve *Klebsiella pneumoniae* bakterileri üzerinde antimikrobiyal etkinliği saptanmıştır. 25 mg/ml konsantrasyonda *K. pneumoniae*'ya karşı 15 mm zon, 50mg/ml konsantrasyonda 26mm zon çapı olduğu gözlenmiştir. Diğer bakteriler üzerinde herhangi bir etkinlik saptanamamıştır (Dalkılıç ve ark., 2020).Türkmen ve ark. (2016), zahterin metanol ve etanol ekstralarının 100µl hacminde oyuk agar yöntemiyle *K. pneumoniae* (19 mm-14 mm), *S. aureus* 'a (20 mm-18 mm) etki ettiği tespit etmişlerdir.

Akuakültürde balık patojenleri ile mücadelede bitkisel ürünlerin kullanımını alternatif ve güncel uygulamaların başında gelmektedir. Uzun yıllardır halk ilacı olarak kullanılan zahter bitkisinin özellikle yapraklarından elde edilen uçucu yağlarında bulunan karvakrol ve timol gibi bileşenlerin güçlü antimikrobiyal, antifungal, antioksidan etkileri nedeniyle balık hastalıklarında özellikle kemoterapötiklere alternatif olabilmesi düşüncesiyle Ballıgiller familyası üyeleri ile birçok çalışma (Mousavive ark., 2011; Baydar ve ark., 2004). Gökkuşığı alabalığı kuluçkahanelerinde ekonomik kayıplara sebebiyet veren Saprolegniasis hastalığının etkeni olan *Saprolegnia parasitica* etkenine karşı Lamiaceae familyasından üç önemli kekik türünün (*Thymbra spicata* L., *Origanum onites* L., *Satureja tymbra* L.) antifungal etkinliğinin araştırıldığı çalışmada, her üç kekik türünün uçucu yağ bileşenlerinde karvakrolün major komponent olduğu, karvakrol içeriği yüksek olan *T. spicata* (%82,68) ve *O. onites* (%82,2)'in antifungal etkisinin *S. tymbra* (%53,38)'ya göre daha iyi olduğu tespit edilmiştir (Görmez, 2012). Görmez ve Diler (2014) tarafından yapılan diğer bir çalışmada ise, *T. spicata* ve *O. onites* uçucu yağlarının *S. parasitica* mantarına karşı timol ve karvakrolün tek kullanımlarından daha biyoaktif olduğunu ve bunun bitki biyoaktif kompanenlerin sinerjistik etkisinde kaynaklandığını bildirilmişlerdir.

### **KARABAŞ OTU (*Lavandula stoechas* L.)**

Halk arasında Karabaş otu, karabaş lavanta, gargan veya keşiş otu olarak bilinen Lamiaceae (Ballıbabagiller) familyasına ait bir diğer aromatik bitki *Lavandula stoechas* L.'dir. Kendiliğinden doğal olarak yetişebilen bu bitki uzun yıllardır güçlü bir antiseptik ve yara tedavi edici özelliği ile alternatif tıpta kullanılmaktadır (Ayril, 1997; Öztürk ve ark., 2005). Bunun yanı sıra yatıştırıcı, iltihap giderici, balgam söktürücü, idrar yolları iltihaplarını giderici vb. birçok özelliğiyle epey geniş bir kullanım alanı edinmiştir (Baytop, 1999). Bunun yanında, uçucu yağ özellikleri nedeniyle dünyada yaygın olarak yetiştirilen bitkilerden de birisidir. Özellikle Avru-



pa, Orta Doğu, Asya ve Kuzey Afrika’da yetiştiriciliği yapılmakta ve yaklaşık 40 farklı türü bulunmaktadır (Aprotosoiaie ve ark., 2017). En yaygın yetiştirilen üç tür; *L. angustifolia* Mill., *L. stoechas*, *L. latifolia* ve bunların melezleridir.

*Lavandula stoechas* L. 45–50 cm yükseklikte, güzel görünümlü, tüylü, kuvvetli kokulu, çalı formunda ve çok yıllık bir bitkidir (Resim 2.). Ülkemizde özellikle İzmir, Muğla, Datça, Antalya Tekirova, İçel-Anamur, Hatay-Samandağı, Yayladağı yörelerinde yetişebilmektedir (Ayrıl, 1997; Yenici, 1999). Kuru ve asiditesi az olan topraklarda yetişen karabaş otunun tohumu Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında olgunlaşmakta; Mayıs, Haziran, Temmuz aylarında ise çiçeklenmektedir (Yenici, 1999).



**Resim 2.** Karabaş (*Lavandula stoechas* L.), URL-1, 2020.

### ***Lavandula stoechas*'ın Kullanım Alanları**

Alternatif tıpta sıklıkla kullanılan karabaş otu bitkisinin anti-septik ve yaralarda kullanımı uzun yıllardır bilinmektedir. Bunun yanında çeşitli hastalıklarda (grip, soğuk algınlığı vb.) tedavi edici olarak çayının tüketildiği bilinmektedir. Yüksek tansiyon, egzama gibi hastalıklarda kullanıldığı raporlanmıştır (Akan ve ark., 2018; Faydaoğlu ve Sürücüoğlu, 2013). Kozmetik sanayinde sabun, parfüm yapımında da kullanıldığı bildirilmiştir. Ayrıca, karabaş otu yağı cilt lekelerinin tedavisinde, masaj yağlarında kullanılmaktadır. Açık yaraların sterilizasyonunda da kullanımı mevcuttur (Sıcak ve ark., 2013).

### ***Lavandula stoechas*'ın Fitokimyasal Etkinliği**

Karabaş otu bitkisinin toprak üstü kısımlarından (bitkinin taze ve kurutulmuş uç kısımları) su buharı distilasyonu ile elde edilen karabaş uçucu yağı, karakteristik bir kokuya sahip renksiz veya soluk sarı bir sıvıdır. Kimyasal kompozisyonu ise iyi bilinmektedir. Ana bileşenler, linalool



(%20-45) ve linalil asetatın (%25-46) R enantiyomerleridir. Bu bileşenlerin yüksek içeriği yağın kalitesini belirlemektedir. İzmir yöresine ait yabancı *L. stoechas* L. subsp. *Stoechas* aksonundan elde edilen uçucu yağın antimikrobiyal ve antifungal etkisi incelendiği bir diğer çalışmada, % 1,1 oranında uçucu yağ içerdiği tespit edilmiştir. Kimyasal bileşenleri içerisinde 26 bileşik saptanmış ana bileşen olarak % 43,47 ile kafur tespit edilmiştir (Öztürk ve ark., 2005). Ballıgiller familyasından bir başka tür olan *L. angustifolia* Mill'in uçucu yağının *Staphylococcus aureus* ve *Enterococcus* spp. türlerine karşı antibakteriyel etkisi araştırılmış güçlü bir antiseptik etki gözlenmiştir (Roller ve ark., 2009). Yapılan araştırmalar göstermiştir ki, karabaş otu uçucu yağının antibakteriyel özelliğinin içerisinde barındırdığı minör ve majör komponentlerin sinerjistik etkisinden kaynaklanmaktadır (Krasniewska ve ark., 2017; Jianu ve ark., 2013).

Ülkemizde gelişmekte olan sektörlerden birisi haline gelen akuakültürde balık hastalıklarının tedavisinde bilinçsiz kullanılan antimikrobiyal maddelerin olumsuzluklarını ortadan kaldırmak için daha ucuz, güvenilir ve uygulaması daha kolay aynı zamanda doğal olmaları yönüyle bitkilerden yararlanma özellikle bitkilerden elde edilen doğal maddelerin kullanımı dikkat çekmektedir. Karabaş otu uçucu yağının güçlü terapötik etkileri birçok çalışma ile ortaya konduğu için akuakültürde de bu bitki antibakteriyel, büyüme performansı, antifungal vb. etkileri yönüyle değerlendirilmiştir. Yılmaz (2019) tarafından yapılan bir çalışmada, karabaş otu (*Lavandula stoechas*) yağının sazan (*Cyprinus carpio*) balığı yemlerine ilavesinin büyüme performansı, hematolojik ve serum biyokimyasal parametreleri üzerine olan etkileri incelenmiştir. Bu çalışmanın sonuçlarına göre, karabaş otu yağı içeren diyetin (5 g/kg) kontrol diyetine göre hemogloblin seviyelerinin olumlu yönde etkilendiği, ancak serum glikoz seviyelerinde düşüşler izlendiği bildirilmiştir. Ticari olarak temin edilen kekik (*Origanum vulgare*), melisa (*Melissaoleum*), karabaş (*Lavandulaeromanaeoleum*), biberiye (*Rosmarinusofficinalis*), zencefil (*Zingiberofficinale*) uçucu yağlarının *Yersiniaruckeri*, *Aeromonashydrophila*, *Vibrioanguillarum*, *Vibrioalginolyticus*, *Flavobacteriumpsychrophilum* ve *Lactococcusgarvieae* türleri üzerine olan antibakteriyel etkinliğinin ortaya konduğu bir diğer çalışmada, tüm uçucu yağların etkin olduğu ancak kekik ve melisa uçucu yağlarının diğerlerine oranla daha güçlü bir antimikrobiyal etki gösterdiği tespit edilmiştir (Ekici ve ark., 2011).

### **DEFNE (*Lauris nobilis* L.)**

Yaprak ve meyvelerinin içerdiği değişik yapıdaki uçucu ve sabit yağlara sahip olan defne (*Laurisnobilis* L.), fitoterapötik ürün olarak değerlendirilen ekonomik değere sahip bir diğer önemli bitkidir (Resim 1.7.). Uzun yıllardır yapraklarından yararlanılan bitkinin kurutulmuş yaprakları

yemeklerde koku ve tat verici olarak değerlendirilmektedir. Hatay ve Mersin yörelerinde de üretilen defne ağacı ülkemiz ihracatında da önemli paya sahiptir.



**Resim 1.7.** Defne (*Lauris nobilis* L.), URL-2, 2018.

Lauraceae familyası Laurus cinsine ait olan defne yaklaşık 40 cins 2500 tür içermektedir. Tropikal Asya, Amerika, Afrika ve Akdeniz ülkelerinde yayılış göstermekte olup ülkemizde tek türü bulunmaktadır (Seçmen ve ark., 1995). Akdeniz bitki örtüsünün karakteristik bitkilerinden olan defne tüm kıyı şeridi boyunca yayılış göstermekte ve 600-800 m yüksekliklerde rastlanmaktadır (Parlak, 2006). Defne yapı itibariyle maki bitkisidir, her dem yeşil olup kökleriyle güçlü bir donanıma sahiptir. Çok miktarda kök ve gövde sürgünü verir, aynı zamanda gövde kabuğu koyu gri, siyaha yakın renkte ve pürüzsüzdür. Taze sürgünleri yeşil, sonraları kırmızımsı siyah renkte ve tüsüzdür (Zeybek ve Zeybek, 1994; Yazıcı, 2002; Baytop, 1999). Yapraklarının hasadı Temmuz ve Ekim ayları arasında olup, meyveleri Eylül ve Ekim arasındadır. Defne yaprağı hasat sonrası kurutulması, içerdiği etkili kimyasal bileşimin daha uzun süre dayanması için yapılmaktadır (Erden, 2005).

### ***Lauris nobilis*'in Kullanım Alanları**

Defne bitkisi birçok kullanım alanına sahiptir. Kurutulmuş yaprakları gıda endüstrisi için önemli olup, yapraklarından temin edilen uçucu yağ tat ve çeşni verici olarak değerlendirilmektedir. Meyvelerinden elde edilen sabit yağ ise gıda ve kimya endüstrisinde, ilaç, kozmetik alanlarında kullanılır. Özellikle prina yağı ile karıştırılıp imal edilen defne sabunu saç dökülmesi, cilt hastalıkları için kullanılmaktadır (Baytop, 1999).

### ***Lauris nobilis*'in fitokimyasal Etkinliği**

Defne yapraklarının güçlü bir antibakteriyel etki gösterdiği birçok çalışma ile ortaya konmuştur (Sangun ve ark., 2007; Karadeniz, 2001). Bunun yanında ağrı kesici, antiseptik ve mide rahatsızlıklarında da önemli rol oynadığı bilinmektedir. Bu etkilerin ise yapraklarından temin edilen uçucu

yağ bileşenlerinden kaynaklandığı tespit edilmiştir. Bitkinin yaprağında bulunan uçucu yağ oranı %0,5-4,69 arasında değişim göstermektedir. En önemli kimyasal bileşeni 1,8 sineol (ökaliptol) (%35-70) olup diğerleri  $\alpha$ -terpinenilacetate,  $\alpha$ -pinen (%4-8),  $\beta$ -pinen (%3-5), limonen (% 1-4), terpinen-4-ol (% 2-3), metil öjenol (% 1-3), para-simen (% 0,04-3), linalool ve sabinene'dir. Sangun ve ark. (2007), Hatay'da farklı bölgelerde defne yaprak uçucu yağın kimyasal içeriğini belirlediği çalışmada ana bileşen olarak 1,8- cineole (% 46,61-59,94),  $\alpha$ -terpinylacetate (% 11,94-25,70),  $\alpha$ -pinene (% 3,66-2,61) sabinene (% 14,05-7,83) ve terpinen-4-ol (% 1,82-2,20) olarak tespit etmişlerdir. Hatay yöresinde yapılan bir diğer çalışmada ise en önemli bileşen 1,8-cineole (% 43,37- 59,94) olarak gözlenmiştir (Karadeniz, 2001).

Su ürünleri yetiştiriciliğinde bakteriyel balık hastalıklarına karşı antimikrobiyal ajanların yerine alternatif olarak değerlendirilebilmesi hususu, defne gibi uçucu yağ içeriği zengin ve güçlü bir antiseptik özellik taşıması ile balık hastalıkları alanında birçok araştırmacı tarafından incelenmesine olanak sağlamıştır. Tural ve ark. (2019) tarafından yapılan bir çalışmada, kekik (*Thymusvulgaris* L.), defne (*Laurusnobilis* L.), biberiye (*Rosmarinusofficinalis* L.) ve maydanoz (*Petroselinumcrispum* L.) uçucu yağlarının balık patojenleri üzerindeki antibakteriyel aktivitesi araştırılmıştır. Araştırma sonuçlarına göre, test edilen tüm uçucu yağlar balık patojen bakterilerine karşı inhibitör etki göstermiş ve inhibisyonzonları 6,00 ile 36,00 mm arasında değişmiştir. En duyarlı bakterilerden birisinin defne olduğu bildirilmiştir. Bir diğer çalışmada, *Aeromonashydrophila*'nın da dâhil olduğu 7 bakteri türüne karşı *L. nobilis* uçucu yağı test edilmiş ve en güçlü antibakteriyelaktivite gösterdiği bildirilmiştir (Snuossi ve ark., 2016). Birinci Yıldırım ve Türker (2018), birçok bitkiye ait hidrodistilasyon yöntemi ile elde ettikleri uçucu yağları, yedi balık patojeni üzerinde denemişler ve antimikrobiyal aktivitelerini incelemişlerdir. Yedi uçucu yağın [zahter, (*T. spicata*), kekik (*T. vulgaris*), defne (*L. nobilis*), tarçın (*Cinnamomumverum*), altın otu (*Helichrysumplicatum*) ve yalancı melisa (*Aloysiacitriodora*Paláu)] iyi bir antibakteriyel aktivite sergilediklerini raporlamışlardır.

## SONUÇ

Coğrafik açıdan uygun iklim çeşitliliği ile zengin bir bitki florasına sahip olan ülkemiz tıbbi kökenli aromatik bitkiler açısından da önemli bir konuma sahiptir. Bu bitkilerin yetiştiriciliği yapılabildiği gibi doğada kendiliğinden de yetişebilmektedir. Bitkisel ürünler daha ucuz, güvenilir ve uygulaması daha kolay aynı zamanda doğal olmaları yönüyle günden güne önem kazanmış son yıllarda fitoterapi (bitkisel tedavi) terimi literatüre girmiştir. Bitkilerle tedavi uygulamaları bitkilerin çeşitli kısımlarının kullanımı ile mümkün olup bunların başında gelen bitki uçucu yağları içer-

dikleri kimyasal bileşenlerle ile antimikrobiyal, antioksidan, antiparaziter, antiseptik vb. özellikler sağlamaktadır.

Bu bitkilerden özellikle Güneydoğu ve Güney bölgelerinde yaygın olarak bulunan zahter tıbbi kökenli ilaç kullanımında en eski bitkilerden birisi olarak kullanılmaktadır. İçeriğindeki fenolik bileşenler ile güçlü antioksidan, antibakteriyel ve antimikrobiyal etkiler göstermektedir. Bunun yanında güçlü bir antiseptik ve yara tedavi edici özelliği ile alternatif tıpta uzun yıllardır kullanılan karabaş otu önemli bir antimikrobiyal özelliğe sahip olup bu etkiyi linalool ile sağladığı bilinmektedir. Fitoterapötik ürün olarak ekonomik değere sahip bir diğer önemli bitki ise defnedir. Akdeniz bitki örtüsünün karakteristik bitkilerinden olan defne, kimyasal içeriğinde ana bileşen olarak bildirilen 1,8 sineol (ökaliptol) ile zengin ve güçlü bir antiseptik özellik göstermektedir.

Bu bitkilerin birçok alanda eski zamanlardan bu yana kullanılabilirliği birçok çalışma ile vurgulanmış aynı zamanda mikrobisid ve mikrobiyostatik etki gösterdikleri raporlanmıştır. Tüm bu veriler ışığında özellikle bakteriyel kökenli hastalıkların tedavisinde bu bitkilerin hastalıkları iyileştirme niteliği taşıdığını yapılan literatür incelemeleri neticesinde ortaya konmuştur.

## **TEŞEKKÜR**

Bu derleme, Munzur Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü bünyesinde hazırlanan “Kekik, Defne ve Karabaş Bitki Uçucu Yağlarının Bazı Patojenler Üzerine Antimikrobiyal Etkinliği” başlıklı Yüksek Lisans Tezinden hazırlanmıştır.

## KAYNAKLAR

- Akan, H., Öz, A., & Pekmez, H. 2018. Some of the Plants Species Used Among The Local People İn Ortaca (Muğla). Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology, 6(9): 1168-1174.
- Akcan, N., Kızıl, S., Uyar, S. 2007. Bazı Uçucu Yağların Antimikrobiyal Özelliklerinin Belirlenmesi Üzerine Araştırmalar. Türkiye 7. Tarla Bitkileri Kongresi, Cilt II, 618–622, 25–27 Haziran, Erzurum, 2007
- Arda M, Seçer S, Sarıeyüpoğlu M. (2005). Balık Hastalıkları. II. Baskı (Genişletilmiş). Ankara: Medisan Yayın Serisi: 61. s.70.
- Aprotosoae, A. C., Gille, E., Trifan, A., Luca, V. S. and Miron, A. 2017. Essential oils of Lavandula genus: a systematic review of their chemistry. Phytochemistry Reviews, 16(4): 761–799.
- Ayral, N. M. (1997). Lavandula stoechas ssp. stoechas bitkisinin uçucu yağının ve uçucu olmayan organik bileşenlerinin incelenmesi ve biyolojik aktivitelerinin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, s. 176.
- Baydar, H., Marquard, R. A., Karadoğan, T., 1999. Isparta Yöresinden Toplanarak İhracat Edilen Bazı Önemli Origanum, Coridothymus, Thymbra ve Salvia Türlerinin Uçucu Yağ Verim Ve Kompozisyonu. Türkiye 3. Tarla Bitkileri Kongresi, 15–18 Kasım, Adana, (Sunulu Bildiri) Cilt II, Endüstri Bitkileri, 416–420.
- Baydar, H, Sağdıç, O., Özkan, G., Karadoğan, T. 2004. Antibacterial activity and composition of essential oils from Origanum, Thymbra and Satureja species with commercial importance in Turkey. Food Control. 15(3): 169-172.
- Baytop, T. 1999. Türkiye’de bitkiler ile tedavi. Nobel Tıp Kitapevleri Ltd Şti 2. baskı s.194-195.
- Birinci Yıldırım, A., Türker, H. 2018. Antibacterial activity of some aromatic plant essential oils against fish pathogenic bacteria. Journal of Limnology and Freshwater Fisheries Research, 4(2): 67-74
- Dirican, E., Türkez, H., & Toğar, B., (2012). Modulatory effects of Thymbra spicata L. different extracts against the mercury induced genotoxicity in human lymphocytes in vitro. Cytotechnology, 64(2): 181-186.
- Ekici, S., Diler Ö., Didinen B.I., Kubilay, A. 2011. Balıklardan izole edilen bakteriyel patojenlere karşı bazı bitkisel uçucu yağlarının antibakteriyal aktivitesi. Kafkas Univ. Vet Fak Derg., 17: 47-54.
- Erden, Ü. 2005. Akdeniz Defnesi’nde (*Laurus nobilis L.*) mevsimsel varyabilite ve optimal kurutma yöntemlerinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarla Bitkileri ABD 57s. Adana.
- Faydaoğlu, E., Sürücüoğlu, M. 2013. Tıbbi ve aromatik bitkilerin antimikrobiyal, antioksidan aktiviteleri ve kullanım olanakları. Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 6(2): 233-265.

- Food and Agriculture Organization (FAO). 2012. Fishery and Aquaculture Statistics. In FAO Yearbook, FAO, Rome, 50-51.
- Görmez, Ö. 2012. Saprolegnia türlerine karşı bazı tıbbi bitkilerin esansiyel yağlarının antifungal aktivitesi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Isparta, 93s.
- Görmez Ö., Diler O.2014 *In vitro* antifungal activity of essential oils from *Thymbra*, *Origanum*, *Satureja* species and some pure compounds on the fish pathogenic fungus, *Saprolegnia parasitica*. Aquacult. Res., 45: 1196–1201.
- İrtem, H.A., 2003. Composition and the *in vitro* antimicrobial activities of the essential oils of thymus species in balıkesir. Balıkesir Üniversitesi Fen Fakültesi-Yüksek Lisans Tezi, s. 63. Balıkesir.
- Jianu, C., Pop, G., Gruia, A.T., Horhat, F.G. 2013. Chemical composition and antimicrobial activity of essential oils of lavender (*Lavandula angustifolia*) and lavandin (*Lavandulaxintermedia*) grown in Western Romania. Int. J. Agric. Biol., 15: 772–776.
- Joma MH. 2018 *Thymbra spicata* L. var. *Spicata* (Zahter) Bitki Özütlerrinin DNA Koruyucu Aktivitelerinin Ve *Stenotrophomonas maltophilia* Üzerine Etkilerinin Araştırılması (Tez). Gaziantep Üniversitesi; 2018.
- Karadeniz, H. 2001. Hatay Bölgesi Defne Yaprağı ve Meyvesi Uçucu Yağının Özelliklerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Ana Bilim Dalı, 98 s. Antakya.
- Kaya, D. A., Arslan, M., İnan, M., Başkaya, S. 2013, Diurnal changes on content and composition of *thymbraspicata* l. essential oil, Research Journal of Biological Sciences, 8(1): 6-10.
- Klesius, P.H., Pridgeon, J.W., 2011. Live attenuated bacterial vaccines in aquaculture. In: Proceedings of the 9th International Symposium on Tilapia in Aquaculture, pp. 18–26.
- Kılıç, T.,2006 Analysis of essential oil composition of *thymbraspicata* var. *spicata*: antifungal, antibacterial and antimycobacterial activities, Verlag der Zeitschrift für Naturforschung, 61: 324-328.
- Koparal, A. T., Zeytinoğlu, M., 2003. Effects of carvacrol on a human non small cell lung cancer (NSCLC) cell line, A549”, Cytotechnology 43:149-15.
- Kra’sniewska, K., Gniewosz, M., Kosakowska, O., Pobiega, K. 2017 Chemical composition and antimicrobial properties of essential oil from lavender (*Lavandula angustifolia* L.) in commercial available preparation. Postępy Fitoter, 18: 113–118.
- Kum, C., Gökbulut, C., Akar, F., Kırkan, S., Sekkin, S., 2004. Gökkusağı alabalıklarında (*Oncorhynchus mykiss*) enterococcus seriolicida izolasyonu ve etkili antibakteriyel sağaltım seçeneğinin belirlenmesi. Veteriner Hekimler Derneği Dergisi, 75(3): 47-53.

- Küçükgül Güleç, A., Erecevit, P., Yüce, E., Arslan, A., Bağcı, E., & Kırbağ, S. (2014). Antimicrobial activity of them ethanol extracts and essential oil with the composition of endemic *Origanum acutidens* (Lamiaceae). *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 17: 353-358.
- Markovic, T., Chatzopoulou, P., Sijegovic, J., Nikolic, M., Glamočljja, J., Cric, A., Soković, M., 2011 Chemical analysis and antimicrobial activities of the essential oils of *Satureja hymbra* L. and *Thymbra spicata* L. and their main components, *Archives of Biological Sciences*, 63(2): 457-464.
- Mousavi, S.M., Wilson, G., Raftos, D., Mirzargar, S.S., Omidbaigi, R. 2011. Antibacterial activities of a new combination of essential oils against marine-bacteria. *Aquacult Int.* 19(1): 205-214.
- Okmen, G., **Uğur, A.**, Sarac, N., Arslan, T., 2012. In vivo and in vitro antibacterial activities of some essential oils of lamiaceae species on *Aeromonas salmonicida* isolates from cultured rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 11(15): 2762-2768.
- Öztürk, B., Konyalıoğlu, S., Kantarcı, G., Çetinkol, D., 2005, İzmir yöresindeki yabancı *Lavandulastoechas* L. subsp. *Stoechas* taksonundan elde edilen uçucu yağın bileşimi, antibakteriyel, antifungal ve antioksidan kapasitesi. *Anadolu Ege Tarımsal Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 15(1): 61 – 72.
- Parlak, S. (2006). Defne (*Laurus nobilis* L.)'nin fidan üretim teknikleri ve ağaçlandırma alanlarında kullanılması, Defne-Fıstık Çamı Paneli, T.C Çevre ve Orman Genel Müdürlüğü, İzmir Orman Bölge Müdürlüğü
- Peddie, S., Secombes, C.J., (2003). The immunostimulatory effects of Chevimun in the rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*), *Bulletin of the European Association of Fish Pathologists*, 23: 48-51.
- Roller, S., Ernest, N., Buckle, J. 2009. The antimicrobial activity of high-necrodane and other lavender oils on methicillin-sensitive and –resistant *Staphylococcus aureus* (MSSA and MRSA). *J. Altern. Complement. Med.*, 15: 275–279.
- Sangun, M.K., Aydın, E., Timur, M., Karadeniz, H., Çalışkan, M. 2007. Comparison of chemical composition of the essential oil of *Laurus nobilis* L. leaves and fruits from different regions of Hatay. *Journal of Environmental Biology*, 28(4): 731-733.
- Şekeroğlu, N. 2008. Kilis ve yöresinde halk ilacı ve baharat olarak kullanılan bitkiler. *Zeytindalı, Kilis Kültür Derneği Kilis Şubesi Yayını*, 51: 6-11.
- Şekeroğlu, N. 2010. Unutulmuş tadlar, kurban olduğum zahter. *TAZAR Kültür Sanat Yaşam Dergisi*, 73, Nisan-Mayıs.
- Sıcak, Y., Çolak, Ö. F., İlhan, V., Sevindik, E., & Alkan, N. 2013. Köyceğiz Yöresinde Halk Arasında Yaygın Olarak Kullanılan Bazı Tıbbi Ve Aromatik Bitkiler. *Anadolu Doğa Bilimleri Dergisi (Journal of Anatolian Natural Sciences)*, 4(2): 70-77.



- Snuossi, M., Trabelsi, N., Ben Taleb, S., Dehmeni, A., Flamini, G., & De Feo, V. 2016. *Laurus nobilis*, *Zingiber officinale* and *a net humgraveolens* essential oils: composition, antioxidant and antibacterial activities against bacteria isolated from fish and shellfish. *Molecules*, 21: 1-20.
- Tarım ve Orman Bakanlığı, 2020. Kekik Fizibilite Raporu ve Yatırımcı Rehberi. Tarım ve Orman Bakanlığı Eğitim ve Yayın Dairesi Başkanlığı, s. 26-27.
- Tural, S., Durmaz, Y., Urçar, E., Turhan, S. 2019. Antibacterial Activity of Thyme, Laurel, Rosemary and Parsley Essential Oils Against Some Bacterial Fish Pathogen. *Acta Aquatica Turcica*, 15(4): 440-447.
- Turkmen, F.U., Mercimek Takcı, H.A. ve Sekeroglu, N., 2016. Total Phenolic Content, Antioxidant and Antimicrobial Activities of Homemade and Industrial Samples of Breakfast Zahter. *HerbalMixture Akademik Gıda*, 14(3): 242-246.
- Yılmaz, S. (2019). Karabaş Otu (*Lavandula stoechas*) Yağının Sazan Balığı (*Cyprinus carpio*) Yemlerine İlavesinin Büyüme Performansı ve Bazı Kan Parametreleri Üzerine Etkileri. *ÇOMÜ Zir. Fak. Derg. (COMU J. Agric. Fac.)*, 7 (1): 187–193
- Yazıcı, H. 2002. Batı Karadeniz Bölgesinde Yetişen Defne (*Laurus nobilis* L.) Yaprak ve Meyvelerinden Faydalanma İmkanlarının Araştırılması. Doktora Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Zonguldak. 309s.
- Yenici, N. 1999. *Lavandula stoechas* bitkisinin özellikleri ve fibrinolitik sisteme etkisinin araştırılması yüksek lisans tezi. Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 37 s.
- Zeybek, N. ve U. Zeybek. 1994. Farmasötik Botanik. Ege Üniversitesi Eczacılık Fakültesi Yayınları, Yayın No: 2, Bornova / İzmir