



**T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**



YÜKSEK LİSANS TEZİ

**MEŞE ve GÜRGEN MEŞCERELERİNDE KÖK AYRIŞMASININ ZAMANSAL
DEĞİŞİMİ**

Halenur YAVUZ

DANIŞMAN

Doç. Dr. Serdar AKBURAK

Orman Mühendisliği Anabilim Dalı

Orman Mühendisliği, Tezli Yüksek Lisans Programı

Nisan, 2024

TEZ KABUL VE ONAYI

Halenur YAVUZ tarafından, **Doç. Dr. Serdar AKBURAK** danışmanlığında hazırlanan **MEŞE ve GÜRGEN MEŞCERELERİNDE KÖK AYRIŞMASININ ZAMANSAL DEĞİŞİMİ** başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından **01/04/2024** tarihinde yapılan sınav sonucunda **oy birliği** ile başarılı bulunarak **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

	İmza	Sonuç
DANIŞMAN	Doç. Dr. Serdar AKBURAK	
	İstanbul Üniversitesi-	☒ Kabul
	Cerrahpaşa Üniversitesi	☐ Ret
	Toprak İlmi ve Ekoloji Anabilim Dalı	
ÜYE	Prof. Dr. Doğanay TOLUNAY	
	İstanbul Üniversitesi-	☒ Kabul
	Cerrahpaşa Üniversitesi	☐ Ret
	Toprak İlmi ve Ekoloji Anabilim Dalı	
ÜYE	Doç. Dr. Meriç ÇAKIR	
	Çankırı Karatekin Üniversitesi	☒ Kabul
	Toprak İlmi ve Ekoloji	☐ Ret
	Anabilim Dalı	

BÜTÇE DESTEKLERİ

MEŞE ve GÜRGEN MEŞCERELERİNDE KÖK AYRIŞMASININ ZAMANSAL DEĞİŞİMİ

Bu çalışma İstanbul Üniversitesi- Cerrahpaşa Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir. Proje numarası: FYL-2022-36065

TEŞEKKÜR

Meşe ve gürgen meşcerelerinde kök ayrışmasının zamansal değişimi başlıklı çalışma, İstanbul Üniversitesi – Cerrahpaşa Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Orman Mühendisliği programında 2020 – 2024 yılları arasında Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Bu çalışmanın seçiminde, planlanmasında, laboratuvar çalışmalarında ve çalışmanın tamamlanmasına kadar geçen süre içerisinde gösterdiği her türlü destek ve yardımından dolayı danışman hocam Doç.Dr. Serdar AKBURAK’a teşekkürlerimi sunarım.

Ayrışma keselerimin hazırlanmasında bana yardımcı olan Yeter AKBURAK’a, arazi çalışmalarında beni yalnız bırakmayan, Mustafa ASLAN’a, Muhammed Ali AYDIN’a, Nazlı Demet UYANIK’a, Tayfun ÖZTÜRK’e ve kardeşim Yusuf Kerem YAVUZ’a ayrı ayrı teşekkür ederim.

Laboratuvar analizlerimde bana yardımını eksik etmeyen Dr. Öğr. Üyesi. Murat SARGINCI’ya teşekkür ederim. İstatistik analizlerim boyunca sorularıma cevap veren Doç. Dr. Emrah ÖZDEMİR’e ve Arş. Gör. Dr. Fatih KURUL’a teşekkür ederim.

Tez çalışmam boyunca desteklerinden dolayı Toprak İlmi ve Ekoloji Anabilim Dalı Başkanı Prof. Dr. Doğanay TOLUNAY’a, bana her zaman her konuda manevi destek veren ve yalnız bırakmayan Prof. Dr. Ender MAKİNECİ’ye ve Öğr. Gör. Fatmagül BOURMAUD’a çok teşekkür ederim.

Hayatım boyunca beni yalnız bırakmayan her zaman kahrımı çeken, bana inançları sonsuz olan ve her zaman her konuda desten veren canım dostlarım Eda Nur AKYÜZ’e, Cem ÖZAYDIN’a, Göknur KARAKURT’a, Arş. Gör. Edanur AYHAN’a, Arş. Gör. Ekim Elçin SOYTÜRK’e ve Arş. Gör. Esra Yıldız AVŞAR’a çok çok teşekkür ederim.

Bugüne kadar her zaman yanımda olan, destekleyen ve inanan aileme teşekkürlerimi sunarım.

Nisan 2024

Halenur YAVUZ

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

TEZ KABUL VE ONAYI.....	ii
BEYAN.....	Error! Bookmark not defined.
BÜTÇE DESTEKLERİ.....	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
TABLO LİSTESİ.....	xiii
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ.....	xvii
ÖZET.....	xix
ABSTRACT.....	xxii
1. GİRİŞ.....	1
2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE.....	3
2.1. MACAR MEŞESİ (<i>Quercus frainetto</i> Ten.).....	3
2.2. ADİ GÜRGEN (<i>Carpinus betulus</i> L.).....	4
2.3. KÖKLERİN ÖNEMİ.....	5
2.4.KÖK AYRIŞMASINI ETKİLEYEN FAKTÖRLER.....	7
3. YÖNTEM.....	10
3.1. ARAŞTIRMA ALANI YETİŞME ORTAMI ÖZELLİKLERİ.....	10
3.1.1. Mevki.....	10
3.1.2. İklim.....	11
3.1.3. Jeolojik ve Toprak Yapısı.....	12
3.1.4. Bitki Örtüsü.....	13
3.2. ARAZİDE YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	14
3.2.1. Örnek Alanların Seçilmesi.....	14
3.2.2. Köklerin Toplanması ve Ayrışma Keselerinin Hazırlanması.....	15
3.2.3. Keselerin Alana Yerleştirilmesi.....	16
3.2.4. Ayrışma Keselerinin Toplanması ve Toprak Örneklerinin Alınması.....	17
3.2.5. Toprak Sıcaklığının Ölçülmesi.....	18

3.3. LABORATUVAR ÇALIŞMALARI VE ANALİZLER	18
3.3.1. Toprak Örneklerinde Yapılan Analizler	18
3.3.1.1. Toprak Nemi	18
3.3.1.2. Toprak Reaksiyonu (pH)	19
3.3.1.3. Mikrobiyal Solunum	19
3.3.1.4. Mikrobiyal Biyokütle Karbon ve Azot	21
3.3.1.5. Toprakta Toplam Karbon ve Azotun Hesaplanması	25
3.3.1.6. Ayrışma Keselerinin Temizlenmesi ve Kütle Kaybının Belirlenmesi	25
3.3.1.7. Selüloz ve Lignin İçeriklerinin Belirlenmesi	27
3.3.1.8. Kök Karbon, Azot ve Besin Element İçeriklerinin Belirlenmesi:	29
3.4. İSTATİSTİKSEL DEĞERLENDİRME	30
4. BULGULAR	31
4.1. MEŞE TÜRÜNE AİT BULGULAR	31
4.1.1. Kök Özelliklerine Ait Bulgular	31
4.1.1.1. Kalan Kütle Miktarına Ait Bulgular	31
4.1.1.2. Ayrışma Sabiti (k) Ait Bulgular	32
4.1.1.3. Kök Azot (N) İçeriğine Ait Bulgular	33
4.1.1.4. Kök Karbon İçeriklerine (C) Ait Bulgular	34
4.1.1.5. Kök Karbon/ Kök Azot Oranlarına (C/N) Ait Bulgular	36
4.1.1.6. Kök ADF İçeriğine Ait Bulgular	37
4.1.1.7. Lignin İçeriğine Ait Bulgular	38
4.1.1.8. Selüloz İçeriklerine Ait Bulgular	39
4.1.1.9. Kök Lignin/ Kök Azot Oranına Ait Bulgular	41
4.1.1.10. Kök Lignin/ Kök Selüloz Oranına Ait Bulgular	42
4.1.1.11. Makro Besin Elementlerine Ait Bulgular	43
4.1.1.12. Mikro Besin Elementlerine Ait Bulgular	49
4.1.2. Toprak Özelliklerine Ait Bulgular	56
4.1.2.1. Toprak nemine ait bulgular	56
4.1.2.2. Toprak Sıcaklığına Ait Bulgular	57
4.1.2.3. Toprak Reaksiyonuna (pH) Ait Bulgular	57
4.1.2.4. Mikrobiyal Solunuma Ait Bulgular	58
4.1.2.5. Mikrobiyal Biyokütle Karbona (MB _C) Ait Bulgular	59
4.1.2.6. Mikrobiyal Biyokütle Azota (MB _N) Ait Bulgular	60
4.1.2.7. Mikrobiyal Biyokütle Karbon/Azot (MB _C / MB _N) Oranına Ait Bulgular	60

4.1.2.8. Topraktaki Toplam Karbon Miktarına Ait Bulgular	61
4.1.2.9. Topraktaki Toplam Azot Miktarına Ait Bulgular	62
4.1.2.10. Topraktaki Karbon/Azot (C/N) Oranına Ait Bulgular	62
4.1.3. Kök Özellikleri İle Toprak Özellikleri Arasında İlişkilere Ait Bulgular	63
4.1.3.1. Kılcal kökler ile toprak özellikleri arasındaki ilişkilere ait bulgular	63
4.1.3.2. İnce kökler ile toprak özellikleri arasındaki ilişkilere ait bulgular	65
4.2. GÜRGEN TÜRÜNE AİT BULGULAR	67
4.2.1. Kök Özelliklerine Ait Bulgular	67
4.2.1.1. Kalan Kütle Miktarlarına Ait Bulgular	67
4.2.1.2. Ayrışma Sabitine (k) Ait Bulgular	68
4.2.1.3. Kök Azot (N) İçeriğine Ait Bulgular	69
4.2.1.4. Kök Karbon (C) İçeriğine Ait Bulgular	70
4.2.1.5. Kök ADF İçeriğine Ait Bulgular	73
4.2.1.6. Kök Lignin İçeriğine Ait Bulgular	74
4.2.1.7. Selüloz İçeriğine Ait Bulgular	75
4.2.1.8. Lignin/Selüloz Oranına Ait Bulgular	77
4.2.1.9. Lignin/Kök Azot Oranına Ait Bulgular	78
4.2.1.10. Makro Besin Elementlerine Ait Bulgular	79
4.2.1.11. Mikro Besin Elementlerine Ait Bulgular	85
4.2.2. Toprak Özelliklerine Ait Bulgular	91
4.2.2.1. Toprak Nemine Ait Bulgular	91
4.2.2.2. Toprak Sıcaklığına Ait Bulgular	92
4.2.2.3. Toprak Reaksiyonuna (pH) Ait Bulgular	92
4.2.2.4. Mikrobiyal Solunuma Ait Bulgular	93
4.2.2.5. Mikrobiyal Biyokütle Karbona (MB_C) Ait Bulgular	94
4.2.2.6. Mikrobiyal Biyokütle Azota (MB_N) Ait Bulgular	94
4.2.2.7. Mikrobiyal Biyokütle Karbon/Mikrobiyal Biyokütle Azot (MB_C/MB_N) Oranına Ait Bulgular	95
4.2.2.8. Toprak Toplam Karbon İçeriğine Ait Bulgular	96
4.2.2.9. Toprak Toplam Azot İçeriğine Ait Bulgular	97
4.2.2.10. Topraktaki Karbon/Azot (C/N) Oranına Ait Bulgular	98
4.2.3. Kök Özellikleri İle Toprak Özellikleri Arasında İlişkilere Ait Bulgular	100
4.2.3.1. Kılcal kök özellikleri ile toprak özellikleri arasındaki ilişkilere ait bulgular	100
4.2.3.2. İnce kök özellikleri ile toprak özellikleri arasındaki ilişkilere ait bulgular	102
4.3. TÜRLER ARASI DEĞERLENDİRMEYE AİT BULGULAR	104

4.3.1. Kılcal Köklere Ait Bulgular.....	104
4.3.2. İnce Köklere Ait Bulgular	105
4.3.3. Toprak Özelliklerine Ait Bulgular	107
5. TARTIŞMA.....	108
5.1. TOPRAK ÖZELLİKLERİ	108
5.2. KÖK AYRIŞMASI VE ETKİLEYEN FAKTÖRLER.....	112
5.2.1. Kalan Kütle Miktarı	112
5.2.2. Ayrışma Sabiti “k”	113
5.2.3. Lignin ve Selüloz	114
5.2.4. Kök Karbon ve Azotu.....	115
5.2.5. Kök Besin Elementleri	116
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	118
7. KAYNAKLAR	120
8. EKLER	Error! Bookmark not defined.
Ek-1: Türler arası toprak özelliklerine ait varyans analizi sonuçları ..	Error! Bookmark not defined.
Ek-2: Türler arası toprak özelliklerinin zamansal değişimi..	Error! Bookmark not defined.
İNTİHAL RAPORU İLK SAYFASI.....	Error! Bookmark not defined.
ETİK KURUL İZİN YAZISI	Error! Bookmark not defined.
KURUM İZNİ YAZILARI.....	Error! Bookmark not defined.
ÖZGEÇMİŞ	Error! Bookmark not defined.

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2-1:Kök ayrışmasını etkileyen faktörler (Xu ve diğ.,2022 (değiştirilmiştir))	7
Şekil 3.1 Araştırma alanlarının coğrafi konumu (Akgül, 2012).....	10
Şekil 3.2: Alanların belirlenmesi	14
Şekil 3.3 :Alandan kök örneklerinin alınması	15
Şekil 3.4:Köklerin temizlenmesi ve kurutulması.....	15
Şekil 3.5: Köklerin Sınıflandırılması	16
Şekil 3.6:Ayrışma keselerinin hazırlanması	16
Şekil 3.7: Ayrışma keselerinin alana yerleştirilmesi	17
Şekil 3.8: Ayrışma keselerinin toplanması ve toprak örneklerinin alınması.....	17
Şekil 3.9: Toprak sıcaklığı ölçümü	18
Şekil 3.10: Mikrobiyal solunum için toprakların inkübasyon işlemi.....	19
Şekil 3.11: Titrasyon işlemi.....	20
Şekil 3.12: Fumigasyon örneklerinin inkübasyonu	21
Şekil 3.13:Mikrobiyal biyokütle karbon için hazırlanan çözeltiler	22
Şekil 3.14: Örneklerin yakılması işlemi.....	24
Şekil 3.15:Kjeldahl azot analiz cihazı.....	24
Şekil 3.16: Alandan toplanan keselerdeki kök örnekleri	26
Şekil 3.17: Köklerin temizlenip kurutulması	27
Şekil 3.18: Örneklerin kaynatılması	27
Şekil 3-19:Örneklerin yıkama işlemini	28
Şekil 3.20: Örneklerin filtrelenmesi.....	30
Şekil 4.1: Meşe kılcal ve ince köklerinin kalan kütle miktarlarının zamana göre değişimi	32

Şekil 4.2: Meşe kılcal ve ince köklerinin ayrışma sabitinin (k) zamana göre değişimi.....	33
Şekil 4.3: Meşe kılcal ve ince köklerinin azot içeriklerinin zamana göre değişimi	34
Şekil 4.4: Meşe kılcal ve ince köklerinin karbon içeriklerinin zamana göre değişimi	35
Şekil 4.5: Meşe kılcal ve ince köklerinin karbon/azot oranının zamana göre değişimi	37
Şekil 4.6: Meşe kılcal ve ince köklerinin ADF içeriğinin zamana göre değişimi	38
Şekil 4.7: Meşe kılcal ve ince köklerinin lignin içeriğinin zamana göre değişimi.....	39
Şekil 4.8: Meşe kılcal ve ince köklerinin selüloz içeriğinin zamana göre değişimi.....	41
Şekil 4.9: Meşe kılcal ve ince köklerinin lignin/azot oranlarının zamana göre değişimi	42
Şekil 4.10: Meşe kılcal ve ince köklerinin lignin/selüloz oranlarının zamana göre değişimi ..	43
Şekil 4.11: Meşe kılcal ve ince köklerinin fosfor içeriklerinin zamana göre değişimi.....	44
Şekil 4.12: Meşe kılcal ve ince köklerinin potasyum içeriklerinin zamana göre değişimi	45
Şekil 4.13: Meşe kılcal ve ince köklerinin magnezyum içeriklerinin zamana göre değişimi ..	47
Şekil 4.14: Meşe kılcal ve ince köklerinin kalsiyum içeriklerinin zamana göre değişimi.....	48
Şekil 4.15: Meşe kılcal ve ince köklerinin sodyum içeriklerinin zamana göre değişimi.....	49
Şekil 4.16: Meşe kılcal ve ince köklerinin alüminyum içeriklerinin zamana göre değişimi ...	51
Şekil 4.17: Meşe kılcal ve ince köklerinin demir içeriklerinin zamana göre değişimi.....	52
Şekil 4.18: Meşe kılcal ve ince köklerinin mangan içeriklerinin zamana göre değişimi.....	53
Şekil 4.19: Meşe kılcal ve ince köklerinin çinko içeriklerinin zamana göre değişimi	54
Şekil 4.20: Meşe kılcal ve ince köklerinin bakır içeriklerinin zamana göre değişimi	56
Şekil 4.21: Meşe örnek alanlarında toprak nem içeriğinin zamana göre değişimi.....	56
Şekil 4.22: Meşe örnek alanlarında toprak sıcaklığının zamana göre değişimi	57
Şekil 4.23: Meşe örnek alanlarında toprak pH'sının zamana göre değişimi.....	58
Şekil 4.24: Meşe örnek alanlarında toprak mikrobiyal solunumun zamana göre değişimi	59
Şekil 4.25: Meşe örnek alanlarında toprakların MB_C değerlerinin zamana göre değişimi	60
Şekil 4.26: Meşe örnek alanlarında toprakların MB_N değerlerinin zamana göre değişimi.....	60
Şekil 4.27: Meşe örnek alanlarında toprakların MB_C/ MB_N oranının zamana göre değişimi .	61
Şekil 4.28: Meşe örnek alanlarında toprak organik karbon içeriğinin zamana göre değişimi .	61

Şekil 4.29: Meşe örnek alanlarında toprakların azot içeriğinin zamana göre değişimi	62
Şekil 4.30: Meşe örnek alanlarında toprakların karbon/azot oranının zamana göre değişimi .	63
Şekil 4.31: Meşe örnek alanları kılcık köklere ait korelasyon analizi sonuçları	64
Şekil 4.32: Meşe örnek alanları ince köklere ait korelasyon analizi sonuçları	66
Şekil 4.33: Gürgen kılcık ve ince köklerinin kalan kütle miktarlarının zamana göre değişimi	68
Şekil 4.34: Gürgen kılcık ve ince köklerinin ayrışma sabitinin (k) zamana göre değişimi	69
Şekil 4.35: Gürgen kılcık ve ince köklerinin azot içeriklerinin zamana göre değişimi	70
Şekil 4-36: Gürgen kılcık ve ince köklerinin karbon içeriklerinin zamana göre değişimi	71
Şekil 4.37: Gürgen kılcık ve ince köklerinin kök karbon/azot oranının zamana göre değişimi	73
Şekil 4.38: Gürgen kılcık ve ince köklerinin ADF içeriğinin zamana göre değişimi	74
Şekil 4.39: Gürgen kılcık ve ince köklerinin lignin içeriğinin zamana göre değişimi.....	75
Şekil 4.40: Gürgen kılcık ve ince köklerinin selüloz içeriğinin zamana göre değişimi.....	76
Şekil 4.41: Gürgen kılcık ve ince köklerinin lignin/azot oranının zamana göre değişimi	78
Şekil 4.42: Gürgen kılcık ve ince köklerinin lignin/ kök azot oranlarının zamana göre değişimi	79
Şekil 4.43: Gürgen kılcık ve ince köklerinin fosfor içeriğinin zamana göre değişimi	80
Şekil 4.44: Gürgen kılcık ve ince köklerinin potasyum içeriğinin zamana göre değişimi.....	81
Şekil 4.45: Gürgen kılcık ve ince köklerinin magnezyum içeriğinin zamana göre değişimi...	83
Şekil 4.46: Gürgen kılcık ve ince köklerinin kalsiyum içeriğinin zamana göre değişimi	84
Şekil 4.47: Gürgen kılcık ve ince köklerinin sodyum içeriğinin zamana göre değişimi	85
Şekil 4.48: Gürgen kılcık ve ince köklerinin alüminyum içeriğinin zamana göre değişimi	86
Şekil 4.49: Gürgen kılcık ve ince köklerinin demir içeriğinin zamana göre değişimi.....	87
Şekil 4.50: Gürgen kılcık ve ince köklerinin mangan içeriğinin zamana göre değişimi	88
Şekil 4.51: Gürgen kılcık ve ince köklerin çinko içeriğinin zamana göre değişimi	90
Şekil 4.52: Gürgen kılcık ve ince köklerinin bakır içeriğinin zamana göre değişim.....	91
Şekil 4.53: Gürgen örnek alanlarında toprak nem içeriğinin zamana göre değişimi.....	91

Şekil 4.54: Gürgen örnek alanlarında toprak sıcaklığının zamana göre değişimi	92
Şekil 4.55: Gürgen örnek alanlarında toprak reaksiyonunun zamana göre değişimi	93
Şekil 4.56: Gürgen örnek alanlarında mikrobiyal solunumun zamana göre değişimi.....	93
Şekil 4.57: Gürgen örnek alanlarında toprakların MB_C değerlerinin zamana göre değişim....	94
Şekil 4.58: Gürgen örnek alanlarında toprakların MB_N değerlerinin zamana göre değişim....	95
Şekil 4.59: Gürgen örnek alanlarında toprakların MB_C/ MB_N oranının zamana göre değişimi	96
Şekil 4.60: Gürgen örnek alanlarında toprakların toplam toprak karbon içeriğinin zamana göre değişimi	97
Şekil 4.61: Gürgen örnek alanlarında toprakların toplam toprak azot içeriğinin zamana göre değişimi	98
Şekil 4.62: Gürgen örnek alanlarında toprakların toplam toprak karbon/toplam toprak azot oranının zamana göre değişimi.....	99
Şekil 4.63: Gürgen örnek alanları kılcal köklere ait korelasyon analizi sonuçları	101
Şekil 4.64: Gürgen örnek alanları ince köklere ait korelasyon analizi sonuçları	103

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 3.1: Bahçeköy Meteoroloji İstasyonuna ait bazı iklim verileri (1980-2009)	11
Tablo 3.2: Yeşil Çatı meteoroloji istasyonuna ait bazı iklim verileri (2021-2022).....	12
Tablo 4.1: Meşe kılcal ve ince köklerinin kalan kütle miktarına ait t-testi sonuçları.....	31
Tablo 4.2: Meşe kılcal ve ince köklerinin kalan kütlenin zamana göre varyans analizi.....	31
Tablo 4.3: Meşe kılcal ve ince köklerinin ayrışma sabitine ait t-testi sonuçları	32
Tablo 4.4: Meşe kılcal ve ince köklerinin ayrışma sabitinin zamana göre varyans analizi	32
Tablo 4.5: Meşe kılcal ve ince köklerinin azot içeriklerine ait t-testi sonuçları.....	33
Tablo 4.6: Meşe kılcal ve ince köklerinin azot içeriklerinin zamana göre varyans analizi	34
Tablo 4.7: Meşe kılcal ve ince köklerinin karbon içeriklerine ait t-testi sonuçları	35
Tablo 4.8: Meşe kılcal ve ince köklerinin karbon içeriklerinin zamana göre varyans analizi .	35
Tablo 4.9: Meşe kılcal ve ince köklerinin karbon/azot oranına ait t-testi sonuçları.....	36
Tablo 4.10: Meşe kılcal ve ince köklerinin karbon/azot oranlarının zamana göre varyans analizi	36
Tablo 4.11: Meşe kılcal ve ince köklerinin ADF içeriğine ait t-testi sonuçları	37
Tablo 4.12: Meşe kılcal ve ince köklerinin ADF içeriğinin zamana göre varyans analizi	37
Tablo 4.13: Meşe kılcal ve ince köklerinin lignin içeriklerine ait t-test sonuçları	38
Tablo 4.14: Meşe kılcal ve ince köklerinin lignin içeriklerinin zamana göre varyans analizi .	39
Tablo 4.15: Meşe kılcal ve ince köklerinin selüloz içeriklerine ait t-testi sonuçları	40
Tablo 4.16: Meşe kılcal ve ince köklerinin selüloz içeriklerinin zamana göre varyans analizi	40
Tablo 4.17: Meşe kılcal ve ince köklerinin lignin/kök azot oranına ait t-testi sonuçları.....	41
Tablo 4.18: Meşe kılcal ve ince köklerinin lignin/kök azot oranının zamana göre varyans analizi	41
Tablo 4.19: Meşe kılcal ve ince köklerinin lignin/selüloz oranına ait t-testi sonuçları	42

Tablo 4.20: Meşe kılcal ve ince köklerinin lignin/selüloz oranının zamana göre varyans analizi	43
Tablo 4.21: Meşe kılcal ve ince köklerinin fosfor içeriklerine ait t-test sonuçları.....	43
Tablo 4.22: Meşe kılcal ve ince köklerinin fosfor içeriklerinin zamana göre varyans analizi	44
Tablo 4.23: Meşe kılcal ve ince köklerinin potasyum içeriklerine ait t-test sonuçları	45
Tablo 4.24: Meşe kılcal ve ince köklerinin potasyum içeriklerinin zamana göre varyans analizi	45
Tablo 4.25: Meşe kılcal ve ince köklerinin magnezyum içeriklerine ait t-test sonuçları	46
Tablo 4.26: Meşe kılcal ve ince köklerinin magnezyum içeriklerinin zamana göre varyans analizi	46
Tablo 4.27: Meşe kılcal ve ince köklerinin kalsiyum içeriklerine ait t-test sonuçları	47
Tablo 4.28: Meşe kılcal ve ince köklerinin kalsiyum içeriklerinin zamana göre varyans analizi	48
Tablo 4.29: Meşe kılcal ve ince köklerinin sodyum içeriklerine ait t-test sonuçları.....	48
Tablo 4.30: Meşe kılcal ve ince köklerinin sodyum içeriklerinin zamana göre varyans analizi	49
Tablo 4.31: Meşe kılcal ve ince köklerinin alüminyum içeriklerine ait t-test sonuçları.....	50
Tablo 4.32: Meşe kılcal ve ince köklerinin alüminyum içeriklerinin zamana göre varyans analizi	50
Tablo 4.33: Meşe kılcal ve ince köklerinin demir içeriklerine ait t-test sonuçları	51
Tablo 4.34: Meşe kılcal ve ince köklerinin demir içeriklerinin zamana göre varyans analizi .	52
Tablo 4.35: Meşe kılcal ve ince köklerinin mangan içeriklerine ait t-test sonuçları.....	52
Tablo 4.36: Meşe kılcal ve ince köklerinin mangan içeriklerinin zamana göre varyans analizi	53
Tablo 4.37: Meşe kılcal ve ince köklerinin çinko içeriklerine ait t-test sonuçları.....	54
Tablo 4.38: Meşe kılcal ve ince köklerinin çinko içeriklerinin zamana göre varyans analizi .	54
Tablo 4.39: Meşe kılcal ve ince köklerinin bakır içeriklerine ait t-test sonuçları	55
Tablo 4.40: Meşe kılcal ve ince köklerinin bakır içeriklerinin zamana göre varyans analizi ..	55
Tablo 4.41: Gürgen kılcal ve ince köklerinin kalan kütle miktarına ait t-testi sonuçları.....	67
Tablo 4.42: Gürgen kılcal ve ince köklerinin kalan kütlenin zamana göre varyans analizi	67

Tablo 4.43: Gürgen kılcal ve ince köklerinin ayrışma sabitinin t-testi sonuçları.....	68
Tablo 4.44: Gürgen kılcal ve ince köklerinin ayrışma sabitinin zamana göre varyans analizi	69
Tablo 4.45: Gürgen kılcal ve ince köklerinin azot içeriklerine ait t-testi sonuçları	69
Tablo 4.46: Gürgen kılcal ve ince köklerinin azot içeriklerinin zamana göre varyans analizi	70
Tablo 4.47 : Gürgen kılcal ve ince köklerinin karbon içeriklerine ait t-testi sonuçları	71
Tablo 4.48: Gürgen kılcal ve ince köklerinin karbon içeriklerinin zamana göre varyans analizi	71
Tablo 4.49: Gürgen kılcal ve ince köklerinin kök karbon/azot oranına ait t-testi sonuçları	72
Tablo 4.50: Gürgen kılcal ve ince köklerinin kök karbon/azot oranının zamana göre varyans analizi	72
Tablo 4.51: Gürgen kılcal ve ince köklerinin ADF içeriğine ait t-testi sonuçları	73
Tablo 4.52: Gürgen kılcal ve ince köklerinin ADF içeriklerinin zamana göre varyans analizi	73
Tablo 4.53: Gürgen kılcal ve ince köklerinin lignin içeriklerine ait t-test sonuçları.....	74
Tablo 4.54: Gürgen kılcal ve ince köklerinin lignin içeriklerinin zamana göre varyans analizi	75
Tablo 4.55: Gürgen kılcal ve ince köklerinin selüloz içeriklerine ait t-test sonuçları	75
Tablo 4.56: Gürgen kılcal ve ince köklerinin selüloz içeriklerinin zamana göre varyans analizi	76
Tablo 4.57: Gürgen kılcal ve ince köklerinin lignin/selüloz oranına ait t-testi sonuçları.....	77
Tablo 4.58: Gürgen kılcal ve ince köklerinin lignin/selüloz oranının zamana göre varyans analizi	77
Tablo 4.59: Gürgen kılcal ve ince köklerinin lignin/kök azot oranına ait t-testi sonuçları.....	78
Tablo 4.60: Gürgen kılcal ve ince köklerinin lignin/ kök azot oranının zamana göre varyans analizi	78
Tablo 4.61: Gürgen kılcal ve ince köklerinin fosfor içeriklerine ait t-test sonuçları.....	79
Tablo 4.62: Gürgen kılcal ve ince köklerinin fosfor içeriklerinin zamana göre varyans analizi	80
Tablo 4.63: Gürgen kılcal ve ince köklerinin potasyum içeriklerine ait t-test sonuçları.....	80
Tablo 4.64: Gürgen kılcal ve ince köklerinin potasyum içeriklerinin zamana göre varyans analizi	81

Tablo 4.65: Gürgen kılcal ve ince köklerinin magnezyum içeriklerine ait t-test sonuçları	82
Tablo 4.66: Gürgen kılcal ve ince köklerinin magnezyum içeriklerinin zamana göre varyans analizi	82
Tablo 4.67: Gürgen kılcal ve ince köklerinin kalsiyum içeriklerine ait t-test sonuçları.....	83
Tablo 4.68: Gürgen kılcal ve ince köklerinin kalsiyum içeriklerinin zamana göre varyans analizi	83
Tablo 4.69: Gürgen kılcal ve ince köklerinin sodyum içeriklerine ait t-test sonuçları.....	84
Tablo 4.70: Gürgen kılcal ve ince köklerinin sodyum içeriklerinin zamana göre varyans analizi	85
Tablo 4.71: Gürgen kılcal ve ince köklerinin alüminyum içeriklerine ait t-test sonuçları	85
Tablo 4.72: Gürgen kılcal ve ince köklerinin alüminyum içeriklerinin zamana göre varyans analizi	86
Tablo 4.73: Gürgen kılcal ve ince köklerinin demir içeriklerine ait t-test sonuçları.....	87
Tablo 4.74: Gürgen kılcal ve ince köklerinin demir içeriklerinin zamana göre varyans analizi	87
Tablo 4.75: Gürgen kılcal ve ince köklerinin mangan içeriklerine ait t-test sonuçları.....	88
Tablo 4.76: Gürgen kılcal ve ince köklerinin mangan içeriklerinin zamana göre varyans analizi	88
Tablo 4.77: Gürgen kılcal ve ince köklerinin çinko içeriklerine ait t-test sonuçları	89
Tablo 4.78: Gürgen kılcal ve ince köklerinin çinko içeriklerinin zamana göre varyans analizi	89
Tablo 4.79: Gürgen kılcal ve ince köklerinin bakır içeriklerine ait t-test sonuçları.....	90
Tablo 4.80: Gürgen kılcal ve ince köklerinin bakır içeriklerinin zamana göre varyans analizi	90
Tablo 4.81: Türlerle ait kılcal kök özelliklerinin t-testi sonuçları	104
Tablo 4.82: Türlerle ait ince kök özelliklerinin t-testi sonuçları	105
Tablo 4.83: Türler arası toprak özelliklerine ait t-testi sonuçları	107

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Kısaltmalar	Açıklama
Al	:Alüminyum
BaCl ₂	: Baryum klorid
C	: Karbon
Ca	: Kalsiyum
C/N	: Karbon/Azot
cm	:Santimetre
Cu	: Bakır
CuSO ₄	: Bakır sülfat
d _{wt}	: 1 gram nemli toprağın kuru ağırlığı
Fe	:Demir
g	: Gram
HCl	: Hidro klorik asit
H ₂ SO ₄	:Sülfirik asit
K	: Potasyum
k	: Ayrışma katsayısı
K ₂ SO ₄	: Potasyum sülfat
K ₂ Cr ₂ O ₇	: Potasyum dikromat
Mg	:Magnezyum
mg	: Miligram
ml	: Mililitre
mm	: Milimetre
Mn	:Mangan
µg	:Mikrogram
N	:Azot
Na	:Sodyum
NaOH	:Sodyum hidroksit

P	: Fosfor
V	: Titrasyonda örnek için harcanan hidroklorik asitin miktarı
V₀	: Titrasyonda kör için harcanan hidroklorik asitin miktarı
Zn	:Çinko



ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MEŞE VE GÜRGEN MEŞCERELERİNDE KÖK AYRIŞMASININ ZAMANSAL DEĞİŞİMİ

HALENUR YAVUZ

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Orman Mühendisliği Anabilim Dalı

Orman Mühendisliği, Tezli Yüksek Lisans Programı

Danışman: Doç. Dr. Serdar AKBURAK

Bu çalışmada İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Orman Fakültesi Eğitim ve Araştırma Ormanında 2021 – 2022 yılları arasında Macar meşesi (*Quercus frainetto* Ten.) ve adi gürgen (*Carpinus betulus* L.) meşcerelerinde kök ayrışmasının zamansal değişimi incelenmiştir. Her iki tür için de farklı çap sınıflarına ait ayrışma keseleri hazırlanmıştır. Bu ayrışma keselerinin içine yerleştirilen köklerin kalan kütle miktarı, ayrışma sabiti “k”, lignin ve selüloz miktarı, kökte karbon, azot ve besin içerikleri belirlenmiştir. Ayrıca ayrışmaya etki eden toprak özelliklerinden toprak sıcaklığı, toprak nemi, toprak pH’sı, toprak karbon ve azot içerikleri, mikrobiyal solunum, mikrobiyal biyokütle karbon ve azot miktarları incelenmiştir.

Bir yıl süren araştırma boyunca meşe türünün kılcal köklerinde yaklaşık %33 ince köklerde ise %30’luk kısım dönüşüm uğrarken gürgende ise kılcal köklerde yaklaşık %36 ince köklerde %48’lik bir dönüşüm söz konusudur. Ayrışma sabiti “k” her iki türde de zamansal olarak azalma göstermiş ve ortalama meşe köklerinde kılcal köklerde 0,56 ince köklerde 0,52 arasında; gürgende ise kılcal köklerde 0,55 ince köklerde ise 0,80 arasındadır. Ayrıca her iki kök sınıfı için %95’ nin ayrışması için gerekli zamanın kılcal köklerde 5,4 yıl ince köklerde ise 5,8 yıl

olduğu, belirlenirken gürgende kök sınıfının %95'nin ayrışması için gerekli olan zamanın kılcal kökte 5,5 yıl ince kökte ise 3,8 yıl belirlenmiştir Köklerdeki lignin miktarı, meşe türünün kılcal köklerinde ortalama % 60,91, ince köklerde ise %59,54; gürgen türünde kılcal köklerde %58,25, ince köklerde %62,3 olarak mevcutken selüloz miktarı ise meşe kılcal köklerde ortalama %2,22, ince köklerde %2,79 olarak tespit edilirken gürgen kılcal köklerinde ise %2,85, ince köklerde %4,27 olarak bulunmuştur. Kökteki karbon miktarı meşenin kılcal köklerinde %41 ile %49,9 arasında ince köklerde ise %43,5 ile %49,54 arasında bulunmuştur. Gürgen kılcal köklerinde karbon %43,2 ile %50,68 arasında mevcutken ince köklerde %41,79 ile %48,5 arasındadır. Azot içeriği ise meşe kılcal köklerde %1,37 ile %1,66 arasında ince köklerde ise %1,28 ile %1,61 arasında bulunmaktadır. Gürgen türünde ise azot oranı kılcal köklerde %1,37 ile %1,66 ince köklerde %1,28 ile %1,61 arasındadır. Bitki besin elementleri ise iki kategori olmak üzere makro (P, K, Mg, Ca ve Na) ve mikro (Al, Fe, Mn, Zn ve Cu) besin elementleri olarak değerlendirilmiştir. Her iki türde makro ve mikro elementler kılcal köklerde yüksek seviyede olduğu tespit edilmiştir. Toprak örneklerinde ise mikrobiyal solunum, mikrobiyal biyokütle azot ve mikrobiyal biyokütle karbon miktarlarına bakılmıştır. Mikrobiyal solunum meşe topraklarında en yüksek haziran ve en düşük eylül ayında, gürgen meşcerelerinde ise en yüksek mart ve nisan aylarında, en düşük aralık ayında belirlenmiştir. Mikrobiyal solunumda her iki türün topraklarında kış aylarında düşüş görülmüştür. Meşe türünün topraklarında mikrobiyal biyokütle azot miktarı en yüksek ekim ayında en düşük mayıs ayında bulunmuştur. Mikrobiyal biyokütle karbon miktarı ise en yüksek nisan ayında en düşük ocak ayında ölçülmüştür. Gürgende ise mikrobiyal biyokütle azot miktarı en yüksek temmuz ayında en düşük kasım ayında mikrobiyal biyokütle karbon miktarı en yüksek nisan ayında en düşük mayıs ayında ölçülmüştür.

Kök sınıfları dikkate alınarak yapılan korelasyon analizine göre ise meşe köklerinde kalan kütlenin ayrışma katsayısı, mikrobiyal biyokütle azot ve mikrobiyal biyokütle karbon ile negatif ilişki olduğu toprak özellikleri arasında ise toprak nemi ile toprak sıcaklığı, toprak karbonu ve toprak karbon/azot miktarı arasında kuvvetli bir negatif ilişki belirlenmiştir. Gürgende ise kök sınıflarında ortak olarak kalan kütle miktarı ile kök karbon/kök azot oranı pozitif yönde; kök azot miktarı, mikrobiyal biyokütle karbon, ve mikrobiyal biyokütle karbon/mikrobiyal biyokütle azot ile negatif ilişkisi tespit edilmiştir. Toprak özellikleri arasındaki ilişki değerlendirildiğinde mikrobiyal solunumun, topraktaki azot miktarı negatif yönde, topraktaki karbon/azot miktarı pozitif yönde ilişkisi tespit edilmiştir. Toprak nemi bakımından toprak sıcaklığı ve pH ile negatif yönde ilişki bulunmaktadır.

Yapılan çalışma sonucu değerlendirildiğinde her iki ağağ türünde de kütle kaybının ilk üç aylık dönemde daha çok olduğu ve mevsimsel değişiminde önemli olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte aynı yetişme ortamı içerisinde ayrışma üzerinde farklı etki faktörlerinin olduğunu ve karmaşık ilişkilerin söz konusu olduğunu göstermiştir.

Nisan 2024 , 162 sayfa.

Anahtar Kelimeler: Ayrışma Sabiti, Ayrışmayı etkileyen faktörler, Lignin, *Quercus frainetto* Ten., *Carpinus betulus* L.



ABSTRACT

M.Sc. THESIS

TEMPORAL VARIATION OF ROOT DECOMPOSITION İN OAK AND HORNBEAM STANDS

Halenur YAVUZ

İstanbul University-Cerrahpaşa

Institute of Graduate Studies

Department of Forest Engineering

Forest Engineering, Thesis-Based Master's Program

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Serdar AKBURAK

In this study, the temporal changes in root decomposition were investigated in the oak (*Quercus frainetto* Ten.) and hornbeam (*Carpinus betulus* L.) stands in the Istanbul University-Cerrahpaşa Faculty of Forestry Education and Research Forest between 2021 and 2022. Decomposition bags were prepared for different diameter classes for both species. The remaining mass of roots placed in these decomposition bags, decomposition coefficient "k", lignin and cellulose content, carbon and nitrogen content in the roots, and nutrient contents were examined, while the soil samples affecting decomposition were analyzed for soil temperature, soil moisture, soil pH, soil carbon and nitrogen content, microbial respiration, and microbial biomass carbon and nitrogen content.

During the one-year study period, approximately 33% of fine roots and 30% of coarse roots of oak underwent decomposition, while in hornbeam, approximately 36% of fine roots and 48% of coarse roots underwent decomposition. The decomposition coefficient "k" showed a temporal decrease in both species, ranging from 0.56 to 0.52 in oak fine roots and 0.55 to 0.80 in hornbeam fine roots. Additionally, the time required for 95% decomposition for both root classes was determined to be 5.4 years for fine roots and 5.8 years for coarse roots in oak, while in hornbeam, it was 5.5 years for fine roots and 3.8 years for coarse roots. The lignin content in oak roots averaged 60.91% in fine roots and 59.54% in coarse roots, while in hornbeam roots,

it was 58.25% in fine roots and 62.3% in coarse roots. The carbon content in oak roots ranged from 41% to 49.9% in fine roots and from 43.5% to 49.54% in coarse roots, while in hornbeam roots, it ranged from 43.2% to 50.68% in fine roots and from 41.79% to 48.5% in coarse roots. The nitrogen content in oak roots ranged from 1.37% to 1.66% in fine roots and from 1.28% to 1.61% in coarse roots, while in hornbeam roots, it ranged from 1.37% to 1.66% in fine roots and from 1.28% to 1.61% in coarse roots. Plant nutrient elements were evaluated as macro (P, K, Mg, Ca and Na) and micro (Al, Fe, Mn, Zn, and Cu) nutrient elements. Macro and micro elements were found to be at high levels in fine roots in both species. Soil samples were analyzed for microbial respiration, microbial biomass nitrogen, and microbial biomass carbon. Microbial respiration in oak soils was highest in June and lowest in September, while in hornbeam stands, it was highest in March and April and lowest in December. Both species showed a decrease in microbial respiration during winter months. The microbial biomass nitrogen in oak soils was highest in October and lowest in May, while microbial biomass carbon was highest in April and lowest in January. In hornbeam, microbial biomass nitrogen was highest in July and lowest in November, while microbial biomass carbon was highest in April and lowest in May.

Correlation analysis based on root classes revealed a negative relationship between remaining mass and decomposition coefficient, microbial biomass nitrogen, and microbial biomass carbon in oak roots. Among soil properties, a strong negative relationship was found between soil moisture and soil temperature, soil carbon, and soil carbon/nitrogen ratio. In hornbeam, a positive correlation was observed between remaining mass and root carbon/root nitrogen ratio, while a negative correlation was observed with root nitrogen content, microbial biomass carbon, and microbial biomass carbon/microbial biomass nitrogen. Evaluation of the relationship between soil properties showed a negative relationship between microbial respiration and soil nitrogen content and a positive relationship with soil carbon/nitrogen ratio. Soil moisture was negatively correlated with soil temperature and pH.

In conclusion, the study indicated that mass loss was higher in the first three months and varied seasonally in both tree species. However, it has been shown that there are different influencing factors on decomposition within the same growing environment and that there are complex relationships.

April 2024, 162. pages.

Keywords: Decomposition constant, Factors Influencing Decomposition, Lignin, *Quercus frainetto* Ten., *Carpinus betulus* L.

1. GİRİŞ

İklim değişikliğine bağlı ısınma günümüzde tüm dünya açısından ciddi çevre sorunlarından biri haline gelmiştir. Küresel ısınmanın nedenleri arasında en önemlisi insan faaliyetlerdir (örneğin ormansızlaşma, biyokütle yakma, toprak erozyonu, fosil yakıtlar vb.). Bu faaliyetler yoluyla sera gazları sürekli olarak atmosfere salınmakta ve bu da Dünya sıcaklığının artmasına sebep olmaktadır. Yüksek CO₂ konsantrasyonları küresel ısınmaya neden olurken küresel ısınma da doğal karbon döngüsünü bozarak çevreye daha fazla CO₂ verilmesine sebep olmaktadır. Böylece bu döngü, dünya üzerinde yıkıcı etkiler yaratacak şekilde devam etmektedir. Bu sürecin sadece insanlar üzerinde değil aynı zamanda bitkiler ve diğer canlılar üzerinde de önemli etkileri vardır (Mehmood ve diğ.,2020). Örneğin geniş ölçekli ormansızlaşma bitkiler ve yaban hayvanları için sorundur. Ormansızlaşma yılda yaklaşık 7 milyar ton karbonun karbondioksit olarak atmosfere salınmasına sebebiyet vermektedir (Houghton ,2005).

Doğada karbon, biyolojik bileşiklerin yanı sıra kireçtaşı gibi minerallerin de ana bileşenidir. Doğada başlıca karbon rezervleri atmosfer, okyanus, bitki, toprak ve fosil yakıtlardır. Bir rezervde bulunan karbon konsantrasyonu bozulursa, bu durum otomatik olarak diğer rezervlerdeki karbon konsantrasyonunu da etkiler. Karbon döngüsü, yeryüzünde yaşamı sürdürülebilir kılan önemli döngülerden biridir (Battin ve diğ., 2009). Dünyadaki yaşam ve toprak sağlığı için gereklidir. Örneğin mikroorganizmalar, karbon bileşiklerini kararlı, hayat veren organik bileşiklere dönüştürmede önemli bir rol oynamaktadır (McDonough, 2016).

Atmosferdeki CO₂ miktarını azaltmak için ekosistemlerde bulunan karbon tutulması artırılması önem arz etmektedir. Bu yüzden son yıllarda orman biyokütleleri, karbon havuzlarını ve akışlarında önemli bir rol oynadığı için büyük ilgi duyulmaktadır (Vogt ve diğ., 1998). Özellikle yer altında bulunan kökler besin ve su alımı için birincil yoldur (George ve diğ., 1998). Karasal ekosistemlerde birincil üretimin en önemli kısmını toprakaltı bitki kısımları yıllık toplam üretimin %15-83 arasındaki kısmını oluşturur (Konning ve diğ.,1992).

Kökler, bitkinin büyüyüp çevreye uyum sağlaması için önemli bir organı olmakla beraber toprakta bulunan su ve besinleri alarak bitkinin diğer organlarına ulaşmasını sağlamaktadır. Köklerin hayatta kalmaları karbon döngüsü için önem taşımaktadır. Çünkü kök ayrışması karbonun dağılım sürecinde önemli bir bağlantı sağlamaktadır (Xiao ve diğ., 2017). Aynı

zamanda kök ayrışması toprağın organik madde açısından önemli bir kaynağıdır (Chen ve diğ., 2015). Bitkilerin yer altındaki dokularının ayrışması topraktaki karbon ile besin döngüsüne önemli oranda katkı sağlamaktadır (Aerts ve Chapin, 2000).

Bu çalışma ile İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Orman Fakültesi Araştırma ve Uygulama Ormanında Macar meşesi (*Quercus frainetto* Ten.) ve adi gürgen (*Carpinus betulus* L.) meşcerelerinde kök ayrışmasının zamansal değişimini ortaya koymak amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda farklı çapa sahip köklerin kütle kaybının zamansal değişimi ve bu süreç içerisinde çevresel faktörlerin yaptığı etkiler ve etkileşimlerin belirlenmesi hedeflenmiştir. Bu amaç ve hedefler doğrultusunda aşağıdaki hipotezler oluşturulmuştur;

H₁: Türler arasında kök ayrışması (kütle kaybı) bakımından farklılık yoktur

H₂ : Kök çap sınıfları bakımından ayrışma farklılık yoktur

H₃ : Hem türler arasında hem de kök çap sınıfları arasında zamansal farklılık yoktur

H₄ : Türlere göre kök kimyasının ayrışma üzerinde önemli etkisi yoktur.

H₅ : Kök ayrışması üzerinde toprağın fiziksel özelliklerinin önemli etkisi yoktur.

H₆: Kök ayrışması üzerinde toprağın kimyasal özelliklerinin önemli etkisi yoktur.

H₇ : Kök ayrışması üzerinde toprağın mikrobiyal özelliklerinin önemli etkisi yoktur.

2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

2.1. MACAR MEŞESİ (*Quercus frainetto* Ten.)

Ülkemizin %32'sini yani 7 346 991 hektar geniş yapraklı ağaçlar oluşturmaktadır. Meşe türü (*Quercus* sp.) 6.833.264 hektarını oluşturmaktadır. Ülkemizde on sekiz tane meşe taksonu bulunmaktadır (OGM, 2022). Meşeler çok uzun yıllar yaşayabilirler bu yüzden ileri yaşlarında bile kütük ve kök sürgünü oluşturabilirler. Kök yapısı olarak çok derinlere kadar inmektedir, en ağır müdahalelere karşı kendilerini yenileyebilme özelliğine sahiplerdir. Meşelerin hem odunu hem yan ürünleri hem de tür zenginliği çok değerlidir. (Yaltırık 1984)

Araştırmanın yapıldığı türlerden biri olan Macar meşesinin (*Quercus frainetto*) yaprakları geniş ve iri yapraklara sahip (azami 20 x 13 cm büyüklüğünde) genel olarak ters yumurta şeklindedir. Yaprakların her iki tarafı da yıldız tüylerle kaplıdır. Yaprak ayasının yan taraflarında dar ve derin oyuntulu 6-9 lop bulunmaktadır. Yaprak sapı çok kısadır ve yaprağın dip tarafında bulunan kulakçıklar kısa sapın üzerini kapamaktadır (Yaltırık ve Efe, 2000).

Macar meşesi 30 metreye kadar boylanabilir. Yaprak döker büyük bir ağaçtır. Kalın dal yapısına ve geniş tepeye sahip bir ağaçtır. Yaşlı ağaçların gövde yapıları açık-gri kahverengi ve kabukları dar şerit şeklinde çatlaklıdır. Sürgünlerin uç kısımları terminal tomurcuk olup yan tomurcuklar ise sürgünlere sarmal şeklinde dizilmiştir. Genç olan sürgünler oldukça kalındır, gri-kahverengi rengindedir ve bazen çıplak görülürken bazen tüylü bir yapıya sahiptir. Tomurcuklar köşeli, içleri dolgun, kahverengi renkli ve oldukça büyük olup sık tüylerle kaplanmıştır (Yaltırık ve Efe, 2000).

Quercus frainetto, Balkan Yarımadası'na özgü bir türdür ve ayrıca genel olarak yayılışı Güney İtalya ve Kuzey-Batı Türkiye'dir. Macar meşesi olarak da bilinmesine rağmen, Macaristan'daki varlığı düzensizdir. Bu meşe, Akdeniz altı florasının bir unsurudur ve genellikle, dağılım aralığı boyunca diğer meşe türleri ile karışık orman oluşturmaktadır. Gelecekte ise ısınmaya bağlı olarak dağılımının İspanya, Fransa ve Kuzey İtalya'ya kadar genişleyeceği tahmin edilmektedir (Mauri ve diğ., 2016).

Araştırma ve uygulama ormanında mevcut olan Macar meşeleri 180-236 m rakımlar arasında değişiklik göstermektedir. Macar meşesi 50-110 m rakımlar arasında çoğunlukla güney bakılı orta ve üst yamaçlarda hâkim olarak ağaç toplulukları meydana getirirken kestane, adi gürgen ve ıhlamur ile karışık ormanlar oluşturmaktadır. Toprak türü genellikle kumlu kil, balçıklı kil,

kumlu killi balçık, balçıklı kil\kil türündendir. Fakat toprak türünde çok seçici değildir (Kantarcı ve Tolunay, 1996).

2.2. ADİ GÜRGEN (*Carpinus betulus* L.)

Gürgen türleri kışın yaprağını döken ve gölgeye dayanabilen türlerdir. Kütük sürgünü vermektedir bu yüzden baltalık orman kurabilir. Meşe ile karışık orman kurabilmektedir ve aslında bakılırsa meşe türlerine bağlıdır. Nemli bölgelerde yetiştirmeyi tercih ederler (Ürgeç ve Çepel ,2001). Ülkemizde Ege, Marmara, Trakya ve Kuzey-Doğu Anadolu Bölgelerinde yayılış göstermektedir (OGM 2006,2012). Ülkemizde adi gürgen (*Carpinus betulus* L.) ve doğu gürgeni (*Carpinus orientalis* Mill.) türleri yayılış göstermektedir.

Diğer araştırma türümüz olan adi gürgen (*Carpinus betulus* L.) gölgeye dayanıklı bir ağaç türüdür. Işık isteği azdır ve kışın yapraklarını döker. Gölge ağacı olan gürgen, meşe türleri ile karışık orman oluşturmaktadır. Bol miktarda sürekli olarak kütük sürgünü vermektedir (Yaltırık ve Efe, 2000). Bu kütük sürgünleri meşe ağaçlarına özellikle gençliğe zarar verebilir. Bu yüzden meşe ağaçlarının alt ve ara katlarında bulunması daha sağlıklıdır (Atar ,2013).

Adi gürgen 20-25 metreye kadar boylanabilmektedir. Gövde kabukları çatlamaz ince ve düzgün şekilde olup açık gri rengindedir. Tomurcukları kestane kırmızısı renginde, uçları sivri, çok pullu ve çıplaktır. Sürgün yapısı ise az tüyle veya çıplak olup üzerinde bulunan lentisel yapıları büyüktür. Genel yayılış alanı aslında bütün Avrupa Baltık Memleketi Kafkasya ve İran'dır. Ülkemizde ise yayılışı Marmara Bölgesi, Trakya ve Karadeniz Bölgesinde görülmektedir (Yaltırık ve Efe, 2000).

Toprak yapısı olarak kum, kil, balçık, asidik ve alkali olan toprak türlerinde yetiştirmektedir. Nemli bölgelerde yetiştirmeyi severken kuraklığa karşı dayanıklı bir türdür (Atar, 2013).

Araştırma ve uygulama ormanının her yükseltisinde ve durgun su görülen topraklarında hâkim olarak görülen ağaç türüdür. Fakat ıhlamur ve kestanenin olduğu alanlarda, yamaçların güney bakan yüzeydeki orta derin ya da sıg ve taş miktarı fazla olan topraklarda çok az bulunmaktadır. Bu durum adi gürgenin toprak taşlılığı, derinliği ve türü ile bir ilişkisi olarak su tutma kapasitesine göre yayılış gösterdiği dikkat çekmektedir (Kantarcı ve Tolunay, 1996).

2.3. KÖKLERİN ÖNEMİ

Kök sistemi, bitkilerin büyüyüp çevreye uyum sağlayabilmesi için çok önemli olan, toprak kısmından su ve besinleri alan bitki organıdır (Zhao ve diğ., 2022). Ağaç kökleri bitkilerin yıllık kullandıkları karbonun yarısından fazlasını kullanabilmektedirler (Hendrick ve diğ., 1993). Kökler, toprak organik materyalinin ana kaynağı ve toprak mikrobiyal aktivitesi ile ayrışma süreçlerini etkileyen anahtar bir bileşendir (Janssens ve diğ., 2002). Karasal ekosistemlerde karbon değişiminde ve besin alımında büyük bir rol üstlenmektedirler. Bu yüzden biyo jeokimyasal döngüde kökler önemli yer kaplamaktadır. Köklerin de dahil olduğu yer altı bileşenleri, toplam orman ekosistemi üretkenliği ve biyokütlesine önemli ölçüde katkı bulunurlar (Prescott ve diğ., 2016).

Ekoloji araştırmalarında eskiden genellikle dikkate alınmayan kökler orman topraklarında önemli derecede karbon tutulmasında temel belirleyici faktör olarak görülmektedir (Prescott ve diğ., 2016). Ağaç kökleri ekosistemlerde kilit bir faktör olmasına ve orman ekosistemlerinde de büyük miktarlarda organik madde ve besin depolamasına rağmen, kök ayrışmasına ilişkin çalışmaların sayısı yetersizdir (See ve diğ. 2019).

Kökler oldukça heterojen ve hiyerarşik bir yapıya sahiptirler. Kökler çap ve düzen bakımından farklılık gösterirken anatomi, morfolojik ve fizyolojik olarak da çok farklı yapıdadırlar (Liu ve diğ., 2018). Kökler kılcal kök (<2mm), ince kök (2-5 mm) ve kaba kök (>5 mm) olmak üzere üç çap sınıfına ayrılabilir (Tüfekçioğlu ve Küçük, 2010; Liu ve diğ., 2019; Akburak, 2020).

Kılcal kökler (<2 mm), kök sisteminde kısa ömürlü olan çap sınıfı (Lai ve diğ., 2015) olduğundan ksilem içermezler (Zhao ve diğ., 2022). Kılcal kökler (<2 mm) ekosistemde karbon havuzunun önemli bir kısmını oluşturmaktadır (McCormack ve diğ., 2015). Karasal ekosistemlerin besinleri için önemli bir kaynak ve yutak alanlarıdır (Gordon ve diğ., 2000). Kılcal kökler, güçlü bir fizyolojik aktiviteye ve diğer kök sınıflarına göre daha yüksek devir hızına sahiptirler (Zhao ve diğ., 2022). Önemli besin kaynağı olmasının yanında toprak karbonu açısından zengindir (Zhao ve diğ., 2022). Kılcal kök biyokütlesi, orman ekosistemlerinin yeraltı biyokütlesinin sadece %3-%30'unu oluşturmasına rağmen üretimde %33-67'lik bir oranda katkı sağlamaktadır. Kök döngüsü, birim zamanda birim alan başına bitkilerden toprağa karbon ve besin akışını ifade ederken küçük çapa sahip yeni köklerin üretimi, eski köklerin çürümesi ve ölümünden kaynaklanır (Zhao ve diğ., 2022).

Kılcal kökler yapraklara göre daha yavaş ayrışır. Bu yüzden yapraklar ile karşılaştırıldığında toprağın karbon depolaması durumuna katkı miktarı net değildir (Sun ve diğ., 2018). Kılcal köklerin yavaş ayrışması yapraklara göre daha fazla lignin ve daha düşük azot bulundurması ile ilişkilendirilmektedir (Zahng ve diğ., 2008). Son zamanlarda yapılan bir çalışmada azotun olumlu etkisi ve ligninin köklerde ayrışma oranına olumsuz etkilerini ortaya koyarken son 20 yılda kök ayrışması ile ilgili çalışmalar artsa bile hala ölü örtü ayrışması kadar anlaşılamamıştır (See ve diğ., 2019). Kılcal kökler canlı köklerden kararsız karbonları ayrıştırarak ve ölü köklerin dönüşümü sırasında çevredeki topraklarla etkileşime girerek ayrışmasına yardımcı olur. Böylece mikrobiyal aktiviteyi uyararak kısa ve uzun vadeli toprak karbon havuz dinamiklerine aracılık yapar (Tefs ve Gleixner, 2012).

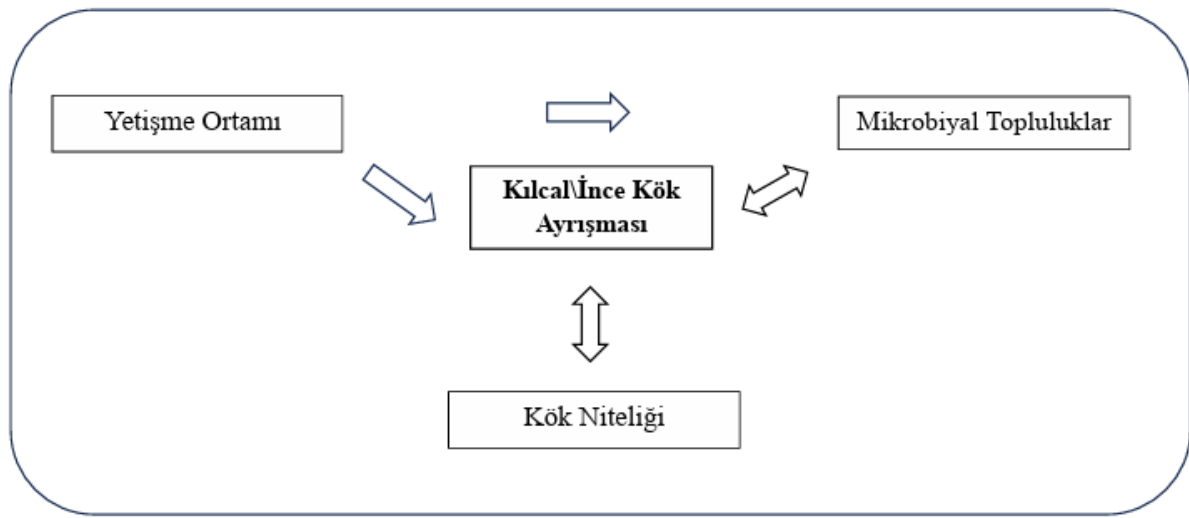
Toplam toprak ekosistem biyokütlesini ağırlık bazında genelini kaba kökler (> 5 mm) oluştururken ince köklere (2-5 mm) göre katkısı da daha fazladır fakat yıllık kök üretiminin küçük bir kısmını oluşturmaktadırlar. İnce kökler toprak ekosistem biyokütlesinin %2 den daha küçük bir bölümünü oluştururken toplam ekosistem üretiminde katkısı %40 a kadar çıkmaktadır. Kılcal kökler ise toplam toprak biyokütlesinde küçük bir bölüm oluştururken döngü hızları çok yüksektir (Chen ve diğ., 2004).

Kaba kökler kök sistemi biyokütlesinin genelini temsil ederken daha küçük çaplı kökler (kılcal ve ince kökler) kök sisteminin yüzey alanının çoğunu oluşturmaktadır. Kaba kökler su ve besin maddelerini uzun mesafeli taşıma yolları ile iletirken daha küçük kökler ise su ve besin alımından sorumlu bölgeleri oluşturur. Kök çap sınıfları ekosistemde önemli bir yer kaplamaktadır. Kök çapları büyüdükçe toprak gözenekliliğine katkı sağlarlar bunun yanı sıra gözenekliliği etkilerken mikrobiyal toplulukların, mezo ve mikro faunalar için habitatlar oluşturarak önemli bir yere sahiptir (Blouin ve diğ., 2007).

Ayrışma konusunda yapılan son çalışmalarda köklerde, ölü örtüye göre daha fazla karbon (C) tutulduğu belirlenmiştir (Solly ve diğ., 2014). Bu yüzden ayrışma sonucu oluşan ölü kökler karasal ekosistemde karbonun en büyük toprak organik maddesinin temel kaynağıdır (Solly ve diğ., 2014). Bu doğrultuda kök biyokütlesi ve ayrışması üzerinde yapılacak çalışmaların sayısının artırılması önemli arz etmektedir.

2.4.KÖK AYRIŞMASINI ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Kök ayrışması fiziksel, kimyasal ve biyolojik olarak karmaşık bir süreçten oluşmaktadır (Şekil 2.1). Ayrışma sürecinde ortaya çıkan bitki besin elementlerini bitkinin karbon, azot, lignin, polifenol içerikleri, mikrobiyal aktivite ile toprak nemi ve sıcaklığı, etkilemektedir. Bu faktörleri 3 ana grup altına toplanıldığında (Bloomfield ve diğ., 1993); ölü örtü miktarı ve niteliği, mikrobiyal topluluklar ve yetiştirme ortamı şeklinde karşımıza çıkar. Bu faktörler arasındaki ilişki de karmaşıktır (Smith ve diğ., 2014). Genellikle faktörlerin etkisi yetiştirme ortamı>ölü örtü>mikrobiyal topluluk olarak sıralanmaktadır (Aerts, 2006) (Şekil 2.1).



Şekil 2.1:Kök ayrışmasını etkileyen faktörler (Xu ve diğ.,2022 (değiştirilmiştir))

Bitkilerin diğer canlı ve cansız varlıkla karşılıklı etkileşimleriyle şekillene alan yetiştirme ortamı olarak adlandırılmaktadır. Yetiştirme ortamını şekillendiren faktörler iklim, topoğrafya, toprak/anakaya ve diğer canlılardır. Topografya; eğim, bakı ve yükselti bakımından önemli etkilere sahiptir. Özellikle mikro iklim koşullarının değişmesinde etkin rol oynamaktadır. Bu değişimler sonucunda toprak sıcaklığı, nem, pH gibi toprak özellikleri etkilenecek ayrışma üzerinde etki yaratırlar (Çepel, 1984). Hendrick ve Pregitzer (1993), Amerika'nın Michigan eyaletinde yaptığı çalışmada kayın, meşe ve akçaağaç karışık ormanlarında ince kök kütlesinin gölgeli bakılarda daha az bulunurken güneşli bakılarda daha çok bulunduğunu tespit etmişlerdir. Başka bir çalışmada Sarıyıldız ve diğ. (2010) sarıçam (*Pinus sylvestris* L.), doğu ladini (*Picea orientalis* L.) ve kızılğöbeği (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.) türlerinin kılcal (<2 mm) ve ince köklerin (2-5 mm) ayrışması üzerine topoğrafyanın ve toprak derinliğinin etkisini 2 yıl

süreyile araştırılmıştır ve güney bakılardaki ağaçların kök ayrışma oranlarının kuzey bakılara göre daha çok olduğu belirlenmiştir.

Yıl içerisinde mevsimsel değişikliğe bağlı olarak toprak sıcaklığını, toprak nemini, ölü örtü ayrışması sonucu toprağa karışarak ayrışan organik maddenin kök çevresinde birikmesi, kök hareketliliğini etkilemektedir (Kramer ve Green, 2000). Yapılan bir çalışmada ayrışmada üzerinde etkili faktör olarak topoğrafyaya bağlı yağış ve sıcaklığın olduğu ve sıcaklık arttıkça ayrışmanın arttığı ifade edilmiştir (Sarıyıldız ve diğ., 2010). Başka bir çalışmada, Solly ve diğ. (2014), tarafından Almanya da bulunan 3 farklı bölgedeki kayın ormanlarında ayrışmanın farklı toprak derinliklere göre değişip değişmediği incelenmiştir. Sonuç olarak kılcal kök ayrışma oranlarının toprak derinliği, mikrobiyal faaliyetlerdeki değişikliklerden ziyade iklim ve toprak ana materyali dahil ekolojik koşullardaki farklılıklardan daha fazla etkilendiğini tespit etmişlerdir. Kök ayrışmasını etkileme potansiyeli olan abiyotik faktörler, sıcaklık, nem, oksijen konsantrasyonu, strüktür ve azot varlığı gibi toprak özelliklerini içerir. Bunlardan sıcaklık ve nem içeriği, kök ayrışmasını etkileyen ana abiyotik faktörler olarak kabul edilir (Chen ve diğ., 2002)

Mikroorganizmalar alg, protozoa, virüsler, bakteri ve mantarlardan meydana gelmektedir. Bu grup içerisinde hem metabolik faaliyetlerden dolayı hem de biyokütle açısından en yaygın organizmalar mantar ve bakterilerdir (Cleveland ve diğ., 2004). Toprak faunası bakteri ve mantarlar ile beslenerek karbon ve besin mineralizasyon oranını artırır (Cole ve diğ., 2002a, b). Toprak faunasının önemli bir bileşeni olan ayrıştırıcılar (bakteri ve mantarlar) ölü örtüyü ayrıştırdıktan sonra ayrışan ölü örtü ve toprak altında bulunan kökleri kimyasal olarak fosfat, su ve karbondioksit gibi temel inorganik maddelere dönüştürürler (Swift ve diğ., 1979). Ayrıştırıcılar (bakteri ve mantarlar) azot, fosfor ve kükürt gibi besin elementlerine önemli bir alan oluştururlar (Gregorich ve diğ., 1994) ve azot, fosfor ve kükürt döngüleri, mineralizasyon gibi işlevlerin büyük bir kısmını gerçekleştiren canlılardır. Bu yüzden mikroorganizmalar karbon ve besin döngüsünde karasal ekosistemin en önemli bileşenleridir (Pankhurst ve diğ., 1997). Günümüzde yaşanan iklim değişikliği topraktaki organizmaların yapısını ve mevcudiyetini etkileyebilir bu durumda ayrışma sürecini dolaylı yoldan etkileme potansiyelini artırabilir. Bununla birlikte mikrobiyal canlıların sayısının C ve N miktarından etkilendiğini ve ormanda verimlilik arttıkça doğrusal bir şekilde ayrışmanın arttığı birçok çalışmada ifade edilmektedir (Kara ve diğ., 2008).

Lignin, organik madde ayrışma oranlarını kontrol eden önemli bir faktördür ve toprak sıcaklığı lignin miktarını etkileyen önemli bir abiyotik faktördür (Donnelly ve diğ., 1990). Buna ek olarak şimdiye kadar yapılan çalışmalara göre lignin/N oranı, kök ayrışmasının en iyi biyotik belirleyicisi olarak ortaya konmuştur (Chen ve diğ., 2002). Benner ve diğ. 1985' te yaptığı çalışmada düşük pH miktarına sahip olan toprakların lignin bozulmasını azalttığını ortaya koymuşlardır. Yapılan araştırmalarda nem ve pH'nın selüloz ve lignin miktarının değişmesinde önemli faktör olduğunu öne sürmüşlerdir (Donnelly ve diğ., 1990).



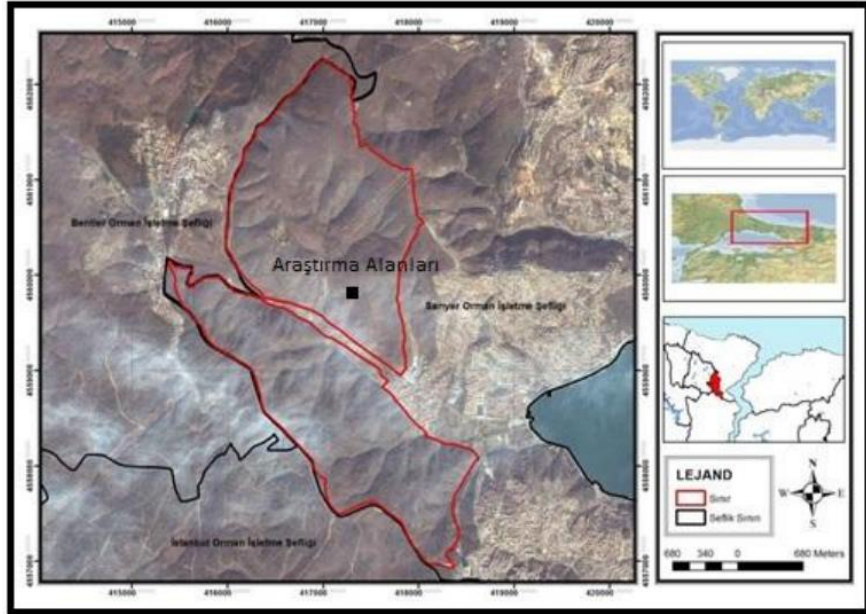
3. YÖNTEM

3.1. ARAŞTIRMA ALANI YETİŞME ORTAMI ÖZELLİKLERİ

Araştırma alanına ait mevki, iklim, jeolojik yapı ve bitki örtüsü özellikleri aşağıda verilmiştir.

3.1.1. Mevki

Çalışma alanı Belgrad Ormanı'nın devamı olan İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Orman Fakültesi Araştırma ve Uygulama Ormanı içerisinde $28^{\circ} 59' 17''$ - $29^{\circ} 32' 25''$ doğu boylamları ile $41^{\circ} 09' 15''$ - $41^{\circ} 11' 01''$ kuzey enlemleri arasında yer almakta olup yükseltisi 30-240 metre arasında değişiklik göstermektedir (Kantarıcı ve Tolunay, 1996) (Şekil 3.1). Araştırma ormanı İstanbul ilinin kuzey tarafında konumlanmakta olup 738 ha'lık alana sahiptir. Genel bakışı güneydir. Çalışma alanının en yüksek noktası 236 m ile kuzeyindeki Büyükdoğan Tepedir. Güneye doğru yükselti azalmakta olup Fındıksuyu 20 m ile en düşük yükseltiye sahiptir (Demir, 1997). Araştırma ve uygulama ormanı içerisinde 201 m yüksekliğindeki Sivri Tepe ile güneyden kuzeye derin bir vadi oluşturan Havuzlu Dere, Balaban Dere Vadisi ve Bahçeköy-Çayırbaşı doğrultusundaki Büyükdere Vadisi başka bakılar ve farklı eğimli yamaçları meydana getirmiştir. Oluşan bu derin dere vadileri geneli güney bakıya rağmen kuzeye, doğuya ve batı yönüne dik eğimli yamaçların meydana gelmesine neden olmuştur (Kantarıcı ve Tolunay, 1996).



Şekil 3.1 Araştırma alanlarının coğrafi konumu (Akgül, 2012)

3.1.2. İklim

Araştırma ve uygulama ormanına ait 1980-2009 yılları arasındaki iklim verileri yakın konumunda yer alan Bahçeköy meteoroloji istasyonundan alınmıştır. Aylık ortalama sıcaklık verileri göz önüne alındığında en yüksek sıcaklığa sahip ay 22.1 derece ile ağustos, en düşük sıcaklığa sahip ay ise 4.3 derece ile şubat ayı olmuştur. Sıcaklık en yüksek 40.7 derece ile ağustos ayında ölçülmüştür. Sıcaklığın en düşük olduğu -11.4 derece ise şubat ayında ölçülmüştür. Aylık bazda en fazla yağış 183,2 mm ile aralık ayında, en az yağış ise 39.44 mm ile temmuz ayında gerçekleşmiştir. Yıl genelinde toplam kaydedilen yağış miktarı ise 1111.4 mm dir. Nisbi nem %81,4 ile en yüksek ocak ayında iken en düşük oran %75 ile nisan ayında kaydedilmiştir. Hâkim olan rüzgâr yönü ise kuzeydoğudur. Karla kaplı gün sayısı yıllık 13,7 gün olurken bu durum şubat ayında (5,6 gün) en fazla görülmüştür (Tablo 3.1) (Akburak, 2013).

Tablo 3.1: Bahçeköy Meteoroloji İstasyonuna ait bazı iklim verileri (1980-2009)

	AYLAR												YILLIK
	OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL	EKİM	KASIM	ARALIK	
Ortalama sıcaklık (°C)	4,6	4,3	6,3	10,7	15,2	19,6	22	22,1	18,3	14,3	9,5	6,5	12,8
En yüksek sıcaklık değerleri (°C)	18,3	22,2	25,4	32,9	33,9	37,3	40,7	37,9	34,1	33,1	25,2	19,9	40,7
En düşük sıcaklık değerleri (°C)	-11	-11,4	-8,2	-2,2	0,3	6,1	8,2	8	6,4	0,2	-2,8	-7,6	-11,4
Yağış miktarı (mm)	149,9	111,2	101	56,3	44,1	42,2	39,4	63,8	70,5	117,3	132,5	183,2	1111,4
Nisbi nem (%)	81,4	78,3	76,9	75	77,2	76,6	77,9	78,5	78,4	80,4	80,5	80,6	78,4
Karla kaplı gün sayısı	3,9	5,6	2	-	-	-	-	-	-	-	0,1	2,1	13,7
Ortalama sisli gün sayısı	2,5	2,1	2,4	2,3	1	0,1	0,1	0,1	0,4	1,3	1,8	1,2	15,3
Hâkim olan rüzgârın yönü	KD	KD	KD	KD	KD	KD	KD	KD	KD	KD	KD	KD	KD

Araştırma ve uygulama ormanına ait 2021-2022 yılları arasındaki iklim verileri ise Orman Fakültesi bahçesinde yer alan Yeşil Çatı meteoroloji istasyonundan alınmıştır. Aylık ortalama sıcaklık verileri göz önüne alındığında en yüksek sıcaklığa sahip ay 24,6 derece ile ağustos, en düşük sıcaklığa sahip ay ise 4,9 derece ile mart ayı olmuştur. Aylık bazda en fazla yağış 149,2 mm ile şubat ayında, en az yağış ise 0,8 mm ile ağustos ayında gerçekleşmiştir. Yıl genelinde toplam kaydedilen yağış miktarı ise 872,4 mm'dir. Ortalama bağıl nem en yüksek %83,6 ile ekim ayında en düşük %73,3 ile mayıs ayında ölçülmüştür. Yıllık ölçülen ortalama bağıl nem ise %80,2'dir (Tablo 3.2).

Tablo 3.2: Yeşil Çatı meteoroloji istasyonuna ait bazı iklim verileri (2021-2022)

	Aylar												Yıllık
	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	
Ort. Sıcaklık (°C)	17,8	20,1	24,5	24,6	19,5	14,7	12,5	8,9	5,1	6,4	4,9	12,6	14,3
En düşük Sıcaklık (°C)	12,7	13,8	20,9	21,5	13,9	12,2	8,9	1,1	-0,4	2,5	-1,9	6,4	9,3
En yüksek Sıcaklık (°C)	23,7	25,6	27,0	28,6	23,1	17,5	17,6	14,7	15,5	12,4	15,4	19,3	20,0
Ort. Bağıl Nem (%)	73,3	81,9	80,2	74,3	77,0	86,3	85,6	85,3	83,9	84,0	81,1	74,4	80,6
Toplam Yağış (mm)	35	87,6	17	0,8	37,1	78,1	83	130,3	98,5	149,2	81,4	74,4	872,4

3.1.3. Jeolojik ve Toprak Yapısı

Çalışma alanının bulunduğu araştırma ve eğitim ormanında toprakların oluşmasını sağlayan beş anakaya ile iki tortul ana materyal yer almaktadır. En yaygın anakaya toztaşı şistleridir. Diğer anakayalar ise andezit, Pliosen I/ toztaşı tortulları karışmış materyal, pliosen I tortulları, kumtaşı, grovak ve kontakt metamorfdur. Kontakt metamorf ve andezit dar bir alanda yayılım gösterirken, kum taşı ve grovaklar genişçe, toztaşı şistleri çok daha geniş alanda dağılım göstermektedir. Pliosen yaşındaki Pliosen I/ toztaşı tortulları ile Pliosen I materyalleri de sırt bölgesinde ve daha dar alanlarda yayılım göstermektedir (Akburak 2013). İçerisinde kil bulunduran toprak türleri (balçıklı kil, kil) %79 oranında daha geniş bir dağılım gösterirken kumlu topraklar %21 oranında daha dar bir alana yayılım göstermektedir. Hâkim toprak türü balçıklı kil olarak belirlenirken kil toprakları da az da olsa yaygınlık göstermektedir (Kantarcı ve Tolunay 1996).

Topraklar genellikle %71 oranında derinken %5 derin, %19 orta derinlikte iken %5 sığ derindir. Mevcut toprakların fizyolojik derinlikleri çok değildir. Topraklarda taşlılık oranı %16' sı çok taşlıyken %77 si az taşlıdır. Sığ topraklarda %75, orta derinlikte olan topraklarda %2 ve derin topraklarda ise %2 si taşlı ya da çok taşlıdır. Taşlılığın yüksek olması sırt bölümünde ve dik eğimli bölgede eski zamanlarda oluşmuş bir erozyon durumunu göstermektedir (Kantarcı ve Tolunay 1996). İçerisinde kireç bulunmayan toprakların tipi ise solgun esmer orman toprağıdır (Makineci, 2004)

3.1.4. Bitki Örtüsü

Araştırma ve uygulama ormanı Kuzey Trakya Bölgesinin meşe ve gürgen ormanlarının bir bölümünü oluşturarak devamı niteliğindedir (Ayaşlıgil, 1997'ye atfen Mayer ve Aksoy, 1986). Eğimin az olduğu bölgelerde *Quercus petraea* ssp. *iberica* (sapsız meşe) ağacı baskınken eğimin fazla olduğu yerlerde *Quercus cerris* (saçlı meşe) baskınlığını göstermektedir. Alt yamaçların güneydoğu tarafında ise meşe ve gürgen türlerinin beraber olarak oluşturdukları meşçereler baskındır. Meşe ve gürgen karışık ormanlarında bulunan diğer türlerin başında *Quercus frainetto* (macar meşesi), *Crataegus monogyna* (adi alıç), *Erica arborea* (ağaç fundası), *Hedera helix* (orman sarmaşığı), *Dactylis glomerata* (domuz ayrığı) yer almaktadır (Ayaşlıgil, 1997).

Orman alanında meşeler saf ve karışık meşçereler kurarak önemli ölçüde baskınlık sağlamışlardır. Meşeler karışık meşçereleri *Castanea sativa* (Anadolu kestanesi), *Carpinus betulus* (adi gürgen), *Tilia tomentosa* (gümüşi ıhlamur), *Corylus avellana* (adi fındık), *Fagus orientalis* (doğu kayını), *Robinia pseudoacacia* (yalancı akasya) türleri ile oluşturmaktadırlar (Ayaşlıgil, 1997). Bunlardan yalancı akasya ormana dikim yoluyla getirilmiştir.

Meşe ve gürgen ağaçlarının çalı bölümünde *Arbutus unedo* (kocayemiş) baskın bulunmaktadır. Diğer çalı türleri olarak ise *Cistus salviifolius* (laden), *Erica arborea* (funda), *Mespilus germanica* (muşmula), *Corylus avellana* (fındık), *Sorbus aucuparia* (kuş üvezi) ve *Laurus nobilis* (defne) bulunmaktadır (Akburak, 2013).

3.2. ARAZİDE YAPILAN ÇALIŞMALAR

3.2.1. Örnek Alanların Seçilmesi

Çalışma konusunu Macar meşesi (*Quercus frainetto* Ten.) ve adi gürgen (*Carpinus betulus* L.) türleri oluşturmaktadır. Bu türlerin olduğu alanlarda her biri 25 m x 25 m büyüklüğünde olan toplam 6 örnek alan (2 tür x 3 tekrar) seçilmiştir. Örnek alanlar Macar meşesi ve adi gürgen türlerinin saf meşcereler oluşturduğu ve homojen dağılım gösterdiği yerlerden alınmıştır. Örnek alanların seçiminde aralarında yaklaşık 40 metre olacak şekilde mesafe olmasına dikkat edilmiştir. Amenajman planına göre alanlar 20 nolu bölme içerisinde yer almaktadır. Bölme içerisinde bulunan iki meşçere de bc (Gn ve Mz) gelişim çağındadır (Şekil 3.2).



Şekil 3.2: Alanların belirlenmesi

3.2.2. Köklerin Toplanması ve Ayırışma Keselerinin Hazırlanması

Ayırışma keselerine yerleştirilecek kök örnekleri seçilen alanların kenarlar bölgelerinden alana zarar vermeyecek şekilde toprak yaklaşık 25-30 cm kazılarak toplanmıştır (Şekil 3.3).

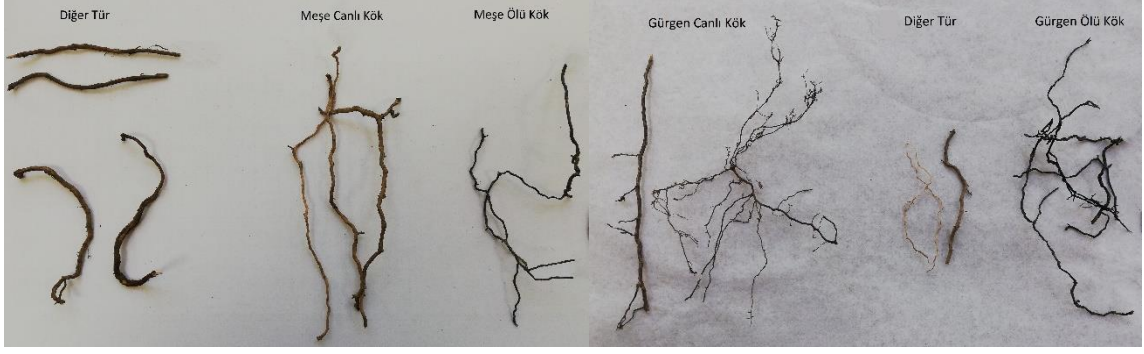


Şekil 3.3 :Alandan kök örneklerinin alınması

Toplanan kök örnekleri laboratuvara getirilerek üzerindeki toprakların temizlenebilmesi için plastik kaplara koyulup üzerine su ekleyip bir gün bekletildikten sonra el yardımı ile ayıklanmıştır. Bunu takiben kökler tezgâha serilerek hava kurusu hale getirilmiştir. Hava kurusu hale gelen örnekler canlı, ölü ve otsu tür olarak ayrılmış ve canlı kökler 0-2 mm ve 2-5 mm olarak sınıflandırılmıştır (Şekil 3.4). Kökler canlı, ölü ve diğer türlere ait kökler olmak üzere üçe ayrılmıştır (Şekil 3.5). Buna göre canlı kökler daha açık renk, yarı saydam görünüm ve büküldüğünde kolayca kırılmayan yapıya sahipken ölü kökler buruşuk ve koyu renkli ve kolayca kırılan bir yapıya sahiptir (Mello ve diğ. 2007, John ve diğ. 2002).



Şekil 3.4:Köklerin temizlenmesi ve kurutulması



Şekil 3.5: Köklerin Sınıflandırılması

Sınıflandırılan canlı kökler için 10 cm x 10 cm boyutlarında ve 0,4 mm gözeneklere sahip olacak şekilde ayırma keseleri hazırlanmıştır. Çap sınıflarına ayrılan kökler keselere yerleştirilerek, toplam her bir tür için 0-2 mm çap sınıfında (60 meşe, 60 gürgen) 120 kese ve 2-5 mm çap sınıfı için 120 kese hazırlanmıştır. Hazırlanan keselere her iki kök çap sınıfı içinde kökler 1-1,5 gram arası tartılarak keselerin içine yerleştirilmiş ve başlangıç ağırlıkları kaydedilmiştir (Şekil 3.6).



Şekil 3.6: Ayırma keselerinin hazırlanması

3.2.3. Keselerin Alana Yerleştirilmesi

Ayırma keseleri 2021 Mayıs döneminde her bir alan içerisinde seçilen rastgele 5 noktaya her iki farklı çap sınıfından 4 kese olmak üzere yerleştirilmiştir. Yerleştirilme sırasında ağaç gövdesine yakın olmamasına özen gösterilmiştir. Keseler toprağın ilk 10 cm'lik kısmı fazla deformasyona uğratmadan açılarak 45°'lik açıyla yerleştirilerek üzeri toprak ile örtülmüştür (Şekil 3.7).



Şekil 3.7: Ayrışma keselerinin alana yerleştirilmesi

3.2.4. Ayrışma Keselerinin Toplanması ve Toprak Örneklerinin Alınması

Alanlara yerleştirilen keseler 1 yıl boyunca 3 ayda bir (Ağustos 2021 (3), Kasım 2021 (6), Şubat 2022 (9) ve Mayıs 2022 (12)) toplam 4 kere toplanmıştır. Toplanan keselerin içerisindeki örneklerde kayıp yaşamaması için dikkatli bir şekilde polietilen poşetlere konulmuştur (Şekil 3.8).



Şekil 3.8: Ayrışma keselerinin toplanması ve toprak örneklerinin alınması

Bununla birlikte her ay keselerin bulunduğu noktaların etrafından toprak sıcaklığı ölçülüp toprak örnekleri alınarak (12 ay x 6 alan x 5 örnek noktası = 360 adet) analizleri yapılmak üzere İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Orman Fakültesi Toprak İlmi ve Ekoloji Anabilim Dalı Laboratuvarına getirilmiştir.

3.2.5. Toprak Sıcaklığının Ölçülmesi

Toprak sıcaklığı alandan her ay toprak örnekleri alınırken termometre ile ölçülmüştür. Termometre yerleştirilen ayrışma keselerin ve alınan toprak örneklerinin konumlarına yakın olarak toprağa yaklaşık 4-5 cm batırılıp 3 dakika bekleyerek ölçülmüştür (Şekil 3.9). Toprak sıcaklığının ölçümünün 10:00 ve 13:00 saatleri arasında yapılmasına dikkat edilmiştir.



Şekil 3.9: Toprak sıcaklığı ölçümü

3.3. LABORATUVAR ÇALIŞMALARI VE ANALİZLER

Alanlardan alınan toprak örneklerinde, toprak nemi, reaksiyon (pH) ve mikrobiyal aktivite (solunum, mikrobiyal canlı kütle-C ve canlı kütle-N) ölçümleri, toplanan keselerdeki kök örneklerinde kütle kaybı, selüloz, lignin, karbon, azot ve besin maddesi içerikleri (P, K, Mg, Ca, Na, Al, Fe, Cu, Mn, Zn) belirlenmiştir.

3.3.1. Toprak Örneklerinde Yapılan Analizler

3.3.1.1. Toprak Nemi

Alandan alınan toprak örneklerinin nemi gravimetrik yöntem ile belirlenmiştir (Karaöz 1989). Her ay alandan alınan toprak örnekleri laboratuvara getirildikten hemen sonra 2 mm elekten geçirilip taş ve köklerden ayrıldıktan sonra alt örnek alınarak hassas terazide tartılıp etüvde 105 °C sıcaklıkta sabit ağırlığa gelinceye kadar bekletilmiştir. Toprak örnekleri etüvden alınarak desikatörde soğutulduktan sonra hassas terazi ile tartılarak aşağıdaki formül yardımıyla nem değerleri belirlenmiştir.

$$\text{Nem (\%)} = [\text{Nemli Ağırlık(g)} - \text{Kuru Ağırlık(g)}] / (\text{Kuru Ağırlık(g)}) \times 100$$

3.3.1.2. Toprak Reaksiyonu (pH)

Toprak örneklerinin pH'sı 1/2,5 oranında saf su çözeltisinde cam elektrotlu pH metre ile ölçülmüştür (Karaöz 1989). Her ay alandan alınmış toprak örnekleri 2 mm'lik elekten geçirildikten sonra bir kısmı tartılarak 105 °C etüve konulup sabit ağırlığa gelene kadar beklettikten sonra her bir alan için 5 tekrarlı olacak şekilde 10 g tartılarak üzerine 25ml saf su eklenmiş ve 24 saat sonra ölçülmüştür.

3.3.1.3. Mikrobiyal Solunum

Örnek alanlardan alınan toprak örneklerinin mikrobiyal solunumu inkübasyon yöntemi ile belirlenmiştir (Alef, 1995). 2 mm'lik elekten geçirilip taş ve köklerden ayrılan topraklar her bir örnek alan için üç tekrarlı olmak üzere 500 ml'lik kavanozlara 30 g olacak şekilde konulmuştur. Daha sonra 1 M sodyum hidroksit (NaOH) çözeltisi, 1 M hidroklorik asit (HCl) çözeltisi, 0,5 M baryum klorid ($BaCl_2$) çözeltisi, fenol fitaleyin indikatörü, karışık indikatör çözeltisi (%0,2 metil red indikatörü + %0,1 bromkresol indikatörü) ve karbondioksit içermeyen (CO_2 -free water) saf su hazırlanmıştır. Çözeltiler hazırlandıktan sonra cam tüple 10 ml 1 M sodyum hidroksit (NaOH) konularak kavanozların içine yerleştirilmiştir. Bununla birlikte kontrol örneği olarak 3 adet boş kavanozun içerisine 10 ml 1 M sodyum hidroksit yerleştirilmiştir (Şekil 3.10).



Şekil 3.10: Mikrobiyal solunum için toprakların inkübasyon işlemi

Kavanozların ağızları hava almayacak şekilde kapatılıp soğutmalı inkübatöre dikkatli bir şekilde yerleştirilmiştir. Örnekler 25 °C’de 4 gün inkübasyona tabi tutulmuştur. Daha sonra kavanozlar çıkarılıp cam tüplerin içinde bulunan sodyum hidroksitler 100 ml’lik beherlere dökülmüştür. Beherin için karbondioksit içermeyen su ile yıkanmıştır yıkanan su beherin üzerine eklenmiştir. Sodyum hidroksitin üzerine 0,5 M baryum kloritten 5 ml eklenmiştir. Bunu takiben çözeltiye 10 damla fenol fitaleyn indikatörü damlatılmış ve çözeltinin renk pembemsiye dönmüştür.



Şekil 3.11: Titrasyon işlemi

Çözeltinin rengi berrak renge dönene kadar 1 N hidroklorik asit ile dijital büret yardımıyla titrasyon işlemi yapılmıştır (Şekil 3.11). Renk döndüğünde harcanan miktar not edilerek aşağıdaki formül ile mikrobiyal solunum miktarları belirlenmiştir.

$$\text{CO}_2 (\mu\text{g} / \text{SW} / \text{t}) = [(V_0 - V) \times N \times 2,2 \times 1000] / d_{\text{wt}} \times h$$

SW: Fırın kurusu toprak ağırlığı (g)

t: İnkübasyon süresi (saat: h)

V₀: Titrasyonda kör için harcanan hidroklorik asitin (HCL) hacmi (ml)

V: Titrasyonda örnek için harcanan hidroklorik asitin (HCL) hacmi (ml)

2,2: Çevirme katsayısı

d_{wt}: 1 gram nemli toprağın kuru ağırlığı

1000: miligramı mikrograma çevirme katsayısı

3.3.1.4. Mikrobiyal Biyokütle Karbon ve Azot

Toprakların mikrobiyal karbon ve mikrobiyal azot içeriklerinin belirlenmesinde kloroform-fumigasyon metodu esas alınmıştır (Brookes ve diğ., 1995). Örnekler fumigasyonlu ve fumigasyonsuz olmak üzere hazırlanmıştır.

Fumigasyon işlemi; 2 mm'lik elekten geçirilen toprak örnekleri 100 ml'lik beherlere sonra 2 tekrarlı olarak 20 g tartılmıştır. Daha sonra örnekler vakumlu desikatöre alınmadan önce desikatörün alt kısmına nemli kağıtlar yerleştirilmiştir. Bunu takiben Örnekler 50 ml kloroform ile desikatöre konulmuştur ve desikatörün kapağı hava sızdırmazlığını garanti altına almak için parafilm ile sarılmıştır. Örnekler desikatöre yerleştirildikten sonra kloroformun kaynamaya başlayıncaya kadar desikatörün içerisindeki hava vakum pompası ile boşaltılmıştır.



Şekil 3.12: Fumigasyon örneklerinin inkübasyonu

Vakum işlemi bittikten sonra desikatörler karanlıkta 24 saat 25 °C inkübatörde bekletilmiştir (Şekil 3.12). Desikatör inkübatörden 24 saat sonra çıkarılarak içindeki kloroform alınmıştır ve desikatör vakum pompası yardımıyla en az 5 kere içindeki hava vakumlanmıştır. Bu işlem

yapıldıktan sonra 100 ml beherde bulunan topraklar 250 ml'lik beherlere aktarılmıştır. Örneklerin üzerine 80 ml (1:4 oranında) 0.5 M potasyum sülfat (K_2SO_4) ilave edilerek 30 dakika 145 rpm hızıyla dairesel çalkalayıcıda çalkalanmıştır. Çalkalanma işlemi bittikten sonra çözeltiler filtre kâğıdı kullanılarak berrak çözelti elde edilmiştir.

Mikrobiyal biyokütle karbon;

Fumigasyon işlemi sonucu elde edilen çözeltiden 8ml alınarak 250 ml lik erlene aktarılmış ve üzerine 2 ml 0.4 N potasyum dikromat ($K_2Cr_2O_7$), ve 2:1 oranında 15 ml sülfürik asit ortofosforik (10 ml sülfürik asit+ 5 ml ortofosforik asit) asit karışımları eklenmiştir. Çözeltiler ısıtıcı plaka üzerinde yarım saat 145 °C kadar ısıtılmıştır. Isınma işlemi bittikten sonra örneklerin soğuması için beklenmiştir ve 25 ml saf su eklendikten sonra üzerine 1,10 phenanthroline indikatöründen 10 damla ilave edilmiştir. Daha sonra 0,4 N demir amonyum sülfat çözeltisi ile titre edilmiştir. Bu esnada renk kırmızımsı bir renge dönüşmüştür harcanan miktar not edilmiştir (Şekil 3.13).



Şekil 3.13:Mikrobiyal biyokütle karbon için hazırlanan çözeltiler

Örnekleri fumigasyonsuz yapmak için ise toprak örnekleri 2 mm'lik elekten geçirildikten sonra 2 tekrarlı olarak 20 g 250 ml'lik beherlere tartılmıştır. Örneklerin üzerine 80 ml (1:4 oranında) 0.5 M potasyum sülfat (K_2SO_4) ilave edilerek 30 dakika 145 rpm hızıyla çalkalanmıştır. Çalkalanma işlemi bittikten sonra çözeltiler filtre kâğıdı kullanılarak berrak çözelti elde edilmiştir. Çözeltiden 8ml 250 ml lik erlene aktarılmış ve üzerine 2 ml 0.4 N potasyum dikromat ($K_2Cr_2O_7$), ve 2:1 oranında 15 ml sülfürik asit ortofosforik (10 ml sülfürik asit+ 5 ml ortofosforik asit) asit karışımları eklenmiştir. Çözeltiler ısıtıcı plaka üzerinde yarım saat 145 °C kadar ısıtılmıştır. Isınma işlemi bittikten sonra örneklerin soğuması için beklenmiştir ve 25 ml saf su eklendikten sonra üzerine 1,10 phenanthroline indikatöründen 10 damla ilave edilmiştir. Daha sonra 0,4 N demir amonyum sülfat çözeltisi ile titre edilmiştir. Bu esnada renk kırmızımsı

bir renge dönüşmüştür harcanan miktar not edilerek aşağıdaki formül yardımıyla biyokütle karbon içeriği belirlenmiştir.

$$\text{BiyokütleC } (\mu\text{g g}^{-1}) = \frac{(B-V) \times N \times 0.003 \times 80 + \theta \times 100 \times 1000}{W_t \times V_1}$$

$$E_c = (\text{biyokütleC}_{\text{fumigasyonlu}} - \text{biyokütleC}_{\text{fumigasyonsuz}})$$

$$\text{Mikrobiyal Biyokütle Karbon} = E_c \times 2.64$$

B=Kör için harcanan demir amonyum sülfatın ($\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) hacmi (ml)

V=Örnek için harcanan demir amonyum sülfatın ($\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) hacmi (ml)

N=Harcanan demir amonyum sülfatın ($\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) normalitesi (0.3950 N)

0.003= 3×10^{-3} , buradaki 3 karbonun (C) ekivalen ağırlığı

θ = Kullanılan 20 g toprağın higroskopik nemi

W_t = Taze toprak ağırlığı (20 g)

V_1 = Yakma için kullanılan ekstrakt (8 ml)

2.64= Karbon (C) için dönüştürme katsayısı

Mikrobiyal biyokütle azot;

Fumigasyon işlemi sonucu elde edilen ve fumigasyonsuz işlemi uygulanmadan elde edilen çözeltiden 50 ml mikropipet yardımıyla yakma tüplerine aktarılmıştır. Üzerine 1 ml 0,2 M bakır sülfat (CuSO_4) ve 10 ml %96 lık sülfürik asit (H_2SO_4) eklenmiştir. Bu işlemi takiben çözeltiler yakma ünitesinde (Buchi K497) 150 °C ve 250 °C’lerde kademeli olarak yakılarak daha sonra 380 °C de 3 saat yakılma işlemine tabi tutulmuştur (Şekil 3.14).



Şekil 3.14: Örneklerin yakılması işlemi

Yakma işlemi bittikten sonra tüplerin soğuması beklenmiştir. Kjeldahl cihazında 10 M sodyum hidroksit ve %2 lik borik asit ile 3 dakika destile edilmiştir (Buchi K-370). Destilasyon sonucunda 0,01 N H_2SO_4 ile titrasyon işlemi gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.15).



Şekil 3.15: Kjeldahl azot analiz cihazı

Titrasyon işlemi sonucu okunan değerler aşağıdaki formülde yerine konularak hesaplanmıştır.

$$\text{BiyokütleN } (\mu\text{g g}^{-1}) = (V - B) \times N \times 14,01 \times \frac{80+\theta}{W_t} \times \frac{250}{V_1} \times \frac{1000}{V_2}$$

$$F_n = (\text{biyokütleN}_{\text{fumigasyonlu}} - \text{biyokütleN}_{\text{fumigasonsuz}})$$

$$\text{Mikrobiyal Biyokütle Azot} = F_n/kN$$

V= Örnek için titrasyonda harcanan sülfürik asidin (H_2SO_4) hacmi (ml)

B= Kör için titrasyonda harcanan sülfürik asidin (H_2SO_4) hacmi (ml)

N= Harcanan sülfürik asidin (H_2SO_4) normalitesi (0,01 N)

14,01= Azotun atomik ağırlığı

θ = Kullanılan 20 g toprağın higroskopik nemi

W_t = Taze toprak ağırlığı (20 g)

V_1 = Yakma için kullanılan ekstrakt (50 ml)

V_2 = Destilasyon için kullanılan ekstrakt (50 ml)

kN= Mineralize olabilen mikrobiyal biyokütle azotunun katsayısıdır (0.54)

3.3.1.5. Toprakta Toplam Karbon ve Azotun Hesaplanması

Toprakta organik karbon ve azot analizleri, 0,5 mm 'lik elekten geçirilerek elde edilen topraklarda kuru yakma metodu ile (Leco Truspec CN 2000 CN analiz cihazında) yüzde olarak belirlenmiştir. Topraklar kireç içermediği için kuru yakma ile belirlenen toplam karbon organik karbon olarak kabul edilmiştir.

3.3.1.6. Ayrışma Keselerinin Temizlenmesi ve Kütle Kaybının Belirlenmesi

Keselerin üzerinde bulunan topraklar fırça yardımı ile temizlenmiştir (Şekil 3.16). Dışarıdan kese içine nüfus eden kökler ayıklanmıştır. Daha sonra keseler ılık su içerisinde konulup temizlenmiş ve tezgâha serilerek hava kurusu hale gelmesi sağlanmıştır (Şekil 3.17).



Şekil 3.16: Alandan toplanan keselerdeki kök örnekleri

Kuruyan örnekler daha sonra öğütülüp toz haline getirilmiştir. Öğütülen örneklerden alt örnekler alınarak kül fırınında 550 °C de 3 saat yakılarak kül miktarları belirlenmiştir. Tüm kütle hesapları kül dışı ağırlık olarak belirlenmiştir (Harmon, 2009). Kütle kaybı aşağıdaki formüller yardımıyla belirlenmiştir.

$$M_t = M_0 e^{-kt}$$

$$\ln \left(\frac{M_t}{M_0} \right) = -k$$

M_t : t zamanda kalan kütleyi

M_0 : Başlangıçtaki kütle

k : Ayrışma katsayısı

Kütle kaybı yanında köklerin % 95'inin ayrışması için gereken süre $3/k$ oranından, % 99'unun ayrışması için gereken süre $5/k$ oranından belirlenmiştir (Waring ve Schlesinger, 1985).



Şekil 3.17: Köklerin temizlenip kurutulması

3.3.1.7. Selüloz ve Lignin İçeriklerinin Belirlenmesi

Kök örneklerinin selüloz ve lignin içerikleri Asit Deterjan Fiber (ADF) Yöntemi ile belirlenmiştir (Rowland ve Roberts, 1994). Analize başlamadan önce 50 g Cetyltrimethyl ammonium bromide 5 litrelik 0,5 M Sülfürik Asit (H_2SO_4) içerisinde çözdürülmüştür. Öğütülmüş kök örnekleri fırın kurusu haline getirildikten sonra 0,2-0,4 g arasında alınarak 250 ml'lik erlenlerin içine konularak (W1) üzerine 100 ml CTAB çözeltisi eklenmiştir. Fakat köpük oluşumunu engelleyebilmek için birkaç damla octan-2-ol damlatılmıştır. Erlenlerin üzeri saat camı ile kapatılarak yarım saat 180 derece sıcaklıkta kaynatılmaya bırakılmıştır (Şekil 3.18).



Şekil 3.18: Örneklerin kaynatılması

Örnekler kaynarken vakum düzeneğinde bulunan No 2 gooch krozelerin daraları alınmıştır (W2). Kaynama işlemi tamamlandıktan sonra vakum düzeneğinde bulunan gooch krozelerin içine boşaltılmıştır. Kroze içerisindeki örnek 150 ml kaynar saf su ile kaynayınca kadar yıkanmıştır (Şekil 3.19).



Şekil 3.19: Örneklerin yıkama işlemini

Örneğin içindeki saf su miktarı bitene kadar vakumlama işlemi devam ettirilmiştir ve kurumanın hızlanması için birkaç damla aseton damlatılmıştır sonra 2 saat 105 °C fırında kurumaya bırakılmıştır. Süre sonunda alınan örnekler desikatörde soğutularak krozeyle birlikte tartılmıştır (W3). Örneklerde çıkan lif içerikleri aşağıdaki denklemde yerine konularak hesaplanmıştır.

$$ADF (\%) = (W3 - W2) \times 100 / W1$$

Lif içerikleri hesaplandıktan sonra ADF Sülfürik Lignin Yöntemi ile % Lignin ve % Selüloz içerikleri hesaplanmıştır. Bunu yapabilmek için %72 (w/v) (ağırlık/hacim)'lik H₂SO₄ çözeltisi hazırlanmıştır. Hazırlanan çözeltiyi yaklaşık 15°C dereceye kadar soğutulduktan sonra gooch krozelerin yarısına kadar ilave edilip örnek ile asitin tam karışabilmesi için cam baget ile karıştırılmıştır. Vakum seti üzerinde çalıştırılmadan bu işlem gerçekleştirilirken süzülmesi beklenmiştir daha sonra bu işlem tekrarlanmıştır. Yaklaşık 3 saat geçtikten sonra vakum pompası çalıştırılıp 500 ml kaynar saf su ile yıkanarak asitten arındırılmıştır.

Örneklerde asitin yıkanıp yıkanmadığı turnusol kâğıdı ile kontrol edilmiştir. Örnekler daha sonra cam baget yardımı ile aseton ile yıkanarak kurutma fırınında 105°C'de 2 saat kurutulmuştur. Fırından çıkarılan örnekler desikatöre konularak soğutularak tartılmıştır (W4).

Örnekler kül fırınında 550°C de 2 saat yakıldıktan sonra tekrardan desikatöre konularak soğumaya bırakılmıştır soğuyan örnekler kroze ile tartılmıştır (W5).

Elde ettiğimiz değerler aşağıdaki denklemde yerine konularak % selüloz ve % lignin değerleri hesaplanmıştır (Sargıncı, 2014).

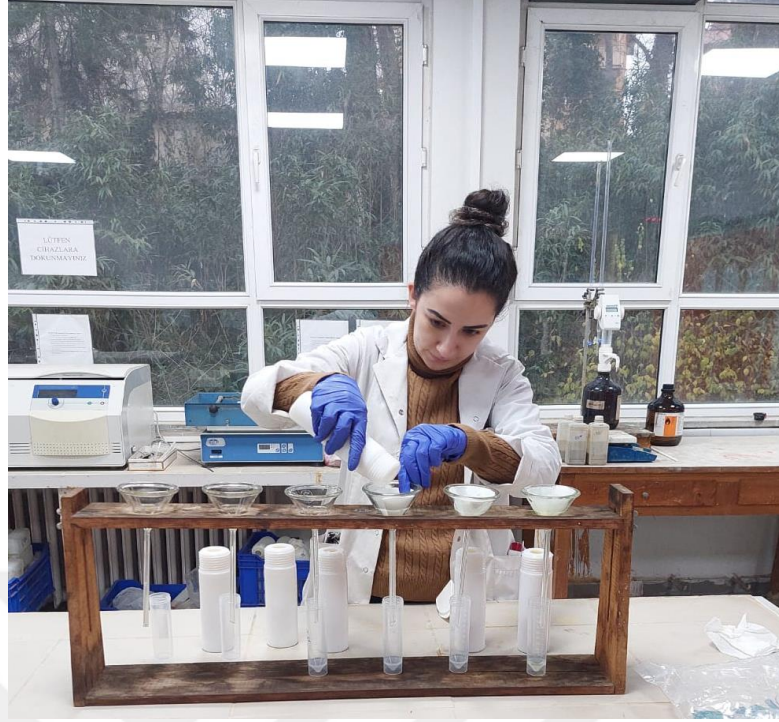
$$\text{LIGNIN (\%)} = (W4 - W5) \times 100 / W1$$

$$\text{SELÜLOZ (\%)} = (W3 - W4) \times 100 / W1$$

3.3.1.8. Kök Karbon, Azot ve Besin Element İçeriklerinin Belirlenmesi:

Kök örneklerinin karbon ve azot analizleri dumas kuru yakma metodu ile belirlenmiştir. Öğütülen kök örneklerinden yaklaşık 0,1 g tartım yapılarak (Leco Truspec CN 2000 CN analiz cihazında) analiz gerçekleştirilmiştir.

Kök örneklerinde P, K, Ca, Na, Mg, Mn, Fe, Al, Zn, ve Cu olmak üzere temel besin maddeleri yaş yakma metodu ile belirlenmiştir. Öğütülen kök örneklerinden 0,5 g alt örnek teflon tüplere aktarılmış ve sonra 5 ml nitrik asit (HNO₃) ve 1 ml peroksitle (H₂O₂) eklenerek mikrodalga cihazında parçalanması sağlanmıştır. İşlem sonunda filtre kâğıdı ile örnekler süzülerek çözelti elde edilmiştir (Şekil 3.20). Daha sonra bu çözeltiler ultra saf su eklenerek 50 ml tamamlanmıştır. Elde edilen çözeltiler ICP-OES cihazında analiz edilmiştir. (Çakır ve Akburak, 2017).



Şekil 3.20: Örneklerin filtrelenmesi

3.4. İSTATİSTİKSEL DEĞERLENDİRME

Analizler sonucu elde edilen tüm verilerin normal dağılım değerlendirmesi Shapiro-Wilk testi ile gerçekleştirilmiştir. Normal dağılım göstermeyen veriler logaritmik ve box-cox dönüşümü yapılmıştır. Türler arasında toprak özelliklerinin karşılaştırılması t-testi ile gerçekleştirilmiştir. Toprak sıcaklığı, toprak nemi, toprak pH'sı, toprak organik karbon ve azot içerikleri, mikrobiyal solunum, mikrobiyal biyokütle karbon ve azot verilerinin zamansal değişimi varyans analizi (One-way Repeated Measure ANOVA) ile değerlendirilmiştir

Kalan kütle miktarı, ayrışma katsayısı “k”, lignin ve selüloz miktarı, kök karbon, azot ve besin içerikleri hem zamansal açıdan arasında hem de türler arası farklılıkları ortaya çıkarmak için çift yönlü varyans (Two-way Repeated Measure ANOVA) analizi yapılmıştır. Anova analizleri sonucunda aralarındaki fark gruplarını belirlemek için TUKEY HSD testi kullanılmıştır. Toprak özellikleri ile kök özellikleri arasında bulunan ilişkileri belirleyebilmek için Pearson korelasyon analizi gerçekleştirilmiştir. Tüm istatistiksel analizler için R 4.3.2 Studio programı kullanılmıştır.

4. BULGULAR

4.1. MEŞE TÜRÜNE AİT BULGULAR

4.1.1. Kök Özelliklerine Ait Bulgular

4.1.1.1. Kalan Kütle Miktarına Ait Bulgular

Kılcal kökler (<2mm) ve ince köklerin (2-5 mm) yıllık kalan kütle miktarları incelenmiştir. 2 mm altındaki kök çapına ait kalan kütle miktarları 3,6,9 ve 12. aylarda sırasıyla %81,6; %73,7 ; %73,4 ve %66,8 olarak, 2-5 mm çapında ise %83,0 ; %73,8 ; %76,2 ve %69,9 olarak tespit edilmiştir. Yapılan t-testine göre aralarında anlamlı bir fark bulunamamıştır (Tablo 4.1).

Tablo 4.1:Meşe kılcal ve ince köklerinin kalan kütle miktarına ait t-testi sonuçları

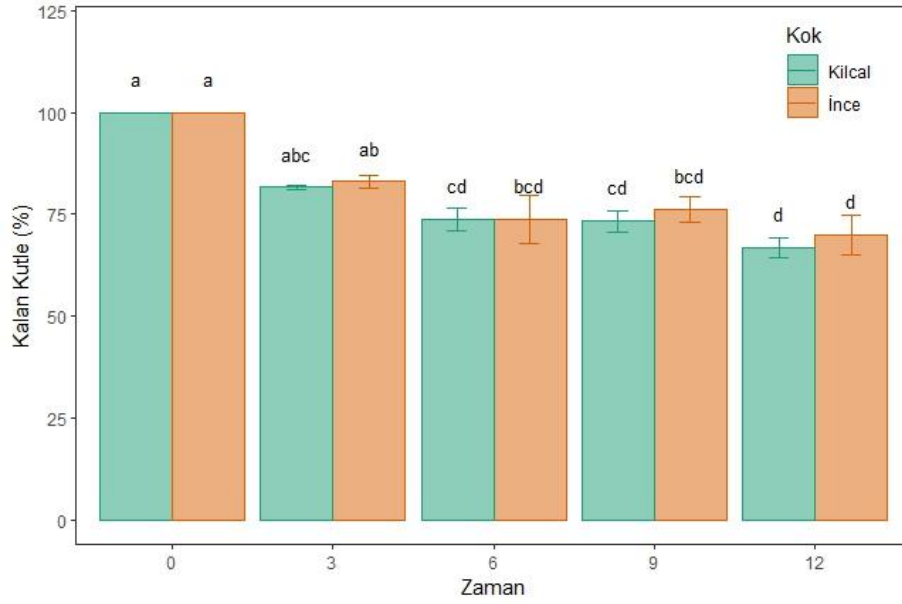
Kök Sınıfı	N	Min. (%)	Max. (%)	Ortalama (%)	Standart Sapma (±)	P
Kılcal Kök	12	64,6	82,0	73,9	5,79	0,542
İnce Kök	12	66,13	84,6	75,8	6,14	

Köklerin başlangıç (ilk) kütlesi incelendiğinde kütle kaybının en çok ilk üç aylık dönemde olduğu görülmektedir (Şekil 4.1). Yapılan varyans analizine göre kütle kaybı bakımından zamansal olarak anlamlı fark tespit edilememiştir. (Tablo 4.2).

Tablo 4.2: Meşe kılcal ve ince köklerinin kalan kütleinin zamana göre varyans analizi

	df	Ortalama Kareler	F	P
Kök	1	30,0	2,2	0,156
Zaman	4	477,6	34,7	0,000
Kök: Zaman	4	3,4	0,2	0,907

Kök çap sınıfları değerlendirildiğinde hem kılcal hemde ince kökler başlangıç dönemine göre 6.,9 ve 12. ayda ayrıca 3. ve 12. ay arasında farklılık göstermektedir ($p<0,05$) (Şekil 4.1).



Sütunlardaki çubuklar standart sapmayı ($\pm$) göstermektedir. Sütunlardaki farklı harfler $p < 0,05$ düzeyinde istatistiki olarak birbirlerinden farklıdır.

Şekil 4.1: Meşe kılcal ve ince köklerinin kalan kütle miktarlarının zamana göre değişimi

4.1.1.2. Ayrışma Sabiti (k) Ait Bulgular

Kılcal köklerde en düşük k değeri 12.ayda 0,41 iken ince köklerde ise 9.ayda 0,36'dır. Yapılan t-testine göre aralarında anlamlı bir fark bulunamamıştır (Tablo 4.3).

Tablo 4.3: Meşe kılcal ve ince köklerinin ayrışma sabitine ait t-testi sonuçları

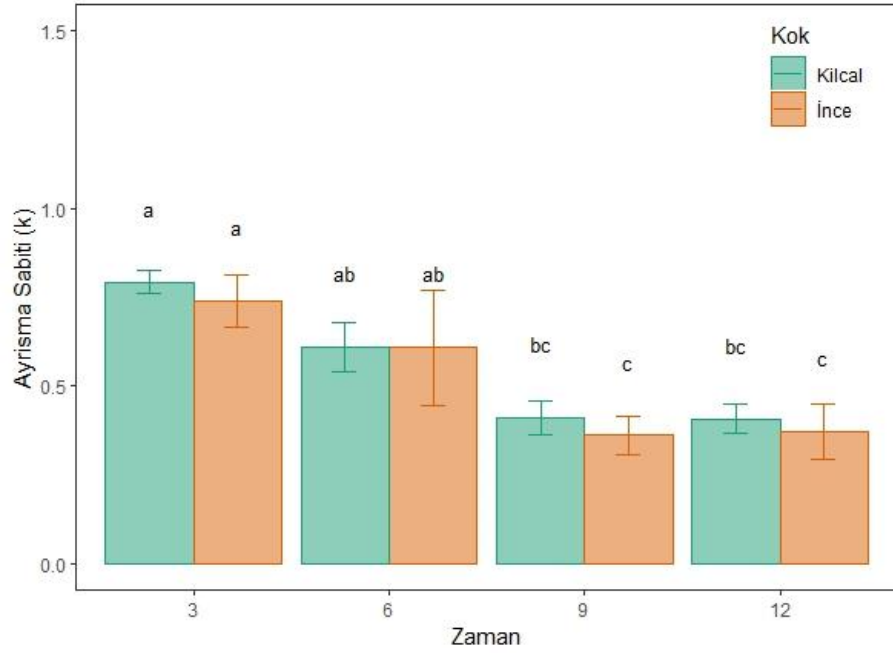
Kök Sınıfı	N	Min.	Max.	Ortalama	Standart Sapma ($\pm$)	P
Kılcal Kök	12	0,37	0,83	0,56	0,17	0,635
İnce Kök	12	0,28	0,81	0,52	0,19	

Köklerin %95'nin ayrışması için gerekli zamanın (3/k) kılcal köklerde 5,4 yıl ince köklerde ise 5,8 yıl olduğu, %98'inin ise (5/k) kılcal köklerde 9 yıl ince köklerde ise 9,7 yıl olduğu belirlenmiştir. Meşe türünde kök sınıflarının ayrışma katsayısına ait istatistik sonuçlarına zamansal olarak anlamlı fark bulunmaktadır (Tablo 4.4)

Tablo 4.4: Meşe kılcal ve ince köklerinin ayrışma sabitinin zamana göre varyans analizi

	df	Ortalama Kareler	F	P
Kök	1	0,1	2,0	0,180
Zaman	3	0,7	29,5	0,000
Kök: Zaman	3	0	0,2	0,896

“k” değeri örnekleme periyodu boyunca azalma göstermiştir. Ayrışma sabiti “k” çap sınıflarına göre ele alındığında kılcal kökler 3.ay ile 9. ve 12.aylar arasında anlamlı fark tespit edilmiştir. İnce köklerde ise 3.ay ile 9 ve 12.aylarda farklılık göstermiştir (Şekil 4.2).



Sütunlardaki çubuklar standart sapmayı ($\pm$) göstermektedir. Sütunlardaki farklı harfler $p < 0,05$ düzeyinde istatistiki olarak birbirlerinden farklıdır.

Şekil 4.2: Meşe kılcal ve ince köklerinin ayrışma sabitinin (k) zamana göre değişimi

4.1.1.3. Kök Azot (N) İçeriğine Ait Bulgular

Kılcal köklerin azot içeriği %1,37-%1,66 arasında, ince köklerde ise %1,28 ile %1,61 arasında değişim göstermiştir. Yapılan t-testine göre kılcal köklerin azot içeriği ince köklerden istatistiksel olarak önemli düzeyde daha yüksektir (Tablo 4.5).

Tablo 4.5: Meşe kılcal ve ince köklerinin azot içeriklerine ait t-testi sonuçları

Kök Sınıfı	N	Min. (%)	Max. (%)	Ortalama (%)	Standart Sapma ($\pm$)	P
Kılcal Kök	15	1,37	1,66	1,54	0,11	0,014
İnce Kök	15	1,28	1,61	1,45	0,09	

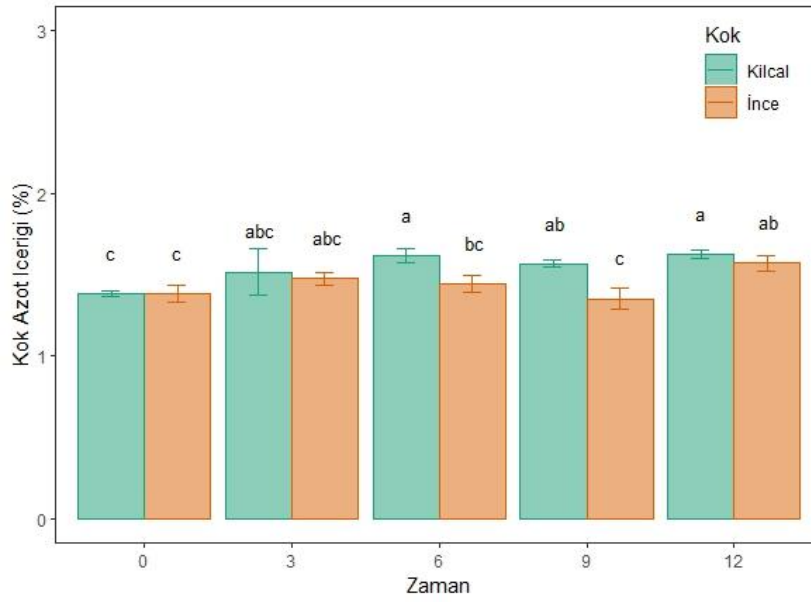
En düşük azot içeriği başlangıç zamanında (Mayıs 2021) belirlenmiştir. En yüksek azot içeriği ise araştırmanın birinci yılındadır (Mayıs 2022). Örneklerin toplandığı diğer dönemlerde ise başlangıç köklerine göre azot içeriğinde artış mevcuttur (Şekil 4.3). Köklerdeki azot içeriği

zamana göre önemli fark göstermiştir (Tablo 4.6). Bununla birlikte kök zaman etkileşimi bakımından da önemli farklılık tespit edilmiştir.

Tablo 4.6: Meşe kılcal ve ince köklerinin azot içeriklerinin zamana göre varyans analizi

	df	Ortalama Kareler	F	P
Kök	1	0,07	18,7	0,000
Zaman	4	0,04	10,5	0,000
Kök: Zaman	4	0,01	3,5	0,025

Köklerdeki azot içerikleri çaplarına göre değerlendirildiğinde ince köklerde başlangıç ve 9.ay ile 12.ay arasında kılcal köklerde ise başlangıç ile 6., 9. ve 12. aylar arasında önemli bir fark bulunmuştur (Şekil 23).



Sütunlardaki çubuklar standart sapmayı ($\pm$) göstermektedir. Sütunlardaki farklı harfler $p < 0,05$ düzeyinde istatistiki olarak birbirlerinden farklıdır.

Şekil 4.3: Meşe kılcal ve ince köklerinin azot içeriklerinin zamana göre değişimi

4.1.1.4. Kök Karbon İçeriklerine (C) Ait Bulgular

Araştırma süresi boyunca incelenen bir diğer özellik köklerin karbon içerikleridir. Kılcal köklerin karbon içeriği örnek alandan alınan başlangıç örneklerinde %47,41 bulunurken Mayıs 2022’de %45,12 olarak ölçülmüştür. İnce köklerde ise karbon içeriği Mayıs 2021’de %47,14, Mayıs 2022’de %44,68 olarak belirlenmiştir. t-testi sonuçlarına göre kökler arasında anlamlı fark bulunmaktadır (Tablo 4.7).

Tablo 4.7: Meşe kılcal ve ince köklerinin karbon içeriklerine ait t-testi sonuçları

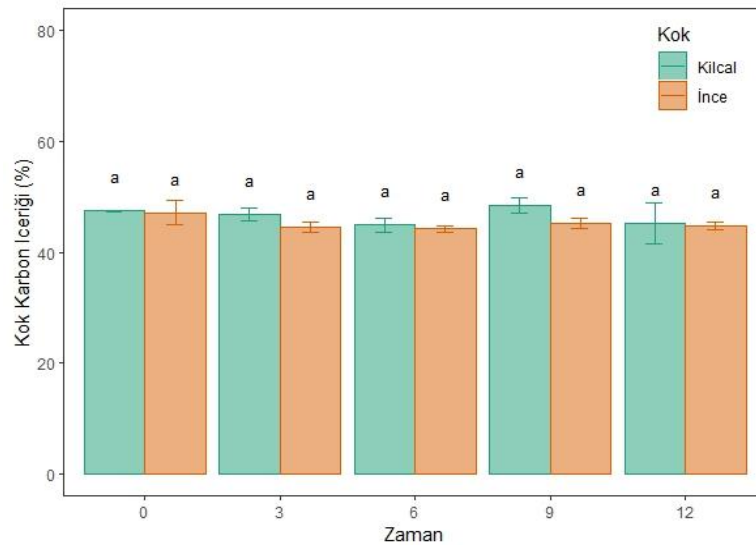
Kök Sınıfı	N	Min. (%)	Max. (%)	Ortalama (%)	Standart Sapma (±)	P
Kılcal Kök	15	41	49,9	46,53	2,12	0,045
İnce Kök	15	43,5	49,54	45,13	1,48	

Kılcal kök keselerinin toplandığı Ağustos ve Kasım aylarında karbon oranında azalma yaşanırken Şubat ayında yükselmiştir. İnce kök keselerinin ilk alındığı Ağustos (%44,44) ve ikinci alındığı Kasım (%44,18) aylarında düşüş yaşanmıştır. Şubat ayında ise %45,17 ye yükselmiştir. Köklerde bulunan karbon oranı zamana göre değerlendirildiğinde anlamlı farklılık bulunmaktadır (Tablo 4.8).

Tablo 4.8: Meşe kılcal ve ince köklerinin karbon içeriklerinin zamana göre varyans analizi

	df	Ortalama Kareler	F	P
Kök	1	14,7	5,9	0,024
Zaman	4	8,4	3,4	0,028
Kök: Zaman	4	2,6	1,1	0,399

Karbon miktarının kök çap sınıflarında hem kendi içinde hem de kökler arasında anlamlı bir fark bulunmamaktadır (Şekil 4.4).



Sütunlardaki çubuklar standart sapmayı (±) göstermektedir. Sütunlardaki farklı harfler $p < 0,05$ düzeyinde istatistiki olarak birbirlerinden farklıdır.

Şekil 4.4: Meşe kılcal ve ince köklerinin karbon içeriklerinin zamana göre değişimi

4.1.1.5. Kök Karbon/ Kök Azot Oranlarına (C/N) Ait Bulgular

Kılcal köklerde C/N oranı en yüksek %34,4 en düşük 27,7 arasında ince köklerde ise en yüksek %34,1 ile en düşük %28,5 arasında değişim göstermiştir. T-testine göre kökler arasında anlamlı bir fark bulunmamaktadır (Tablo 4.9).

Tablo 4.9: Meşe kılcal ve ince köklerinin karbon/azot oranına ait t-testi sonuçları

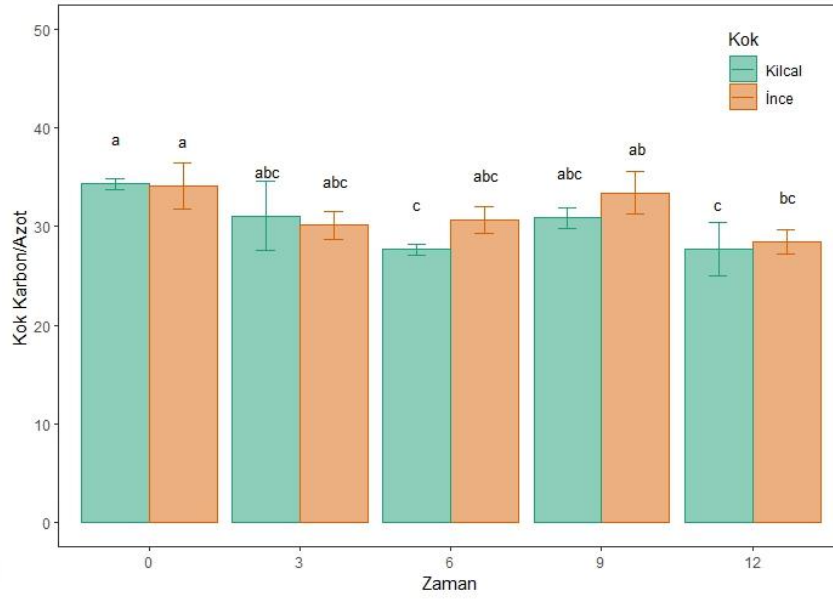
Kök Sınıfı	N	Min.	Max.	Ortalama	Standart Sapma (±)	P
Kılcal Kök	15	24,66	34,94	30,35	3,09	0,356
İnce Kök	15	27,55	36,65	31,35	2,62	

Köklerdeki karbon/azot oranı en fazla başlangıç köklerinde bulunmuştur. Dönemsel olarak alınan örneklerde ise oranlarda düşüş görülmüştür (Şekil 4.5). Köklerdeki karbon/azot oranı zamansal olarak anlamlı bir farklılık göstermiştir (Tablo 4.10).

Tablo 4.10: Meşe kılcal ve ince köklerinin karbon/azot oranlarının zamana göre varyans analizi

	df	Ortalama Kareler	F	P
Kök	1	7,5	2,0	0,171
Zaman	4	35,4	9,5	0,000
Kök: Zaman	4	4,4	1,2	0,349

Köklerde bulunan karbon/azot oranı kök çap sınıfları bakımından kılcal kökler başlangıç ile 6. ve 12.aylar arasında, ince kökler ise başlangıç ile 12.ay arasında anlamlı bir fark göstermiştir (Şekil 4.5).



Sütunlardaki çubuklar standart sapmayı ($\pm$) göstermektedir. Sütunlardaki farklı harfler $p < 0,05$ düzeyinde istatistiki olarak birbirlerinden farklıdır.

Şekil 4.5: Meşe kılcal ve ince köklerinin karbon/azot oranının zamana göre değişimi

4.1.1.6. Kök ADF İçeriğine Ait Bulgular

ADF içeriği kılcal köklerde %52,8 ile %73,5 arasında değişim gösterirken ince köklerde ise %52,9 ile %67,9 arasında değişim göstermiştir. Yapılan t-testine göre kökler arasında anlamlı bir fark bulunmamaktadır (Tablo 4.11).

Tablo 4.11: Meşe kılcal ve ince köklerinin ADF içeriğine ait t-testi sonuçları

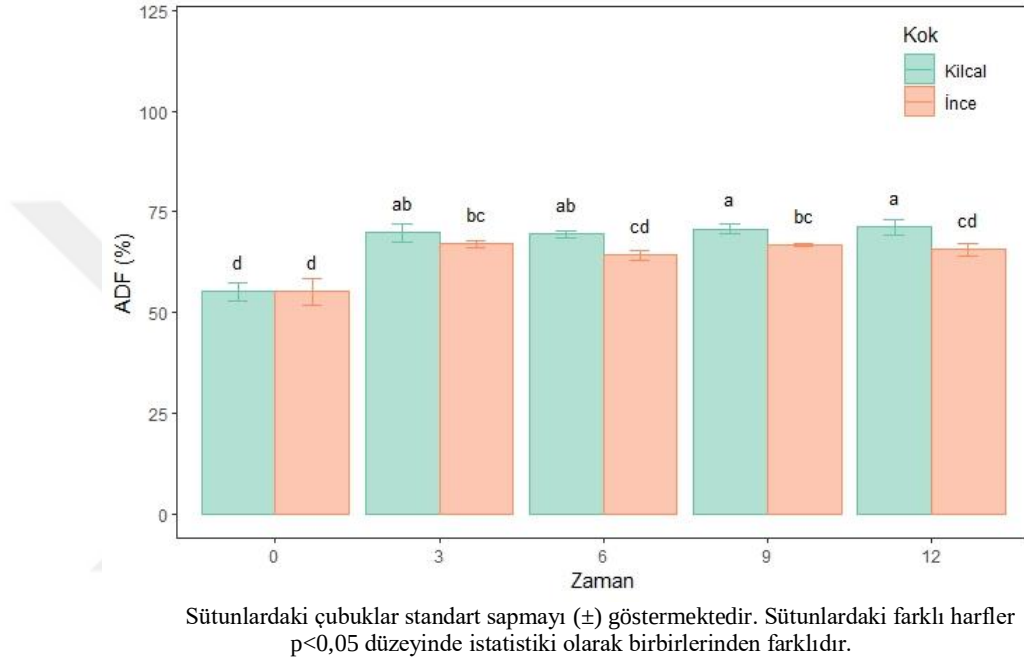
Kök Sınıfı	N	Min. (%)	Max. (%)	Ortalama (%)	Standart Sapma ($\pm$)	P
Kılcal Kök	15	52,8	73,53	65,02	10,43	0,231
İnce Kök	15	52,9	67,9	63,79	4,82	

Köklerdeki değişim zamansal olarak değerlendirildiğinde ADF içeriği anlamlı olarak farklılık göstermiştir (Tablo 4.12). Ayrıca kök zaman etkileşimi bakımından da anlamlı farklılık tespit edilmiştir (Tablo 4.12).

Tablo 4.12: Meşe kılcal ve ince köklerinin ADF içeriğinin zamana göre varyans analizi

	df	Ortalama Kareler	F	P
Kök	1	662,7	59,5	0,000
Zaman	4	284,7	25,6	0,000
Kök: Zaman	4	55,9	5,0	0,006

Kılcal köklerde Ağustos 2021’de %58,3 Kasım 2021’de %69,6 ve Şubat 2022’de %70,7 Mayıs 2022’de %71,2 olmak üzere ADF içeriği artış göstermiştir. İnce köklerde ayrışma keselerinin toplandığı aylar sırasıyla Ağustos 2021’de %67,05, Kasım 2021’de %64,22, Şubat 2022’de %66,81 ve son toplanan kesede Mayıs 2022’de %65,72’dir (Şekil 4.6). Köklerde mevcut olan ADF içerikleri çap sınıflarına göre kılcal köklerde başlangıç ile 3., 6., 9. ve 12. aylarla arasında ince köklerde ise başlangıcın 3. ve 9. aylar arasında anlamlı fark bulunmaktadır (Şekil 4.6).



Şekil 4.6: Meşe kılcal ve ince köklerinin ADF içeriğinin zamana göre değişimi

4.1.1.7. Lignin İçeriğine Ait Bulgular

Kılcal köklerde lignin içeriği %51,1-%67,8 arasında, ince köklerde ise %50,9-%63,9 arasında değişim göstermiştir. Lignin içerikleri için yapılan t-testine göre çap sınıfları arasında anlamlı fark bulunamamıştır (Tablo 4.13).

Tablo 4.13: Meşe kılcal ve ince köklerinin lignin içeriklerine ait t-test sonuçları

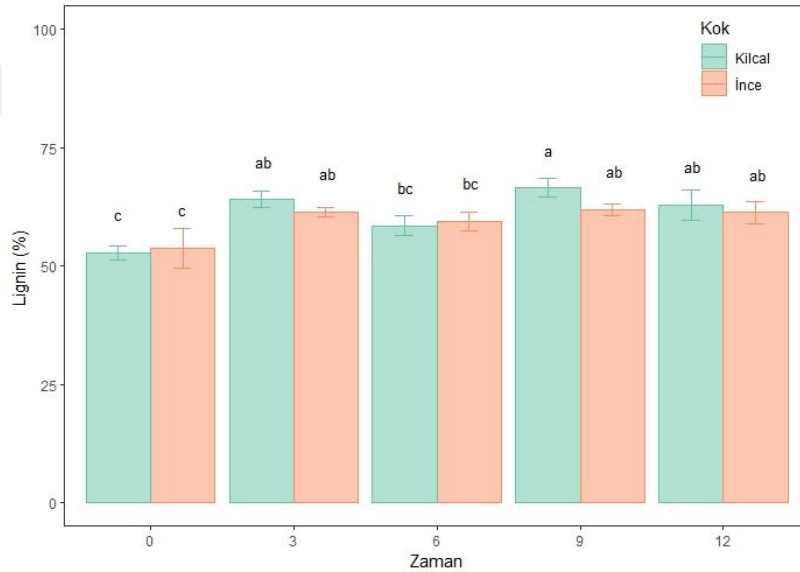
Kök Sınıfı	N	Min. (%)	Max. (%)	Ortalama (%)	Standart Sapma ($\pm$)	P
Kılcal Kök	15	51,1	67,76	60,91	5,31	0,423
İnce Kök	15	50,92	63,93	59,54	3,77	

Kılcal köklerde lignin en yüksek Şubat 2022’de %66,5 en düşük başlangıç döneminde %52,8 olarak bulunmuştur. İnce köklerde toplanan 9. ay olan Şubat 2022’de lignin içeriği en yüksek %61,96 hesaplanırken en düşük ise 6. ay olan Kasım 2021’de toplanan keselerde %59,38 olarak bulunmuştur (Şekil 4.7). Köklerde mevcut olan lignin içeriği zamansal olarak anlamlı fark gösterdiği tespit edilmiştir (Tablo 4.14).

Tablo 4.14: Meşe kılcal ve ince köklerinin lignin içeriklerinin zamana göre varyans analizi

	df	Ortalama Kareler	F	P
Kök	1	14,0	2,6	0,121
Zaman	4	113,3	21,2	0,000
Kök: Zaman	4	8,3	1,5	0,228

Kök çap sınıfları kendi içlerinde değerlendirildiğinde ince kökler ve kılcal kökler, başlangıca göre 6.ay hariç diğer aylar ile arasında anlamlı olarak farklılık göstermiştir (Şekil 4.7).



Sütunlardaki çubuklar standart sapmayı ($\pm$) göstermektedir. Sütunlardaki farklı harfler $p < 0,05$ düzeyinde istatistiki olarak birbirlerinden farklıdır.

Şekil 4.7: Meşe kılcal ve ince köklerinin lignin içeriğinin zamana göre değişimi

4.1.1.8. Selüloz İçeriklerine Ait Bulgular

Selüloz içeriği kılcal köklerde %1,30 ile %5,18 arasında ince köklerde ise %0,99 ile %4,74 bulunmaktadır. İstatistik analiz sonuçlarına göre kökler arasında anlamlı bir fark tespit edilememiştir (Tablo 4.15).

Tablo 4.15: Meşe kılcal ve ince köklerinin selüloz içeriklerine ait t-testi sonuçları

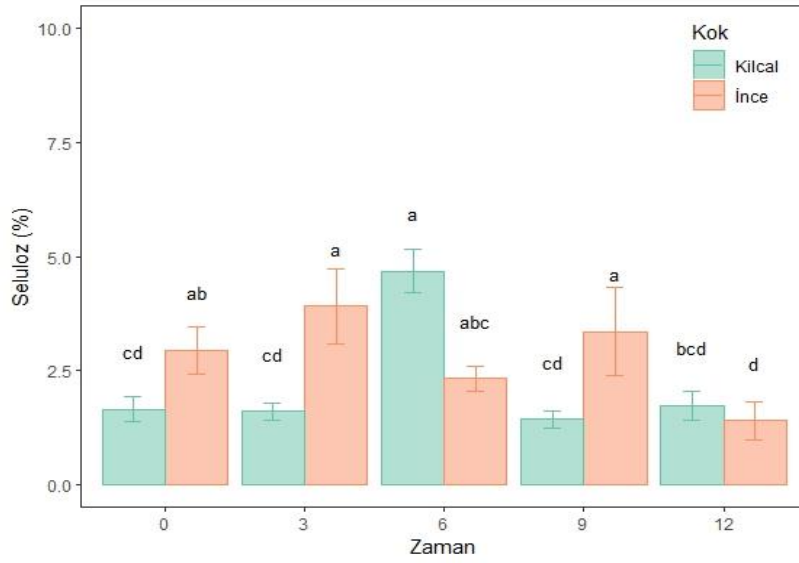
Kök Sınıfı	N	Min. (%)	Max. (%)	Ortalama (%)	Standart Sapma (±)	P
Kılcal Kök	15	1,30	5,18	2,22	1,30	0,057
İnce Kök	15	0,99	4,74	2,79	1,05	

Kılcal köklerde selüloz içerikleri başlangıç örneklerinde (Mayıs 2021') %1,2'ken, Ağustos 2021'de %2,8 Kasım 2021'de ise %4,7'ye yükselmiş, Şubat 2022'de %1,4'e düşmüştür. Son toplanan keselerde (Mayıs 2022) ise %2,8'e yükselmiştir. İnce köklerde ise selüloz içeriği kılcal köklerin aksine dalgalı bir seyir izlemiştir (Şekil 4.8). Selüloz içeriklerinin zamansal olarak istatistiksel fark gösterirken aynı zamanda kök zaman etkileşimi bakımından da farklılık göstermiştir (Tablo 4.16).

Tablo 4.16: Meşe kılcal ve ince köklerinin selüloz içeriklerinin zamana göre varyans analizi

	df	Ortalama Kareler	F	P
Kök	1	276,0	18,4	0,000
Zaman	4	153,7	10,2	0,000
Kök: Zaman	4	263,9	17,6	0,000

Kök çap sınıfları ayrı olarak değerlendirildiğinde ise kılcal köklerde başlangıç zamanı ile 6.ay arasında ve 9.ay ile 6.ay ince köklerin ise 12.ayın diğer aylarla arasında anlamlı bir fark bulunmaktadır (Şekil 4.8).



Sütunlardaki çubuklar standart sapmayı ($\pm$) göstermektedir. Sütunlardaki farklı harfler $p < 0,05$ düzeyinde istatistiki olarak birbirlerinden farklıdır.

Şekil 4.8: Meşe kılcal ve ince köklerinin selüloz içeriğinin zamana göre değişimi

4.1.1.9. Kök Lignin/ Kök Azot Oranına Ait Bulgular

Kılcal köklerdeki lignin/azot oranı 35,6 ile 47,88 arasında değişmiştir. İnce köklerde ise 35,8 ile 47,2 arasında değişmektedir. Yapılan t-testine göre aralarında anlamlı bir fark bulunamamıştır (Tablo 4.17).

Tablo 4.17: Meşe kılcal ve ince köklerinin lignin/kök azot oranına ait t-testi sonuçları

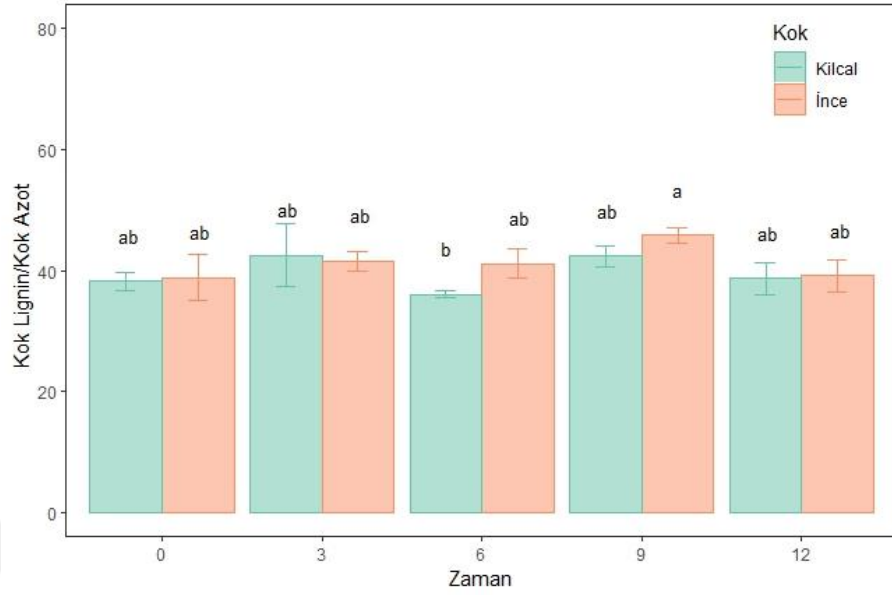
Kök Sınıfı	N	Min.	Max.	Ortalama	Standart Sapma ($\pm$)	P
Kılcal Kök	15	35,64	47,88	39,58	3,52	0,180
İnce Kök	15	35,77	47,18	41,3	3,35	

Kılcal köklerdeki lignin/azot oranı en yüksek 3. ayda 42,5 en düşük ise başlangıçta 38,2 olarak tespit edilmiştir. İnce köklerde en düşük oran ilk alınan örneklerde 38,7 iken en yüksek oran 45,8 ile 9. ayda toplanan keselerde bulunmuştur. Lignin/azot oranında zamansal olarak anlamlı fark bulunmaktadır (Tablo 4.18).

Tablo 4.18: Meşe kılcal ve ince köklerinin lignin/kök azot oranının zamana göre varyans analizi

	df	Ortalama Kareler	F	P
Kök	1	22,3	3,1	0,092
Zaman	4	38,1	5,3	0,004
Kök: Zaman	4	9,9	1,3	0,312

Lignin/azot oranı kök çap sınıflarına göre değerlendirildiğinde anlamlı bir fark görülmemektedir (Şekil 4.9).



Sütunlardaki çubuklar standart sapmayı ($\pm$) göstermektedir. Sütunlardaki farklı harfler $p < 0,05$ düzeyinde istatistiki olarak birbirlerinden farklıdır.

Şekil 4.9: Meşe kılcal ve ince köklerinin lignin/azot oranlarının zamana göre değişimi

4.1.1.10. Kök Lignin/ Kök Selüloz Oranına Ait Bulgular

Kılcal köklerde lignin/selüloz oranı 11,7 ile 52,3 arasında değişim göstermiştir. İnce kök sınıfında ise 12,9 ile 60,7 arasındadır. Yapılan t-testi sonucunda ise kökler arasında anlamlı fark tespit edilememiştir (Tablo 4.19).

Tablo 4.19: Meşe kılcal ve ince köklerinin lignin/selüloz oranına ait t-testi sonuçları

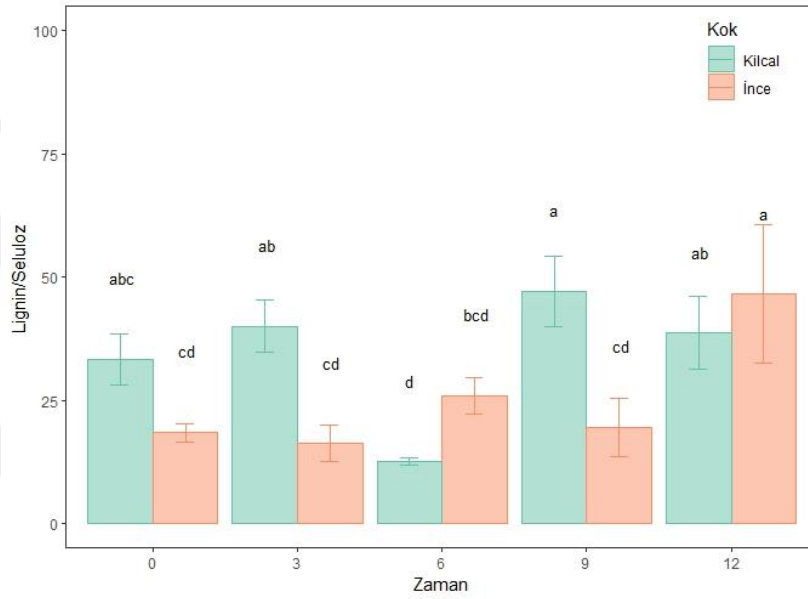
Kök Sınıfı	N	Min.	Max.	Ortalama	Standart Sapma ($\pm$)	P
Kılcal Kök	15	11,67	52,27	34,30	13,06	0,070
İnce Kök	15	12,89	60,73	25,33	13	

Kılcal köklerin başlangıç örneklerinde bulunan ve en yüksek çıkan miktar 99,6'dır. En düşük miktar ise keselerin ikinci kez alındığı Kasım 2021'de 12,6 olarak bulunmuştur. İnce köklerde en düşük oran Şubat 2021'de 16,2 çıkarken en yüksek oran ise son keselerin toplandığı Mayıs 2022'de 46,5 çıkmıştır. (Şekil 4.10). Anova analizi sonucu köklerdeki lignin/selüloz oranının zamansal değişimi istatistiksel olarak anlamlı farklılık göstermiştir. Ayrıca kökler arasında lignin/selüloz oranının zaman periyotları bakımından da anlamlı fark gösterdiği tespit edilmiştir. (Tablo 4.20).

Tablo 4.20: Meşe kılcal ve ince köklerinin lignin/selüloz oranının zamana göre varyans analizi

	df	Ortalama Kareler	F	P
Kök	1	604,2	14,2	0,001
Zaman	4	459,0	10,8	0,000
Kök: Zaman	4	517,1	12,1	0,000

Kök çap sınıflarına göre sadece kılcal kökler bakımından 6.ay ile diğer aylar arasında ince köklerin ise 12.ay ile diğer aylar anlamlı fark bulunmuştur (Şekil 4.10).



Sütunlardaki çubuklar standart sapmayı ($\pm$) göstermektedir. Sütunlardaki farklı harfler $p < 0,05$ düzeyinde istatistiki olarak birbirlerinden farklıdır.

Şekil 4.10: Meşe kılcal ve ince köklerinin lignin/selüloz oranlarının zamana göre değişimi

4.1.1.11. Makro Besin Elementlerine Ait Bulgular

İlk makro element olarak incelediğimiz fosfor ince köklerde 100,5-240 mg/kg arasında değişim gösterirken kılcal köklerde ise bu değişim 181,8-347,7mg/kg arasında tespit edilmiştir. Kılcal köklerdeki fosfor içeriğinin ince köklerden anlamlı olarak %69,9 daha yüksek olduğu belirlenmiştir (Tablo 4.21)

Tablo 4.21: Meşe kılcal ve ince köklerinin fosfor içeriklerine ait t-test sonuçları

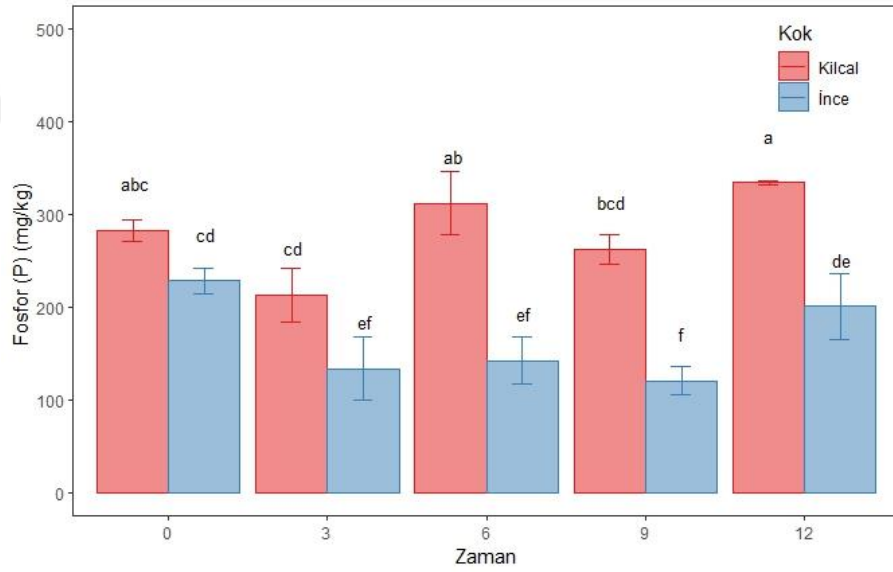
Kök Sınıfı	N	Min. (mg/kg)	Max. (mg/kg)	Ortalama (mg/kg)	Standart Sapma ($\pm$)	P
Kılcal Kök	15	181,8	347,7	281	47,09	0,000
İnce Kök	15	100,5	240	165,32	48,74	

Başlangıç kılcal köklerinde fosfor içeriği 282,60 mg/kg iken ince köklerde 228,40 mg/kg'dır. Her iki kök çap sınıfında da fosfor içeriklerinde zamansal dalgalanmalar tespit edilmiştir. Fosfor içeriklerindeki değişim hem zamansal olarak hem de kökler arasında zaman periyotlarında anlamlı farklılık göstermiştir (Tablo 4.22).

Tablo 4.22: Meşe kılcal ve ince köklerinin fosfor içeriklerinin zamana göre varyans analizi

	df	Ortalama Kareler	F	P
Kök	1	100364	169,5	0,000
Zaman	4	9725	16,4	0,000
Kök: Zaman	4	3392	5,7	0,003

Kök çap sınıfları göre yapılan değerlendirmede ince köklerde başlangıç dönemi diğer dönemlerden anlamlı olarak daha yüksek çıkmıştır. Kılcal köklerde 3.ay fosfor içerikleri 6. ve 12.ay ile 9. ay miktarı ise 12.ay arasında ince köklerde ise başlangıç zamanı 3., 6. ve 9.ay ile arasında anlamlı olarak fark göstermektedir. (Şekil 4.11).



Sütunlardaki çubuklar standart sapmayı ($\pm$) göstermektedir. Sütunlardaki farklı harfler $p < 0,05$ düzeyinde istatistiki olarak birbirlerinden farklıdır.

Şekil 4.11: Meşe kılcal ve ince köklerinin fosfor içeriklerinin zamana göre değişimi

Potasyum içerikleri kılcal köklerde 739,2-4052 mg/kg arasında bulunmuştur. İnce köklerde ise 456,8 ile 3047 mg/kg arasında değişim göstermiştir. T-testinde ise $p > 0,05$ ten büyük değer elde edilmiştir ve bu nedenle aralarında anlamlı bir fark olmadığı değerlendirilmiştir (Tablo 4.23).

Tablo 4.23: Meşe kılcal ve ince köklerinin potasyum içeriklerine ait t-test sonuçları

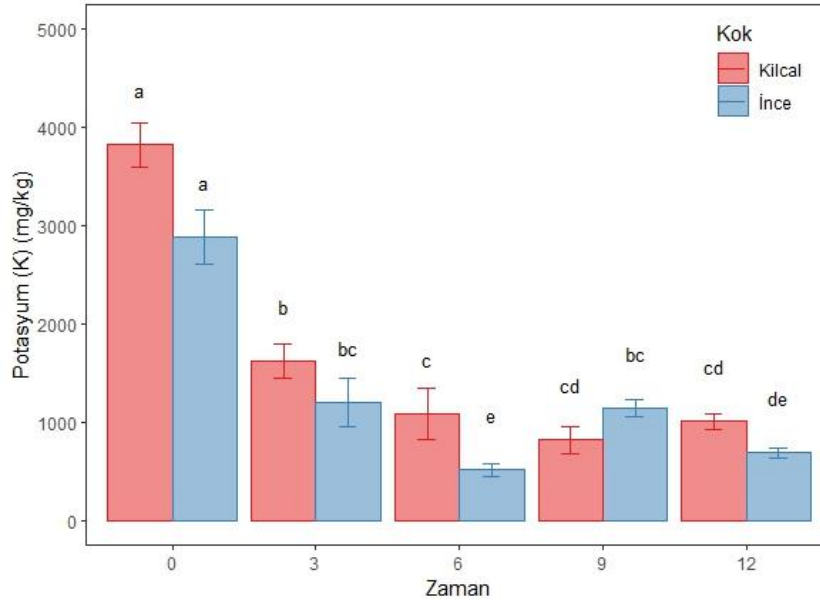
Kök Sınıfı	N	Min. (mg/kg)	Max. (mg/kg)	Ortalama (mg/kg)	Standart Sapma (±)	P
Kılcal Kök	15	739,2	4052	1673,96	1157,86	0,224
İnce Kök	15	456,8	3047	1289,80	880,8	

Potasyum içeriği kılcal köklerde başlangıç döneminden 9. aya kadar azalma eğilimi göstermiştir. İnce köklerde de benzer bir eğilim olup, en düşük değer 12. ayda belirlenmiştir (Şekil 4.12). Potasyum içeriği zamansal olarak anlamlı farklılık göstermiştir. Ayrıca farklı zaman periyotlarında kökler arasında da anlamlı olarak farklılık tespit edilmiştir (Tablo 4.24)

Tablo 4.24: Meşe kılcal ve ince köklerinin potasyum içeriklerinin zamana göre varyans analizi

	df	Ortalama Kareler	F	P
Kök	1	0,1	31,3	0,000
Zaman	4	0,4	124,1	0,000
Kök: Zaman	4	0	12,5	0,000

Kök sınıfları potasyum bakımından istatistiksel olarak değerlendirildiğinde hem ince hem de kılcal köklerin başlangıç dönemi ile diğer aylar arasında anlamlı bir fark vardır (Şekil 4.12).



Sütunlardaki çubuklar standart sapmayı (±) göstermektedir. Sütunlardaki farklı harfler $p < 0,05$ düzeyinde istatistiki olarak birbirlerinden farklıdır.

Şekil 4.12: Meşe kılcal ve ince köklerinin potasyum içeriklerinin zamana göre değişimi

Makro elementlerden diğerk bir element olan magnezyum kılcal köklerde 1273 -2256 mg/kg arasında bulunmuştur. İnce köklerde ise 619,6-1482 mg/kg arasındadır. Kılcal köklerdeki magnezyum içeriğı ince köklere göre istatistiksel olarak %36,6 daha yüksektir (Tablo 4.25).

Tablo 4.25: Meşe kılcal ve ince köklerinin magnezyum içeriklerine ait t-test sonuçları

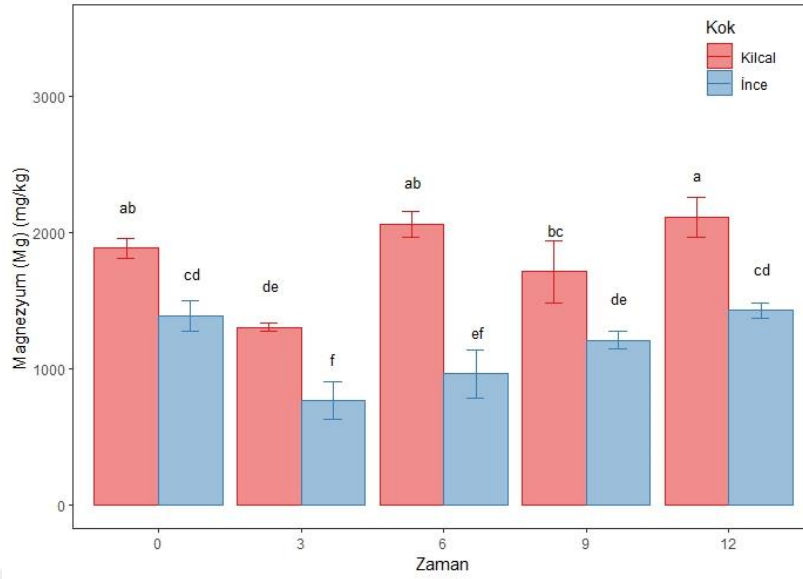
Kök Sınıfı	N	Min. (mg/kg)	Max. (mg/kg)	Ortalama (mg/kg)	Standart Sapma (±)	P
Kılcal Kök	15	1273	2256	1815,83	322,24	0,000
İnce Kök	15	619,6	1482	1150,89	280,58	

Kılcal köklerde magnezyum bakımından en yüksek değerk birinci yıl sonunda (Mayıs 2022), en düşük değerk ise 3. ayda (Ağustos 2021) bulunmuştur. İnce köklerde 3. aydan sonra diğerk üç zaman periyodunda magnezyum içeriğinde artış görölmüştür. Köklerde bulunan magnezyum miktarının zamansal olarak yapılan değerklendirmede anlamlı fark bulunmaktadır. Bununla birlikte kök zaman etkileşimi bakımından da anlamlı farklılık söz konusudur (Tablo 4.26).

Tablo 4.26: Meşe kılcal ve ince köklerinin magnezyum içeriklerinin zamana göre varyans analizi

	df	Ortalama Kareler	F	P
Kök	1	3316089	210,1	0,000
Zaman	4	462420	29,3	0,000
Kök: Zaman	4	97657	6,2	0,002

Kök çap sınıfları ele alındığında yapılan Anova testine (varyans analizine) göre ince kökler başlangıç ile 3.ay ve 3.ay ile 9. ve 12.ay arasında anlamlı fark gösterirken kılcal köklerde ise 3.ay ile 6.ay ve 12.ay arasında anlamlı fark göstermiştir (Şekil 4.13).



Sütunlardaki çubuklar standart sapmayı ($\pm$) göstermektedir. Sütunlardaki farklı harfler $p < 0,05$ düzeyinde istatistiki olarak birbirlerinden farklıdır.

Şekil 4.13: Meşe kılcal ve ince köklerinin magnezyum içeriklerinin zamana göre değişimi

Kılcal köklerde kalsiyum içeriği 7421-12660 mg/kg arasında iken ince köklerde ise 6049-16330 mg/kg arasında değişim göstermiştir. Yapılan t-testi sonucuna göre kökler arasında anlamlı bir fark bulunamamıştır (Tablo 4.27).

Tablo 4.27: Meşe kılcal ve ince köklerinin kalsiyum içeriklerine ait t-test sonuçları

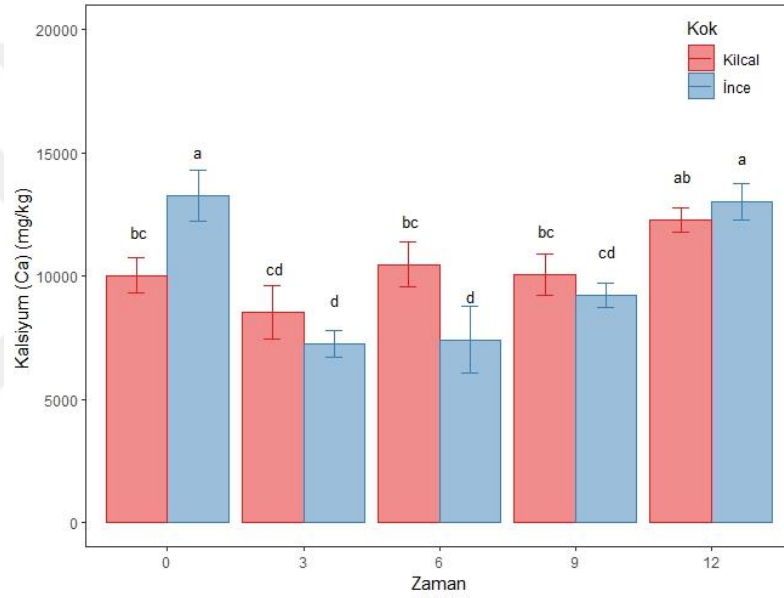
Kök Sınıfı	N	Min. (mg/kg)	Max. (mg/kg)	Ortalama (mg/kg)	Standart Sapma ($\pm$)	P
Kılcal Kök	15	7421	12660	10266,53	1429,53	0,772
İnce Kök	15	6049	14230	10026,87	2820,98	

Kılcal köklerde başlangıçta kalsiyum içeriği 10015,3 mg/kg iken ilk toplanan keselerde (3) miktar 8521,33 mg/kg'a kadar azalmış ve takiben eden dönemlerde artma eğilimi göstermiştir. Benzer olarak ince köklerde başlangıç döneminden (14256,67 mg/kg) keselerin toplandığı ilk döneme (3) kadar kalsiyum içeriğinde (7250 mg/kg) düşüş görülmüştür (Şekil 4.14). Köklerde bulunan kalsiyum içerikleri zamansal olarak anlamlı farklılık göstermiştir (Tablo 4.28). Bununla birlikte farklı zaman periyotlarında kökler arasında anlamlı olarak farklılık söz konusudur (Tablo 4.28)

Tablo 4.28: Meşe kılcal ve ince köklerinin kalsiyum içeriklerinin zamana göre varyans analizi

	df	Ortalama Kareler	F	P
Kök	1	430801	0,58	0,455
Zaman	4	2289226	30,8	0,000
Kök: Zaman	4	8395194	11,3	0,000

Kök çap sınıfları kendi içlerinde değerlendirildiğinde ince kökler başlangıca göre 3.,6.9.aylarda kılcal köklerde ise 12.ay ile 3.ay arasında anlamlı bir fark görülmektedir (Şekil 4.14).



Sütunlardaki çubuklar standart sapmayı ($\pm$) göstermektedir. Sütunlardaki farklı harfler $p < 0,05$ düzeyinde istatistiki olarak birbirlerinden farklıdır.

Şekil 4.14: Meşe kılcal ve ince köklerinin kalsiyum içeriklerinin zamana göre değişimi

Kılcal köklerde sodyum içeriği 98-402,6 mg/kg arasında değişiklik göstermiştir. Alandan alınan başlangıç örneklerinde miktar 379,73 mg/kg'dır. İnce köklerde ise 275,40 ile 81,81 mg/kg arasında bulunurken ilk toplanan kesede miktar 113,52 mg/kg'dır. T-testi sonuçlarına göre aralarında anlamlı bir fark yoktur (Tablo 4.29).

Tablo 4.29: Meşe kılcal ve ince köklerinin sodyum içeriklerine ait t-test sonuçları

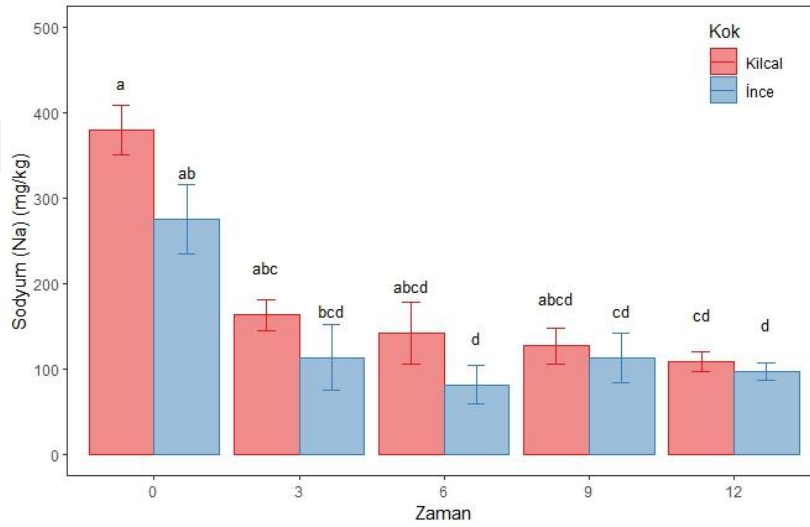
Kök Sınıfı	N	Min. (mg/kg)	Max. (mg/kg)	Ortalama (mg/kg)	Standart Sapma ($\pm$)	P
Kılcal Kök	15	98	402,6	184,17	105,03	0,055
İnce Kök	15	65,12	315	136,26	77,33	

Kılcal kökler ve ince köklerdeki sodyum içeriği genel olarak başlangıç döneminde itibaren azalma eğilimi göstermiştir (Şekil 4.15). Zamansal değişim bakımından Anova sonuçlarına göre anlamlı bir fark görülmektedir (Tablo 4.30).

Tablo 4.30: Meşe kılcal ve ince köklerinin sodyum içeriklerinin zamana göre varyans analizi

	df	Ortalama Kareler	F	P
Kök	1	333,3	13,6	0,001
Zaman	4	1305,1	13,3	0,000
Kök: Zaman	4	119,9	1,2	0,330

Kök sınıflarına göre mevcut olan sodyum içeriğinin Anova testine göre kılcal kökler başlangıç zamanı ile 12.ay arasında ve ince köklerde ise başlangıç zamanı ile 6.,9. ve 12.ay arasında farklılık göstermektedir (Şekil 4.15).



Sütunlardaki çubuklar standart sapmayı ($\pm$) göstermektedir. Sütunlardaki farklı harfler $p < 0,05$ düzeyinde istatistiki olarak birbirlerinden farklıdır.

Şekil 4.15: Meşe kılcal ve ince köklerinin sodyum içeriklerinin zamana göre değişimi

4.1.1.12. Mikro Besin Elementlerine Ait Bulgular

Makro besin elementleri dışında köklerdeki mikro besin elementleri de çalışma kapsamında değerlendirilmiştir. Bu kapsamda alüminyum (Al), demir (Fe), mangan (Mn), çinko (Zn) ve bakır (Cu) miktarlarındaki değişimlere ait sonuçlar sunulmuştur.

Kılcal köklerde alüminyum içeriği 1263-4311 mg/kg arasında mevcutken ince köklerde ise 198,9 ile 1660 mg/kg arasında hesaplanmıştır. İnce ve kılcal köklerde mevcut olan alüminyum

içeriği için yapılan t-testinde aralarında anlamlı fark tespit edilmiş olup ince kökler kılcal köklere göre % 68,11 daha düşük alüminyum içermektedir (Tablo 4.31).

Tablo 4.31: Meşe kılcal ve ince köklerinin alüminyum içeriklerine ait t-test sonuçları

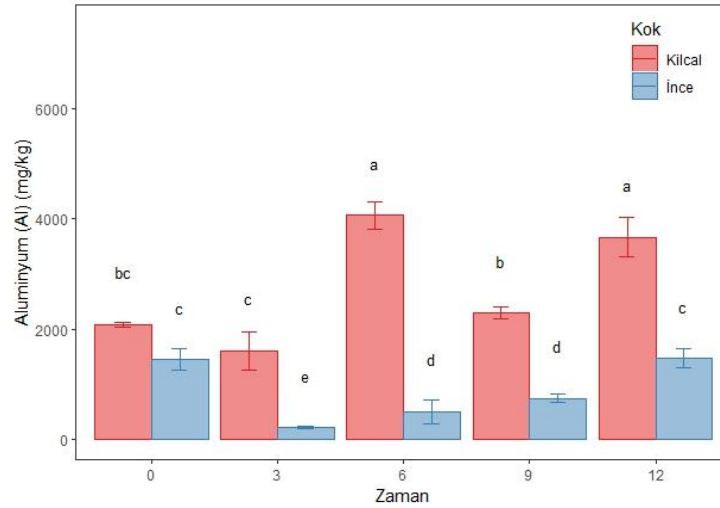
Kök Sınıfı	N	Min. (mg/kg)	Max. (mg/kg)	Ortalama (mg/kg)	Standart Sapma (±)	P
Kılcal Kök	15	1263	4311	2737,83	1008,77	0,000
İnce Kök	15	198,9	1660	873,05	538,19	

Kılcal köklerin başlangıç örneklerinde (Mayıs 2021) 1902,67 mg/kg ve ince köklerin ise başlangıç köklerinde 1446,00 mg/kg bulunmuştur. Örnekleme zamanlarına göre alüminyum miktarlarında artış ve azalışlar gözlemlenmiştir. Köklerde bulunan alüminyum miktarının zamansal bakımdan yapılan istatistik sonuçlarında hem zamansal hem de kök çap sınıfları ve zaman arasında anlamlı olarak farklılık gösterdiği görülmektedir (Tablo 4.32).

Tablo 4.32: Meşe kılcal ve ince köklerinin alüminyum içeriklerinin zamana göre varyans analizi

	df	Ortalama Kareler	F	P
Kök	1	5485	591,5	0,000
Zaman	4	2174	58,6	0,000
Kök: Zaman	4	1175	31,7	0,000

Köklerde bulunan alüminyum içeriğinin kök çap sınıflarına göre ince köklerin 3. ayı anlamlı olarak diğer aydan düşük tespit edilmiştir. Kılcal köklerde 6.ay diğer aylara göre anlamlı olarak düşüktür (Şekil 4.16).



Sütunlardaki çubuklar standart sapmayı ($\pm$) göstermektedir. Sütunlardaki farklı harfler $p < 0,05$ düzeyinde istatistiki olarak birbirlerinden farklıdır.

Şekil 4.16: Meşe kılcal ve ince köklerinin alüminyum içeriklerinin zamana göre değişimi

Kılcal köklerde demir içeriği 1113-3013 mg/kg arasında değişmektedir. İnce köklerde ise 154,7 ile 1134 mg/kg arasında değişmiştir. İnce kökler kılcal köklere göre anlamlı olarak % 68,48 daha düşük alüminyum içermektedir (Tablo 4.33).

Tablo 4.33: Meşe kılcal ve ince köklerinin demir içeriklerine ait t-test sonuçları

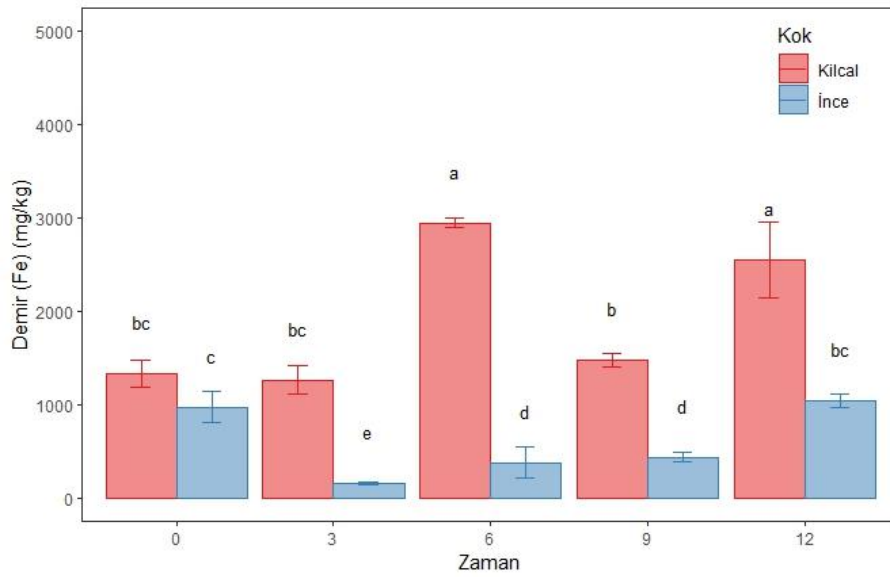
Kök Sınıfı	N	Min. (mg/kg)	Max. (mg/kg)	Ortalama (mg/kg)	Standart Sapma ($\pm$)	P
Kılcal Kök	15	1113	3013	1915,47	740,85	0,000
İnce Kök	15	154,7	1134	603,69	373,69	

Kılcal köklerin başlangıç örneklerinde 1333,00 mg/kg demir bulunmaktadır (Şekil 4.17). İnce köklerin başlangıç örneklerinde ise demir 980 mg/kg iken 3.ayda 164,57 mg/kg'a kadar düşmüş ve takip eden aylarda artış izlenmiştir. Her iki kök çap sınıfında 12. ay demir miktarı başlangıç dönemine göre yükselmiştir (Şekil 4.17). Köklerdeki demir içeriği zamansal olarak anlamlı olarak farklılık gösterirken aynı zamanda kökler farklı zaman periyotlarında da anlamlı fark göstermiştir (Tablo 4.34).

Tablo 4.34: Meşe kılcal ve ince köklerinin demir içeriklerinin zamana göre varyans analizi

	df	Ortalama Kareler	F	P
Kök	1	1960,1	556,9	0,000
Zaman	4	177,9	50,5	0,000
Kök: Zaman	4	115,6	32,8	0,000

Köklerde bulunan demir içeriğinin ince köklerde başlangıç zamanı ile 3, 6.ve 9.ayda; 3.ay ile diğer aylar ; 12.ay ile 3, 6 ve 9.aylar arasında anlamlı fark bulunurken kılcal köklerde bu durum 3.ay ile 6,9 ve 12.ay arasında anlamlı fark görülmektedir (Şekil 4.17).



Sütunlardaki çubuklar standart sapmayı ($\pm$) göstermektedir. Sütunlardaki farklı harfler $p < 0,05$ düzeyinde istatistiki olarak birbirlerinden farklıdır.

Şekil 4.17: Meşe kılcal ve ince köklerinin demir içeriklerinin zamana göre değişimi

Mikro besin elementlerinden mangan ince köklerde 155,5- 579 mg/kg arasında kılcal köklerde ise 237,4 ile 557,2 mg/kg arasında değişmiştir. İstatistik analiz sonucuna göre aralarında anlamlı bir fark çıkmamıştır (Tablo 4.35).

Tablo 4.35: Meşe kılcal ve ince köklerinin mangan içeriklerine ait t-test sonuçları

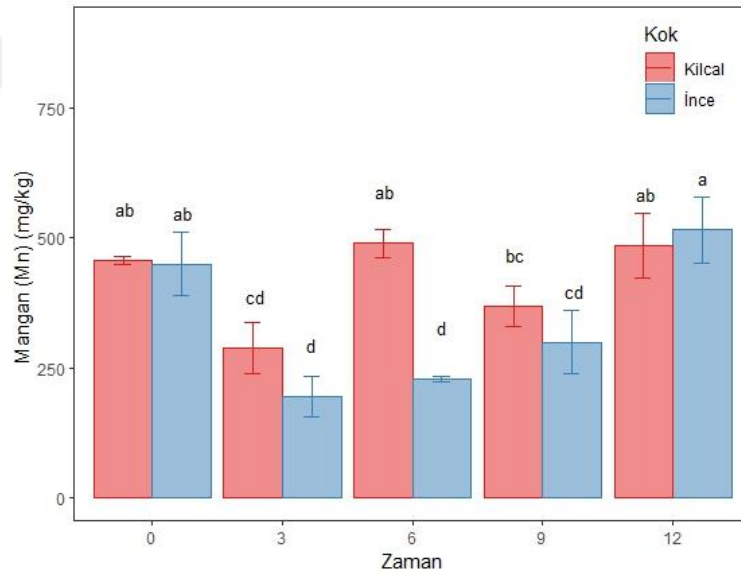
Kök Sınıfı	N	Min. (mg/kg)	Max. (mg/kg)	Ortalama (mg/kg)	Standart Sapma ($\pm$)	P
Kılcal Kök	15	237,4	557,2	418,05	88,14	0,064
İnce Kök	15	155,5	579	337,44	136,17	

Mangan kılcal köklerde artış ve azalış göstermiştir. İnce köklerde ise 3. aydan itibaren artış eğilimi söz konusudur (Şekil 4.18). Zamana göre yapılan değerlendirmeye göre kök çap sınıfları arasında anlamlı farklılıklar bulunmaktadır (Tablo 4.36). Bununla birlikte kök zaman etkileşimi bakımından da anlamlı fark tespit edilmiştir (Tablo 4.36).

Tablo 4.36: Meşe kılcal ve ince köklerinin mangan içeriklerinin zamana göre varyans analizi

	df	Ortalama Kareler	F	P
Kök	1	48739	22,4	0,000
Zaman	4	62322	28,7	0,000
Kök: Zaman	4	18905	8,7	0,000

Kök sınıfı göre yapılan anova testinde ise ince köklerde başlangıç ile 3 ve 6 ve 9.ayda; 12. ay ile 3 ve 6 ve 9.ayda anlamlı bir farklılık görülürken kılcal köklerde ise 3.ay ile 6. ve 12.aylarda bu durum görülmektedir (Şekil 4.18).



Sütunlardaki çubuklar standart sapmayı ($\pm$) göstermektedir. Sütunlardaki farklı harfler $p < 0,05$ düzeyinde istatistiki olarak birbirlerinden farklıdır.

Şekil 4.18: Meşe kılcal ve ince köklerinin mangan içeriklerinin zamana göre değişimi

Değerlendirilen diğer bir mikro element olan çinko miktarı kılcal köklerde 19,2-49,6 mg/kg arasında değişmiştir. İnce köklerde ise 4,94-26,79 mg/kg arasında ölçülmüştür. Yapılan t-testine göre kökler arasında anlamlı bir fark bulunmakla birlikte ince kökler %57,9 daha düşük miktara sahiptir (Tablo 4.37).

Tablo 4.37: Meşe kılcal ve ince köklerinin çinko içeriklerine ait t-test sonuçları

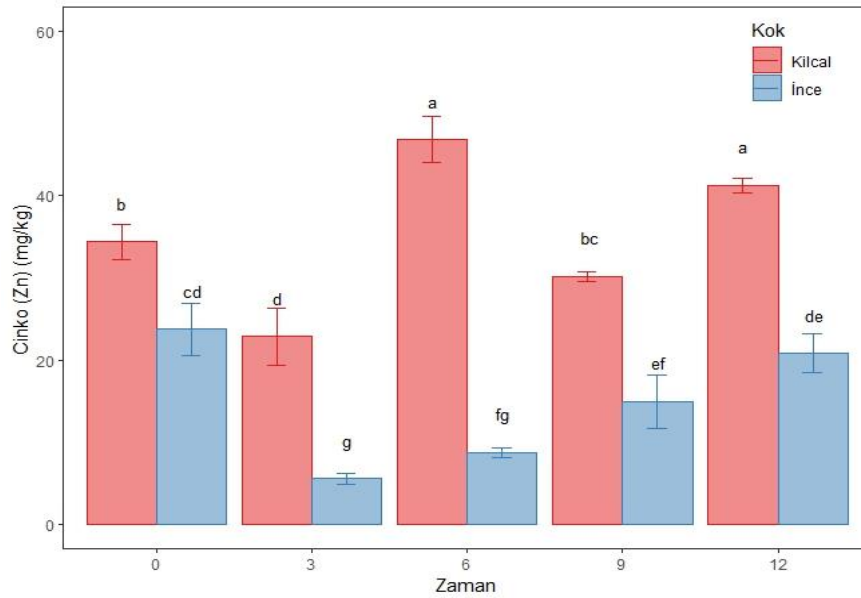
Kök Sınıfı	N	Min. (mg/kg)	Max. (mg/kg)	Ortalama (mg/kg)	Standart Sapma (±)	P
Kılcal Kök	15	19,2	49,6	35,11	8,85	0,000
İnce Kök	15	4,94	26,79	14,78	7,41	

Kılcal köklerde en yüksek çinko içeriği 12.ayda en düşük değer ise 3.ayda tespit edilmiştir. İnce köklerde ise en yüksek miktar başlangıç döneminde, en düşük değer ise 3. ayda görülmüştür. İnce köklerde 3. aydan itibaren çinko değerlerinde sürekli artış eğilimi söz konusudur (Şekil 4.19). Köklerdeki çinko içeriği zamansal olarak anlamlı olarak farklılık gösterirken aynı zamanda kökler farklı zaman periyotlarında da anlamlı fark göstermiştir (Tablo 4.38).

Tablo 4.38: Meşe kılcal ve ince köklerinin çinko içeriklerinin zamana göre varyans analizi

	df	Ortalama Kareler	F	P
Kök	1	3098,5	594,4	0,000
Zaman	4	274,2	52,6	0,000
Kök: Zaman	4	663,8	31,8	0,000

Kök sınıflarına göre ince köklerde 3.ay başlangıç,9 ve 12.aya göre; kılcal kök ise 3.ay ile 6., 9. ve 12. aylar arasında anlamlı bir fark görülmektedir (Şekil 4.19).



Sütunlardaki çubuklar standart sapmayı (±) göstermektedir. Sütunlardaki farklı harfler $p < 0,05$ düzeyinde istatistik olarak birbirlerinden farklıdır.

Şekil 4.19: Meşe kılcal ve ince köklerinin çinko içeriklerinin zamana göre değişimi

Kılcal köklerin bakır içerikleri 6,8-20,6 mg/kg, ince köklerin ise 3,88-18,9 mg/kg arasında ölçülmüştür. İstatistik değerlendirmeye göre anlamlı olarak kılcal kökler ince köklere göre %47,9 daha yüksektir (Tablo 4.39).

Tablo 4.39: Meşe kılcal ve ince köklerinin bakır içeriklerine ait t-test sonuçları

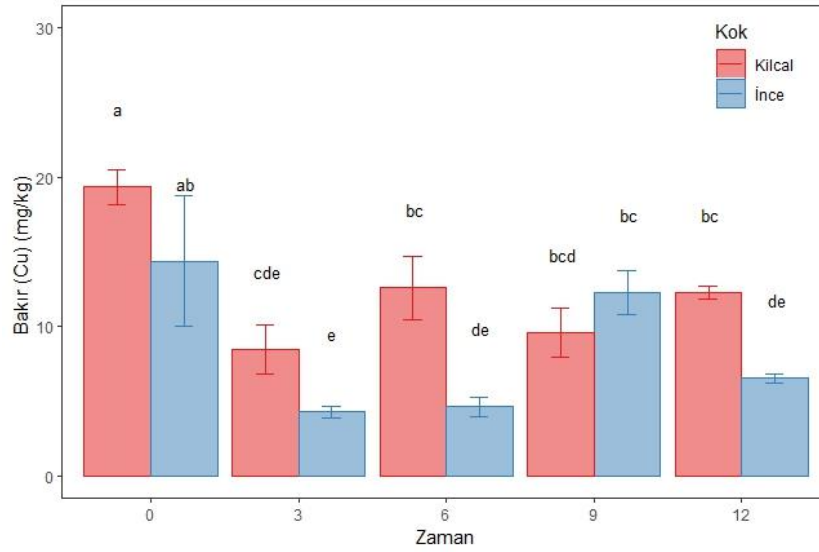
Kök Sınıfı	N	Min. (mg/kg)	Max. (mg/kg)	Ortalama (mg/kg)	Standart Sapma (±)	P
Kılcal Kök	15	6,8	20,61	12,47	4,12	0,017
İnce Kök	15	3,88	18,87	8,43	4,63	

Bakır içeriği hem kılcal köklerde hem de ince köklerde en yüksek başlangıç örneğinde en düşük bakır miktarı ise 3. ayda belirlenmiştir. Her iki kök sınıfının bakır miktarı zamansal olarak artış ve azalışlar içermektedir. Köklerdeki çinko içeriği zamansal olarak anlamlı olarak farklılık gösterirken bununla birlikte kökler farklı zaman periyotlarında da anlamlı fark göstermiştir (Tablo 4.40).

Tablo 4.40: Meşe kılcal ve ince köklerinin bakır içeriklerinin zamana göre varyans analizi

	df	Ortalama Kareler	F	P
Kök	1	122,3	36,7	0,000
Zaman	4	374,2	28,1	0,000
Kök: Zaman	4	96,7	7,3	0,000

Bakır içeriğinin kök sınıfı ve zamana göre yapılan Anova testine göre ince köklerin başlangıç zamanı ile 3., 6. ve 12. ay; kılcal kökler ise başlangıç zamanı ile 3., 6., 9. ve 12. aylar arasında anlamlı fark ortaya çıkmıştır (Şekil 4.20).



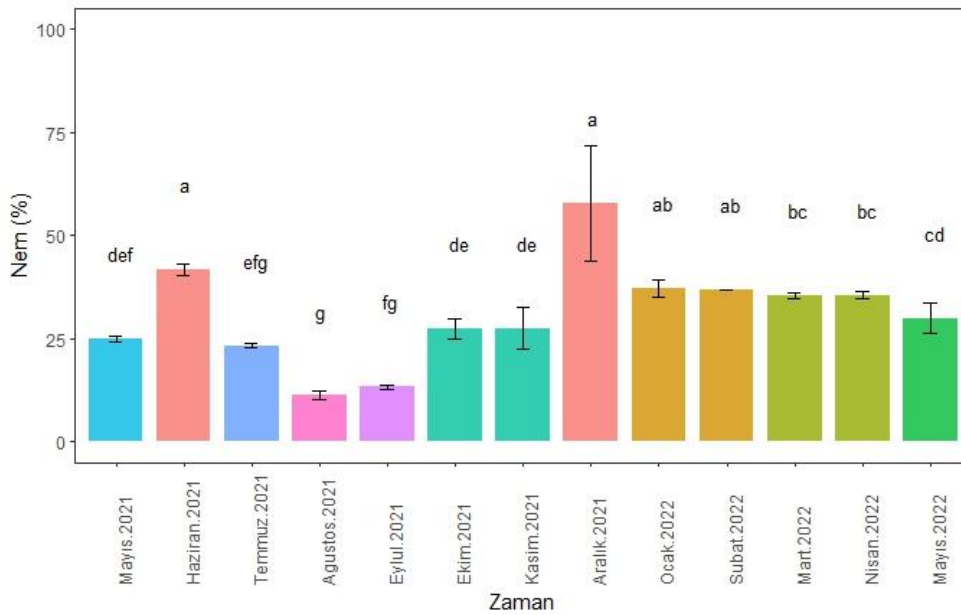
Sütunlardaki çubuklar standart sapmayı ($\pm$) göstermektedir. Sütunlardaki farklı harfler $p < 0,05$ düzeyinde istatistiki olarak birbirlerinden farklıdır.

Şekil 4.20: Meşe kılcal ve ince köklerinin bakır içeriklerinin zamana göre değişimi

4.1.2. Toprak Özelliklerine Ait Bulgular

4.1.2.1. Toprak nemine ait bulgular

Meşe türünün toprak nemi en yüksek Aralık 2021, en düşük Ağustos 2021 ayında bulunmuştur. Toprak nem miktarlarının zamana göre istatistiksel analizleri Anova testine göre meşe topraklarında Haziran.2021 ve Aralık.2021'in Ağustos.2021 ve Eylül.2021 arasında anlamlı bir fark olduğu bulunmaktadır (Şekil 4.21).

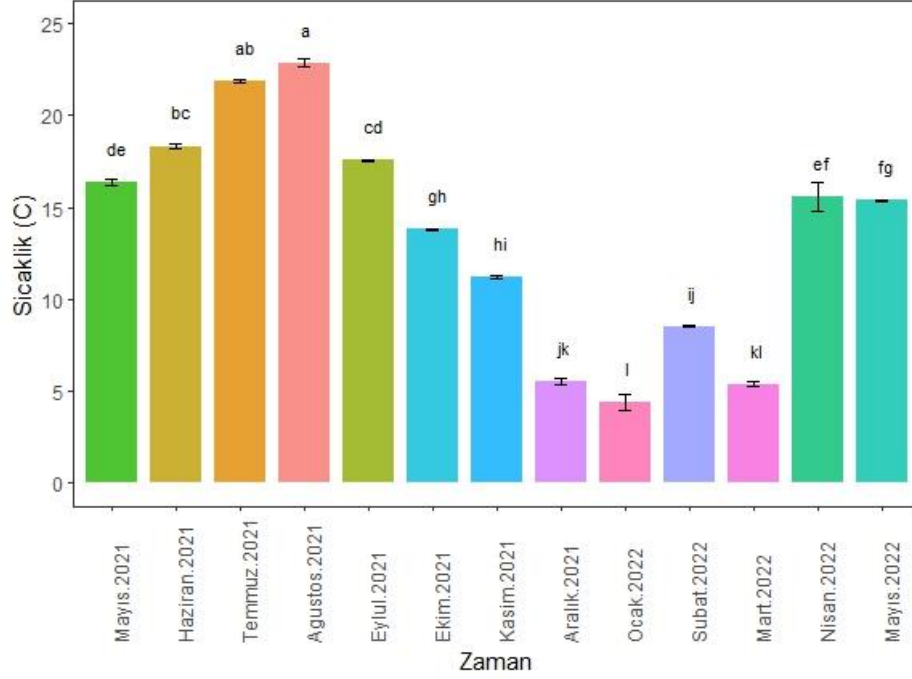


Sütunlardaki çubuklar standart sapmayı ($\pm$) göstermektedir. Sütunlardaki farklı harfler $p < 0,05$ düzeyinde istatistiki olarak birbirlerinden farklıdır.

Şekil 4.21: Meşe örnek alanlarında toprak nem içeriğinin zamana göre değişimi

4.1.2.2. Toprak Sıcaklığına Ait Bulgular

Meşe örnek alanlarında toprak sıcaklığı en yüksek Ağustos 2021’de en düşük Ocak 2022’de ölçülmüştür. Meşe topraklarında Aralık 2021, Ocak 2022 ve Mart 2022 döneminde sıcaklığın diğer dönemlere göre anlamlı olarak düşük olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.22).

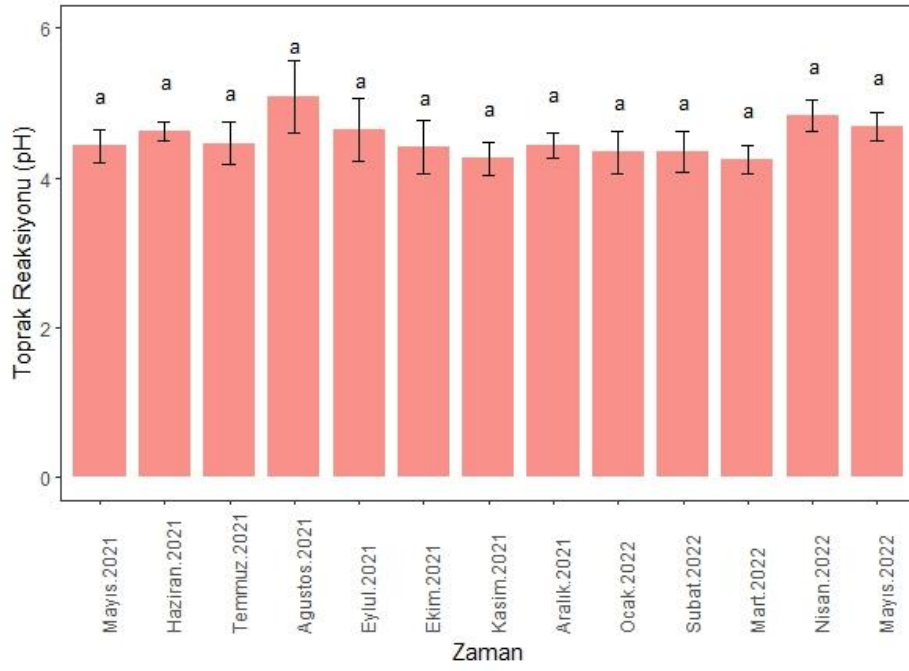


Sütunlardaki çubuklar standart sapmayı ($\pm$) göstermektedir. Sütunlardaki farklı harfler $p < 0,05$ düzeyinde istatistiki olarak birbirlerinden farklıdır.

Şekil 4.22: Meşe örnek alanlarında toprak sıcaklığının zamana göre değişimi

4.1.2.3. Toprak Reaksiyonuna (pH) Ait Bulgular

Toprak pH’sı en yüksek Ağustos 2021’de en düşük Mart 2022 ölçülmüştür. Yapılan varyans analizine göre toprak pH’sı bakımından aylar arasında anlamlı fark yoktur (Şekil 4.23).

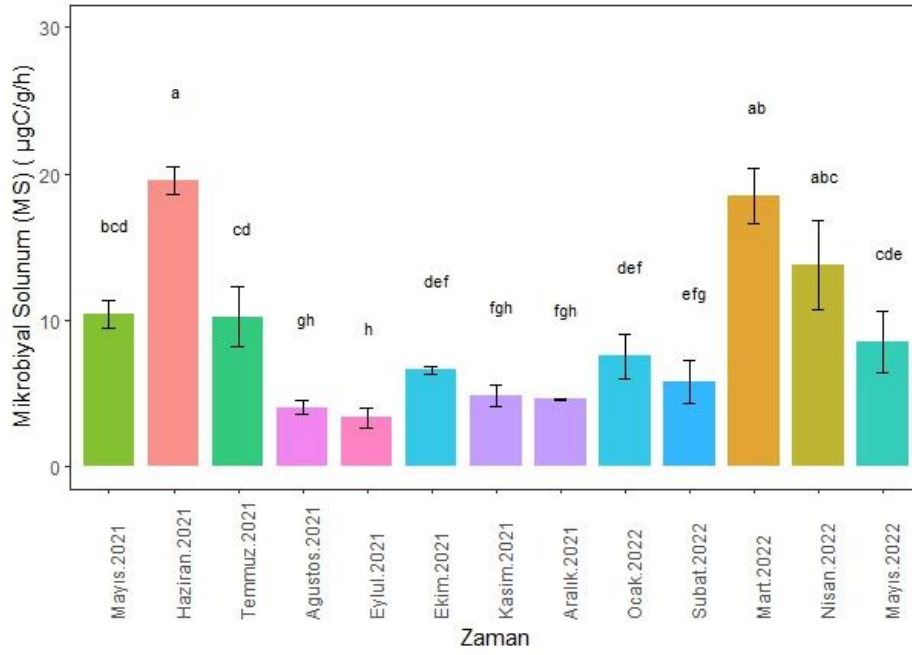


Sütunlardaki çubuklar standart sapmayı ($\pm$) göstermektedir. Sütunlardaki farklı harfler $p < 0,05$ düzeyinde istatistiki olarak birbirlerinden farklıdır.

Şekil 4.23: Meşe örnek alanlarında toprak pH'sının zamana göre değişimi

4.1.2.4. Mikrobiyal Solunuma Ait Bulgular

Toprak mikrobiyal solunumu bir yıl boyunca alınan örneklerde $19,50-3,38 \mu\text{g C /g/ h}$ arasında değişim göstermiştir. Her iki türde de kış aylarında toprak mikrobiyal solunumu düşüş göstermiştir. Türlerin toprak mikrobiyal solunumu için yapılan varyans analizine göre meşenin Haziran 2021, Mart 2022 ve Nisan 2022 ayları hariç diğer aylar aralarında anlamlı bir fark olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.24).

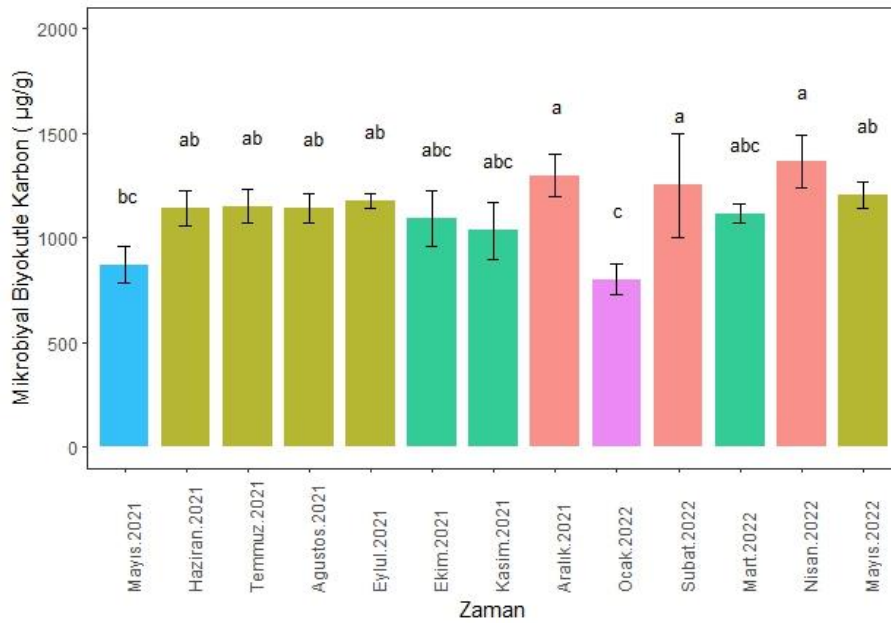


Sütunlardaki çubuklar standart sapmayı ($\pm$) göstermektedir. Sütunlardaki farklı harfler $p < 0,05$ düzeyinde istatistiki olarak birbirlerinden farklıdır.

Şekil 4.24: Meşe örnek alanlarında toprak mikrobiyal solunumun zamana göre değişimi

4.1.2.5. Mikrobiyal Biyokütle Karbona (MB_C) Ait Bulgular

Mikrobiyal biyokütle karbon içeriği en düşük 673,00 $\mu\text{g/g}$ ile Ocak 2022 de ölçülürken en yüksek 1306,00 $\mu\text{g/g}$ ile Nisan 2022’de tespit edilmiştir. Topraktaki mikrobiyal biyokütle karbon içerikleri Anova sonuçlarına göre Mayıs 2021 ile Ocak 2022 aylarında alınan örneklerde anlamlı olarak daha düşük olduğu ortaya çıkmıştır (Şekil 4.25).

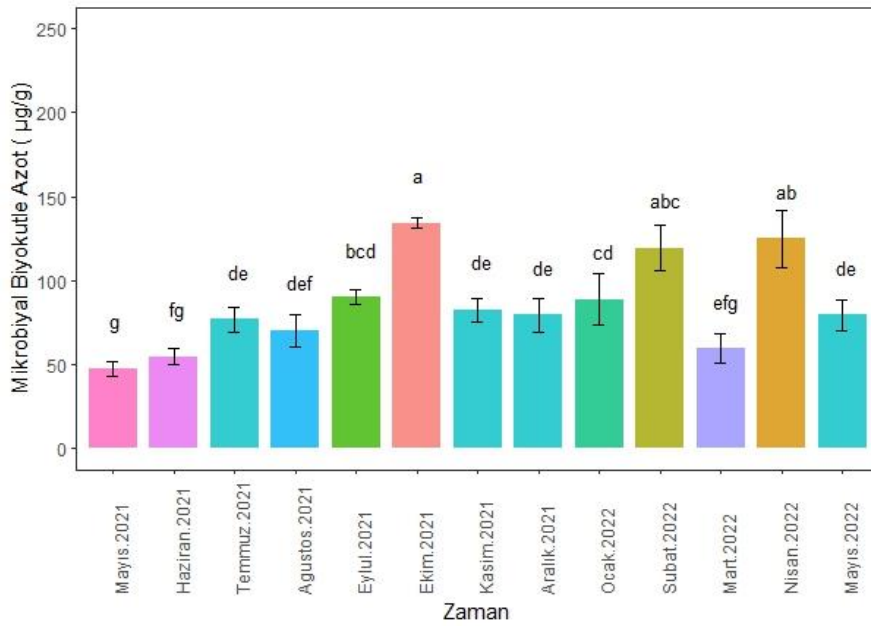


Sütunlardaki çubuklar standart sapmayı ($\pm$) göstermektedir. Sütunlardaki farklı harfler $p < 0,05$ düzeyinde istatistiki olarak birbirlerinden farklıdır.

Şekil 4.25: Meşe örnek alanlarında toprakların MB_C değerlerinin zamana göre değişimi

4.1.2.6. Mikrobiyal Biyokütle Azota (MB_N) Ait Bulgular

Her ay alınan toprak örneklerinde mikrobiyal biyokütle azot içeriği en yüksek Ekim 2021’de 137,29 µg/g en düşük Mayıs 2021 de 43,44 µg/g bulunmuştur. Zamansal olarak değerlendirilen topraklarda Mart 2022’nin, Eylül 2021, Ekim 2021, Ocak 2022, Şubat 2022 ve Nisan 2022 ayları hariç diğer aylarla arasında anlamlı bir fark olduğu görülmektedir. Ek olarak Nisan 2022’nin ise Ağustos 2021, Kasım 2021, Aralık 2021 ile de arasında anlamlı bir fark vardır (Şekil 4.26).

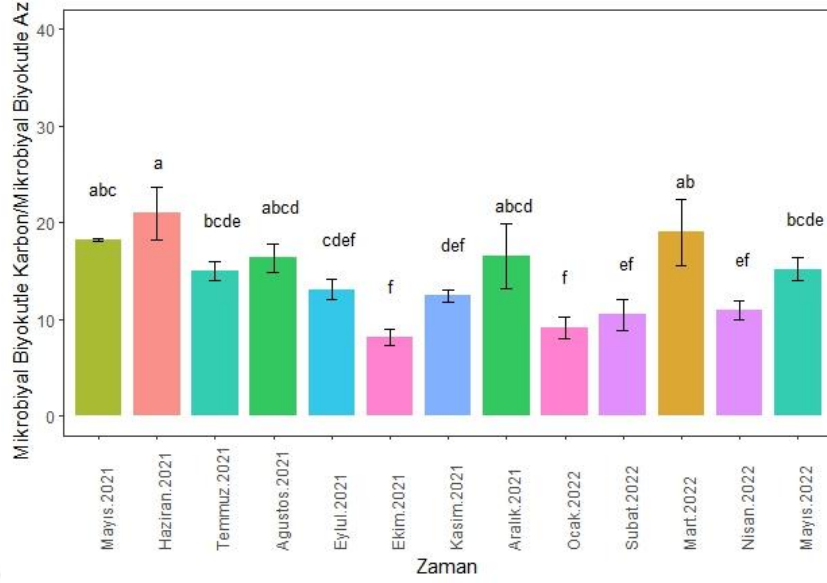


Sütunlardaki çubuklar standart sapmayı (±) göstermektedir. Sütunlardaki farklı harfler p<0,05 düzeyinde istatistiki olarak birbirlerinden farklıdır.

Şekil 4.26: Meşe örnek alanlarında toprakların MB_N değerlerinin zamana göre değişimi

4.1.2.7. Mikrobiyal Biyokütle Karbon/Azot (MB_C/ MB_N) Oranına Ait Bulgular

Topraklarda en yüksek miktar Haziran 2021 de 22,72 en düşük Ocak 2022 de 7,81 ve Ekim 2021’de 7,64 bulunmuştur. Zamansal değişim topraklarda bulunan mikrobiyal biyokütle karbon/azot oranı için istatistiksel olarak Haziran 2021’in Ekim 2021 ve Ocak 2022 arasında anlamlı fark göstermiştir (Şekil 4.27).

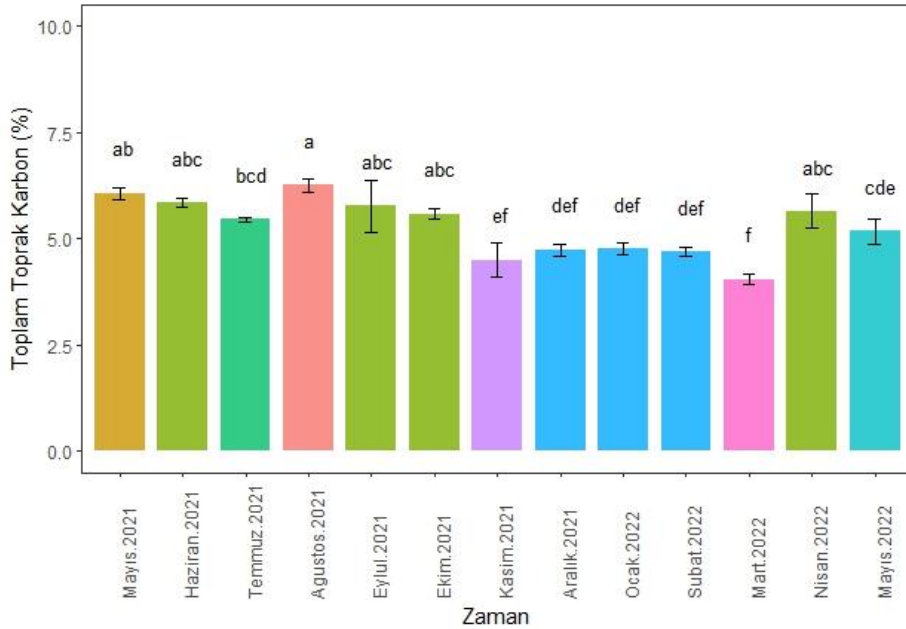


Sütunlardaki çubuklar standart sapmayı ($\pm$) göstermektedir. Sütunlardaki farklı harfler $p < 0,05$ düzeyinde istatistik olarak birbirlerinden farklıdır.

Şekil 4.27: Meşe örnek alanlarında toprakların MB_C/MB_N oranının zamana göre değişimi

4.1.2.8. Topraktaki Toplam Karbon Miktarına Ait Bulgular

Toprakların karbon içeriği %6,07 ile %4,04 arasında değişim göstermiştir. İstatistiksel değerlendirme sonucuna göre Ağustos 2021 ayının Kasım 2021 ve Mart 2022 zamanları arasında anlamlı fark olduğu görülmektedir (Şekil 4.28).

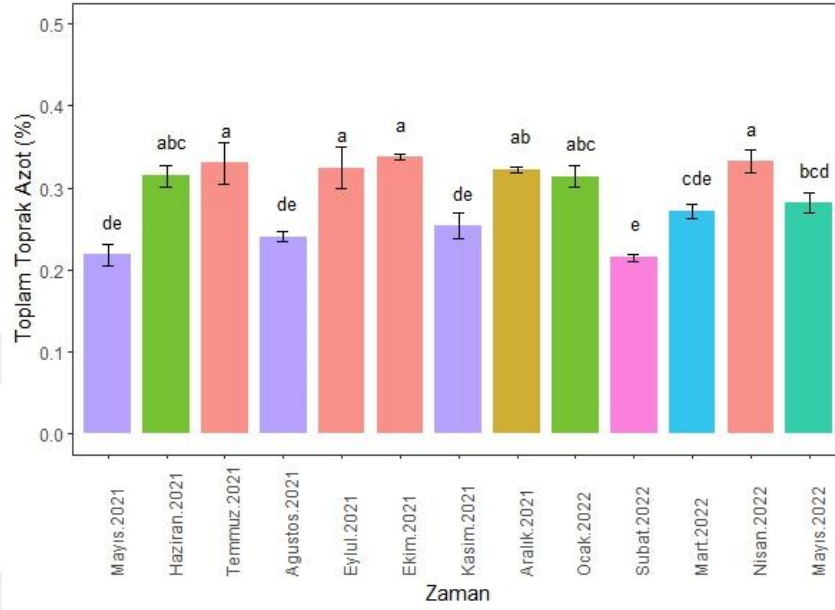


Sütunlardaki çubuklar standart sapmayı ($\pm$) göstermektedir. Sütunlardaki farklı harfler $p < 0,05$ düzeyinde istatistik olarak birbirlerinden farklıdır.

Şekil 4.28: Meşe örnek alanlarında toprak organik karbon içeriğinin zamana göre değişimi

4.1.2.9. Topraktaki Toplam Azot Miktarına Ait Bulgular

Azot miktarı en yüksek bulunan ay Ekim 2021 %0,34 olarak en düşük Ağustos 2021’de %0,21 olarak belirlenmiştir. Zamansal değerlendirme sonucunda Temmuz 2021, Eylül 2021, Ekim 2021 ve Nisan 2022 ‘nin Mayıs 2021, Ağustos 2021, Kasım 2021 ,Şubat 2022, Mart 2022 ve Mayıs 2022 ayları arasında anlamlı fark olduğu ortaya çıkmıştır (Şekil 4.29).

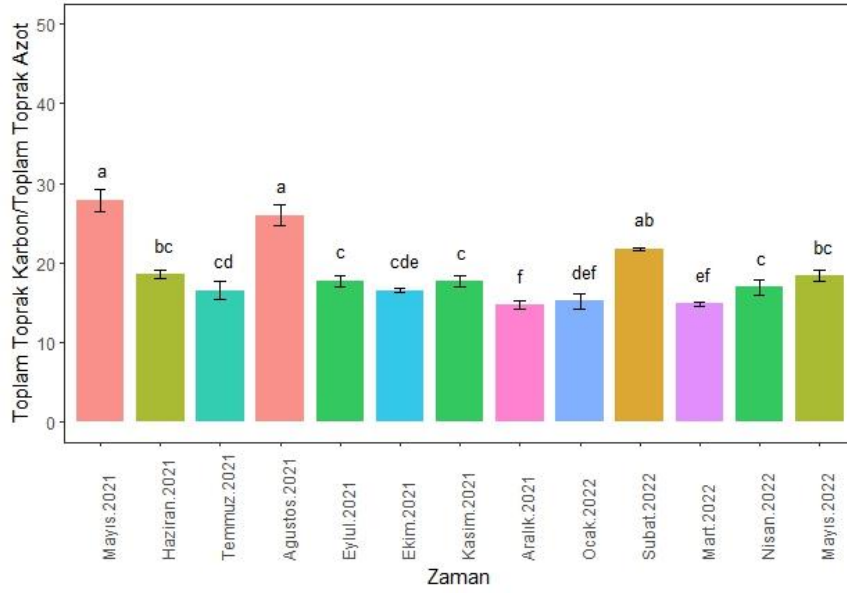


Sütunlardaki çubuklar standart sapmayı ($\pm$) göstermektedir. Sütunlardaki farklı harfler $p < 0,05$ düzeyinde istatistiki olarak birbirlerinden farklıdır.

Şekil 4.29: Meşe örnek alanlarında toprakların azot içeriğinin zamana göre değişimi

4.1.2.10. Topraktaki Karbon/Azot (C/N) Oranına Ait Bulgular

Toprakların en yüksek karbon/azot oranı 27,90 (Mayıs 2021) en düşük 14,70 (Aralık 2021) arasında bulunmaktadır. Topraklarındaki karbon/azot oranı zamansal olarak değerlendirildiğinde Mayıs 2021’ve Ağustos 2021’in diğer aylar ile arasında anlamlı bir fark olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.30).



Sütunlardaki çubuklar standart sapmayı ($\pm$) göstermektedir. Sütunlardaki farklı harfler $p < 0,05$ düzeyinde istatistiki olarak birbirlerinden farklıdır.

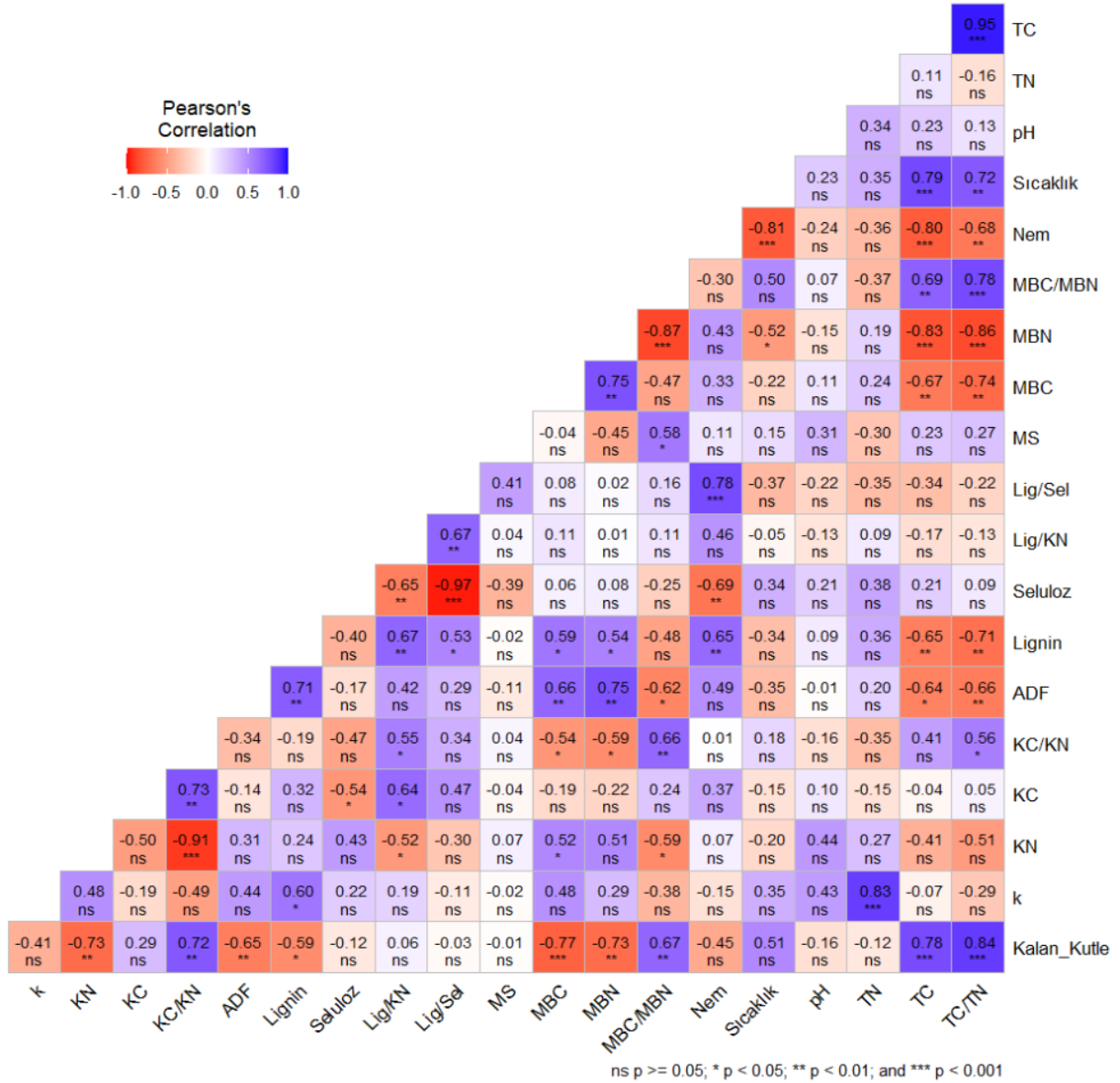
Şekil 4.30: Meşe örnek alanlarında toprakların karbon/azot oranının zamana göre değişimi

4.1.3. Kök Özellikleri İle Toprak Özellikleri Arasında İlişkilere Ait Bulgular

4.1.3.1. Kılcal kökler ile toprak özellikleri arasındaki ilişkilere ait bulgular

Kılcal kökler ile toprak özellikleri arasındaki ilişkiler değerlendirildiğinde, Kalan kütle ile kök karbon/azot oranı ($r=0,72$), toprak karbonu ($r=0,78$), ve toprak karbon/azot oranı ($r=0,84$) arasında doğrusal ilişki olduğu belirlenmiştir. Fakat kök azot içeriği ($r=-0,73$), ADF ($r=-0,65$), lignin ($r=-0,59$), mikrobiyal biyokütle karbon ($r=-0,77$) ve mikrobiyal biyokütle azot ($r=-0,73$) içerikleriyle negatif bir ilişki tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra ayrışma katsayısı toprak azot içeriği ($r=0,83$) ve lignin ($r=0,60$) ile pozitif ilişki, kök selüloz içeriği, lignin/selüloz oranı ($r=-0,97$), kök karbon içeriği ($r=-0,54$) ve lignin/azot oranı ($r=-0,65$) ile negatif ilişki göstermiştir. Bununla birlikte lignin içeriğiyle toprak karbon/azot oranı ($r=-0,71$) ve toprak karbonu ($r=-0,65$) arasında negatif bir ilişki bulunurken toprak nemi ($r=0,65$), mikrobiyal biyokütle karbon ($r=0,59$), mikrobiyal biyokütle azot ($r=0,54$), lignin/selüloz ($r=0,53$) ve lignin/azot ($r=0,67$) arasında pozitif ilişki bulunmuştur. ADF içeriği ise lignin ($r=0,71$), mikrobiyal biyokütle azot ($r=0,75$) ve mikrobiyal kütle karbon ($r=0,66$) ile pozitif, toprak karbon miktarı ($r=-0,64$), toprak karbon/azot miktarı ($r=-0,66$) ve mikrobiyal biyokütle karbon/mikrobiyal biyokütle azot ($r=-0,62$) ile negatif ilişki görülmektedir. Ayrıca köklerdeki karbon içeriği ile kök karbon/azot oranı ($r=0,73$) arasında pozitif ilişki bulunurken köklerdeki azot içeriği ile toprak karbon/azot oranı ($r=-0,51$) ve kök karbon/azot oranı ($r=-0,91$) arasında negatif ilişki bulunmaktadır.

Toprak özellikleri arasındaki ilişkiler değerlendirildiğinde, mikrobiyal biyokütle azot ile mikrobiyal biyokütle karbon/azot ($r=-0,86$) oranı arasında, mikrobiyal biyokütle karbon ile toprak karbonu ($r=-0,67$) ve toprak karbon/azot miktarı ($r=-0,74$) arasında da negatif bir ilişki tespit edilmiştir. Bununla birlikte toprak nemi ile toprak sıcaklığı ($r=-0,81$), toprak karbonu ($r=-0,80$) ve toprak karbon/azot miktarı ($r=-0,68$) arasında kuvvetli bir negatif ilişki söz konusudur (Şekil 4.31).

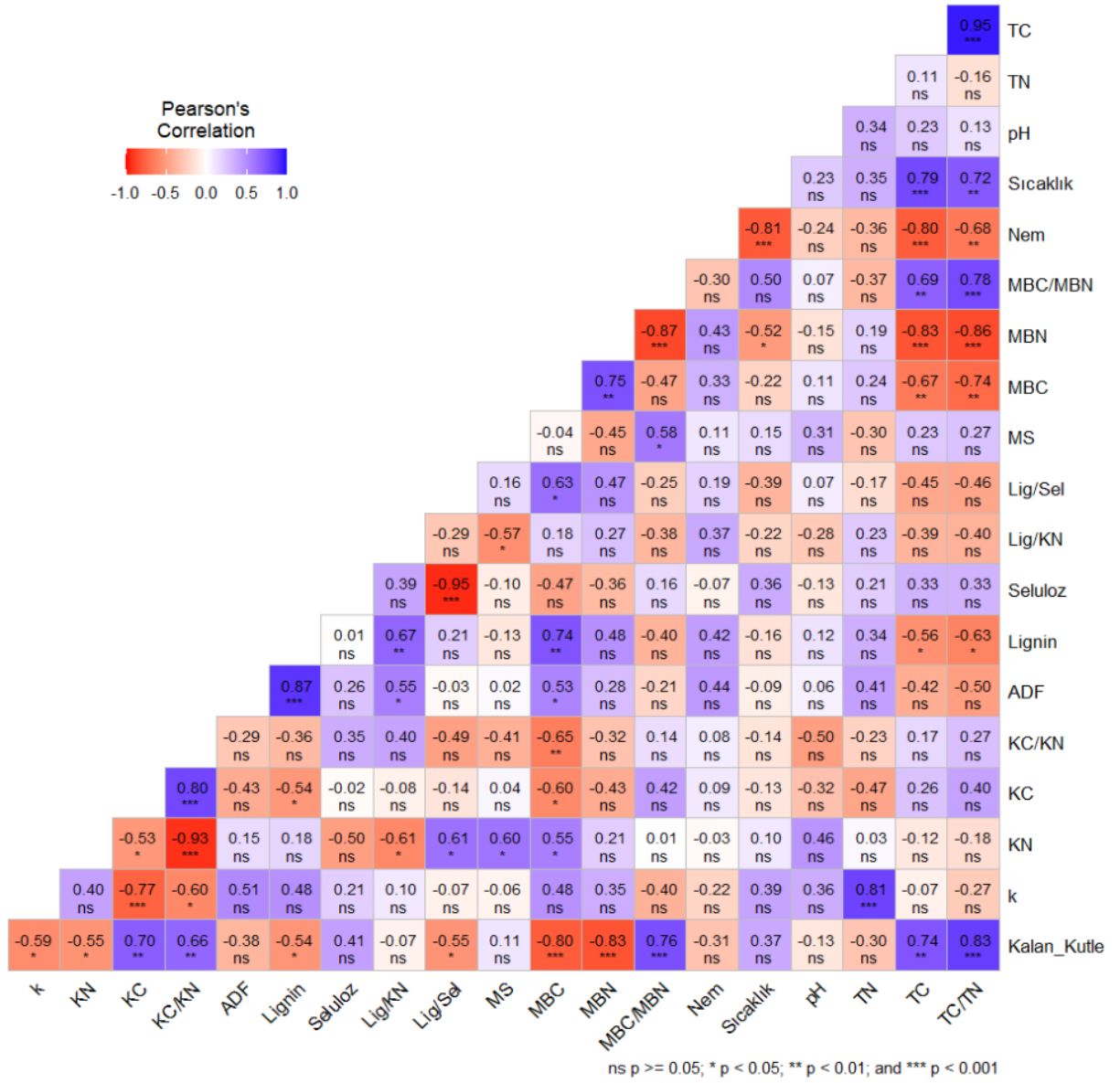


k: Ayrışma katsayısı, KN: Kök azotu, KC: Kök karbonu, KC/KN: Kök karbon/azot, pH: toprak asitliği, TC: Toprak karbonu, TN: Toprak azotu, TC/TN: Toprak karbon/toprak azot, MBC: Mikrobiyal biyokütle karbon, MBN: Mikrobiyal biyokütle azot, MS: Mikrobiyal solunum Lig/KN: Lignin/Kök azot, Lig/Sel: Lignin/Selüloz, T: Toprak sıcaklığı

Şekil 4.31: Meşe örnek alanları kılcal köklere ait korelasyon analizi sonuçları

4.1.3.2. İnce kökler ile toprak özellikleri arasındaki ilişkilere ait bulgular

İnce kök özellikleri ile toprak özellikleri arasında ilişkiler değerlendirildiğinde, Kalan kütle miktarı ile toprak karbon içeriği ($r=0,74$), toprak karbon/azot oranı ($r=0,83$), kök karbon içeriği ($r=0,70$), kök karbon/azot oranı ($r=0,66$) ve mikrobiyal biyokütle karbon/mikrobiyal biyokütle azot ($r=-0,76$) ile pozitif yönde ilişki, ayrışma katsayısı ($r=-0,59$), lignin ($r=-0,54$), lignin/selüloz oranı ($r=-0,55$), mikrobiyal biyokütle karbon ($r=-0,80$), mikrobiyal biyokütle azot ($r=-0,83$) ve kök azot miktarı ($r=-0,55$) ile negatif ilişki tespit edilmiştir. Köklerin ayrışma katsayısı ile toprak azot içeriği ($r=0,81$) arasında pozitif ilişki görülürken, kök karbon içeriği ($r=-0,77$), ve kök karbon/azot oranı ($r=-0,60$) ile arasında negatif ilişki görülmektedir. Selüloz içeriği bakımından sadece lignin/selüloz oranı ($r=-0,95$) ile kuvvetli negatif ilişki belirlenmiştir. Köklerin ADF içeriği ise lignin ($r=0,87$), lignin/azot ($r=0,55$) ve mikrobiyal biyokütle karbon ($r=0,53$) ile pozitif ilişki göstermiştir. Bununla birlikte lignin ile mikrobiyal biyokütle karbon ($r=0,74$) ve lignin/kök azot oranı ($r=0,7$) ile pozitif ilişki söz konusu iken, toprak karbon içeriği ($r=-0,56$), toprak karbon/azot oranı ($r=-0,63$) ile negatif ilişki söz konusudur (Şekil 4.32).



k: Ayrışma katsayısı, KN: Kök azotu, KC: Kök karbonu, KC/KN: Kök karbon/azot, pH: toprak asitliği, TC: Toprak karbonu, TN: Toprak azotu, TC/TN: Toprak karbon/toprak azot, MBC: Mikrobiyal biyokütle karbon, MBN: Mikrobiyal biyokütle azot, MS: Mikrobiyal solunum Lig/KN: Lignin/Kök azot, Lig/Sel: Lignin/Selüloz, T: Toprak sıcaklığı

Şekil 4.32: Meşe örnek alanları ince köklere ait korelasyon analizi sonuçları

4.2. GÜRGEN TÜRÜNE AİT BULGULAR

4.2.1. Kök Özelliklerine Ait Bulgular

4.2.1.1. Kalan Kütle Miktarlarına Ait Bulgular

Gürgen ağaç türünde kök sınıflarında kalan kütle miktarı incelenmiştir. Kılcal köklerde (0-2 mm) kalan kütle miktarları 3,6,9 ve 12. aylarda sırasıyla %83,6; % 77,1; %68,8; %64,6 elde edilirken ince köklerde (2-5 mm) ise %79,5 ; %66,9; %58,6 ; 52,8 si kalmıştır. Yapılan t-testine göre aralarında anlamlı bir fark bulunmamaktadır (Tablo 4.41).

Tablo 4.41: Gürgen kılcal ve ince köklerinin kalan kütle miktarına ait t-testi sonuçları

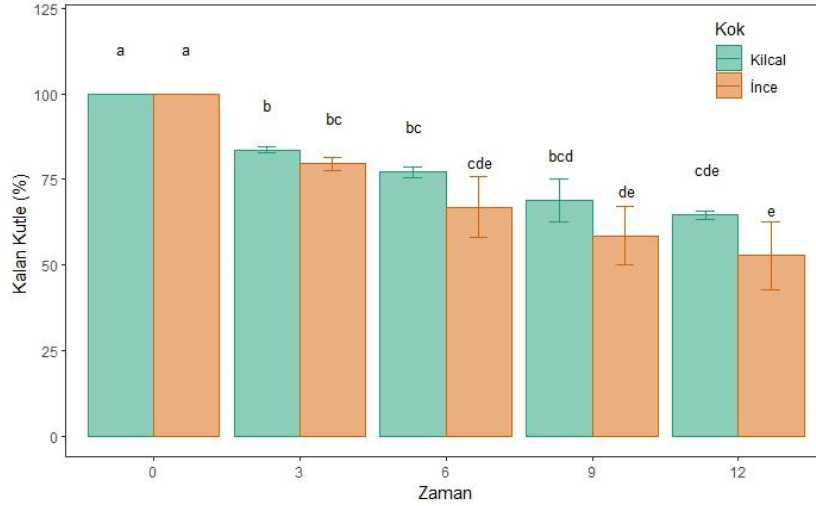
Kök Sınıfı	N	Min. (%)	Max. (%)	Ortalama (%)	Standart Sapma (±)	P
Kılcal Kök	12	61,89	84,4	73,6	8,15	0,223
İnce Kök	12	44,3	81,5	64,5	12,5	

Başlangıç köklerinin kütlesi incelendiğinde kütle kaybının en çok ilk üç aylık dönemde olduğu görülmektedir (Şekil 4.33). Köklerin kalan kütle miktarları anova testine göre zamansal olarak anlamlı farklılık göstermiştir (Tablo 4.42).

Tablo 4.42: Gürgen kılcal ve ince köklerinin kalan kütlenin zamana göre varyans analizi

	df	Ortalama Kareler	F	P
Kök	1	396,3	13,4	0,001
Zaman	4	1602,5	54,3	0,000
Kök: Zaman	4	37,8	1,3	0,310

Kök çap sınıfları değerlendirildiğinde hem kılcal hemde ince kökler başlangıç zamanı ile 3,6,9 ve 12. aylarda ayrıca 3.ay ile de 12.ay arasında anlamlı bir fark bulunmaktadır (Şekil 4.33).



Sütunlardaki çubuklar standart sapmayı ($\pm$) göstermektedir. Sütunlardaki farklı harfler $p < 0,05$ düzeyinde istatistiki olarak birbirlerinden farklıdır.

Şekil 4.33: Gürgen kılcal ve ince köklerinin kalan kütle miktarlarının zamana göre değişimi

4.2.1.2. Ayrışma Sabitine (k) Ait Bulgular

Kılcal köklerde en düşük k değeri 0,42 iken ince köklerde ise en düşük 0,49'dur. Yapılan t-testine göre aralarında anlamlı bir fark çıkmış olup kılcal köklerde % 45,5 daha yüksektir (Tablo 4.43).

Tablo 4.43: Gürgen kılcal ve ince köklerinin ayrışma sabitinin t-testi sonuçları

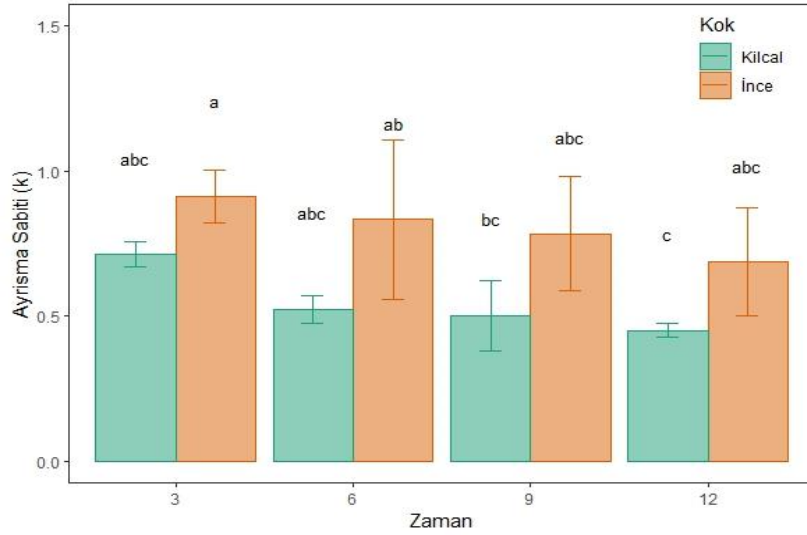
Kök Sınıfı	N	Min.	Max.	Ortalama	Standart	P
					Sapma ($\pm$)	
Kılcal Kök	12	0,42	0,76	0,55	0,12	0,001
İnce Kök	12	0,49	1,09	0,80	0,19	

Her iki kök sınıfının %95'nin ayrışması için gerekli olan zamanın kılcal kökte 5,5 yıl ince kökte ise 3,8 yıl, %98'nin ayrışması için ise kılcal kökün 9,1 yıl ince kökün 6,3 yıl olacağı belirlenmiştir. Her iki kök sınıfında keselerin toplandığı aylarda azalma görülmüştür. Bu yüzden en son toplanan keseler en düşük ayrışma sabitini göstermektedir (Şekil 4.34). İstatistik sonuçlarına göre zamansal olarak anlamlı fark bulunmaktadır (Tablo 4.44).

Tablo 4.44: Gürgen kılcal ve ince köklerinin ayrışma sabitinin zamana göre varyans analizi

	df	Ortalama Kareler	F	P
Kök	1	1,0	20,4	0,000
Zaman	3	0,1	3,8	0,031
Kök: Zaman	3	0,0	0,3	0,784

Ayrışma sabiti “k” çap sınıflarına göre ele alındığında hem kılcal hem ince kökler kendi arasında anlamlı fark bulunmamaktadır (Şekil 4.34).



Sütunlardaki çubuklar standart sapmayı ($\pm$) göstermektedir. Sütunlardaki farklı harfler $p < 0,05$ düzeyinde istatistiki olarak birbirlerinden farklıdır.

Şekil 4.34: Gürgen kılcal ve ince köklerinin ayrışma sabitinin (k) zamana göre değişimi

4.2.1.3. Kök Azot (N) İçeriğine Ait Bulgular

Kılcal köklerde azot içeriği %1,64 ve %1,86 arasında, ince köklerde ise bu durum %1,44 ile %1,74 arasında değişim göstermiştir. Yapılan t-testine göre kökler arasında anlamlı olarak kılcal köklerin %10,1 daha yüksek olduğu görülmektedir (Tablo 4.45).

Tablo 4.45: Gürgen kılcal ve ince köklerinin azot içeriklerine ait t-testi sonuçları

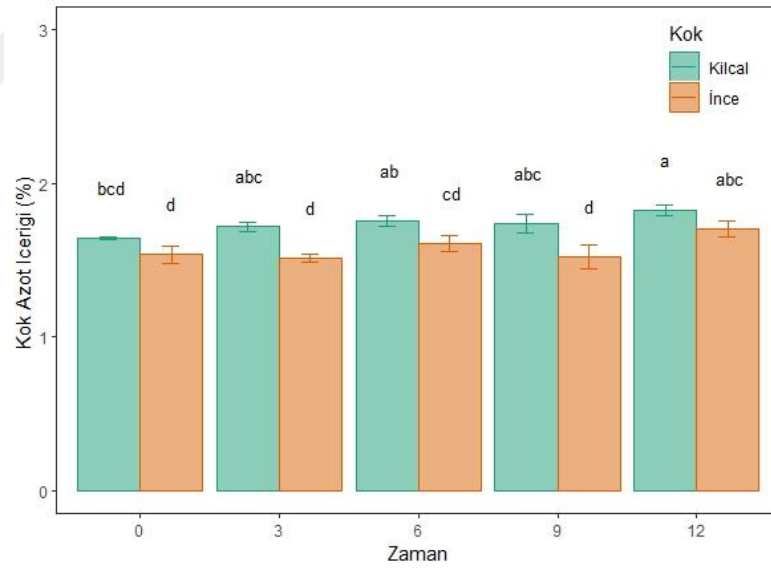
Kök Sınıfı	N	Min. (%)	Max. (%)	Ortalama (%)	Standart Sapma ($\pm$)	P
Kılcal Kök	15	1,64	1,86	1,74	0,07	0,000
İnce Kök	15	1,44	1,74	1,58	0,09	

Kılcal köklerin alandan alınan başlangıç zamanı örneklerinde (Mayıs-2021) %1,64 içeriğinde bulunmuştur. Örneklerin toplandığı diğer dönemlerde ise başlangıç kılcal köklerine göre azot içeriğinde artış mevcutken ince köklerde ise artış ve azalış mevcuttur. Köklerin azot içeriğinin zamana göre değişimi anlamlı olarak farklılık göstermiştir (Tablo 4.46).

Tablo 4.46: Gürgen kılcal ve ince köklerinin azot içeriklerinin zamana göre varyans analizi

	df	Ortalama Kareler	F	P
Kök	1	0,2	84,8	0,000
Zaman	4	0,0	12,8	0,000
Kök: Zaman	4	0	1,5	0,232

Köklerdeki azot içerikleri çaplarına göre ayrı değerlendirildiğinde ince kökler 12.ay ile başlangıç, 3 ve 9.aylarda; kılcal kökler ise başlangıç ile 12.ay arasında anlamlı bir fark olduğu görülmektedir (Şekil 4.35).



Sütunlardaki çubuklar standart sapmayı ($\pm$) göstermektedir. Sütunlardaki farklı harfler $p < 0,05$ düzeyinde istatistiki olarak birbirlerinden farklıdır.

Şekil 4.35: Gürgen kılcal ve ince köklerinin azot içeriklerinin zamana göre değişimi

4.2.1.4. Kök Karbon (C) İçeriğine Ait Bulgular

Kılcal köklerde karbon %43,2 ile %50,6 arasında ince köklerde ise %41,7 ile %48,5 arasında bulunmaktadır. T-testi sonuçlarına göre kökler arasında anlamlı fark bulunmaktadır (Tablo 4.47).

Tablo 4.47 : Gürgen kılcal ve ince köklerinin karbon içeriklerine ait t-testi sonuçları

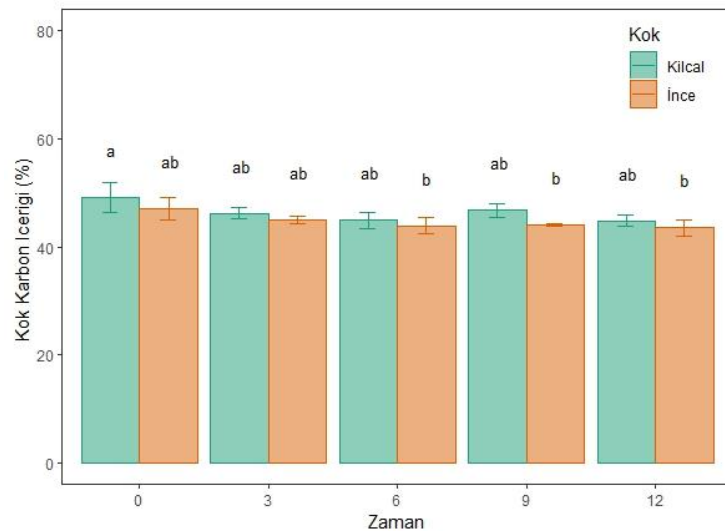
Kök Sınıfı	N	Min. (%)	Max. (%)	Ortalama (%)	Standart Sapma (±)	P
Kılcal Kök	15	43,2	50,68	46,35	2,12	0,030
İnce Kök	15	41,79	48,5	44,72	1,76	

Kılcal köklerde keselerin toplandığı Ağustos ve Kasım ayında karbon içeriklerinde azalma görülmüştür. Şubat ayındaki toplanan keselerde ise içeriği artmıştır. İnce köklerde ise keselerin alandan Ağustos ve Kasım aylarında karbon içeriğinde düşüş yaşanmıştır fakat Şubat ayında yükselme olmuştur. Köklerde bulunan karbonun zamansal olarak değerlendirildiğinde farklılık görülmektedir (Tablo 4.48).

Tablo 4.48: Gürgen kılcal ve ince köklerinin karbon içeriklerinin zamana göre varyans analizi

	df	Ortalama Kareler	F	P
Kök	1	19,9	8,7	0,008
Zaman	4	14,3	6,3	0,002
Kök: Zaman	4	0,7	0,3	0,873

Karbon içeriğinin kök çap sınıflarında hem kendi içinde hem de kökler arasında anlamlı bir fark bulunmamaktadır (Şekil 4.36).



Sütunlardaki çubuklar standart sapmayı (±) göstermektedir. Sütunlardaki farklı harfler $p < 0,05$ düzeyinde istatistiki olarak birbirlerinden farklıdır.

Şekil 4-36: Gürgen kılcal ve ince köklerinin karbon içeriklerinin zamana göre değişimi

Köklerde bakılan karbon/azot oranı kılcal köklerde en düşük 23,9 en yüksek 31 ince köklerde ise en düşük 24,05 en yüksek 32,16 arasında değişim göstermiştir. T-testine göre kökler arasında anlamlı fark bulunmaktadır (Tablo 4.49). Buna göre ince kökler %6,3 daha yüksek değere sahiptir (Tablo 4.49).

Tablo 4.49: Gürgen kılcal ve ince köklerinin kök karbon/azot oranına ait t-testi sonuçları

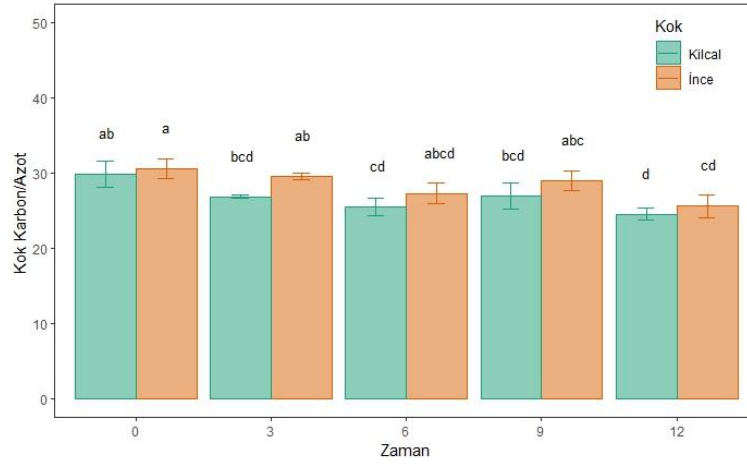
Kök Sınıfı	N	Min.	Max.	Ortalama	Standart Sapma (±)	P
Kılcal Kök	15	23,9	31	26,77	2,17	0,041
İnce Kök	15	24,05	32,16	28,46	2,15	

Köklerde karbon/azot oranı en fazla başlangıç örneklerinde bulunmuştur. Fakat şubat ayında bir yükselme görülmektedir (Şekil 4.37). Köklerde bulunan karbon/azot oranı zamana göre anlamlı olarak fark göstermiştir (Tablo 4.50).

Tablo 4.50: Gürgen kılcal ve ince köklerinin kök karbon/azot oranının zamana göre varyans analizi

	df	Ortalama Kareler	F	P
Kök	1	21,0	13,4	0,001
Zaman	4	23,1	14,7	0,000
Kök: Zaman	4	0,9	0,6	0,671

Köklerde bulunan karbon/azot oranı kök çap sınıfları bakımından kılcal kökler başlangıç ile 6 ve 12.ayla; ince köklerin ise 12.ay ile başlangıç ve 3.ay ile aralarında anlamlı bir fark göstermiştir (Şekil 4.37).



Sütunlardaki çubuklar standart sapmayı ($\pm$) göstermektedir. Sütunlardaki farklı harfler $p < 0,05$ düzeyinde istatistiki olarak birbirlerinden farklıdır.

Şekil 4.37: Gürgen kılcal ve ince köklerinin kök karbon/azot oranının zamana göre değişimi

4.2.1.5. Kök ADF İçeriğine Ait Bulgular

Kılcal köklerde ADF içeriği %64,12 ile %78,53 arasında değişim gösterirken ince köklerde ise %57,46 ile %72,83 arasında değişim göstermiştir. Yapılan t-testine göre kökler arasında anlamlı bir fark bulunmaktadır (Tablo 4.51).

Tablo 4.51: Gürgen kılcal ve ince köklerinin ADF içeriğine ait t-testi sonuçları

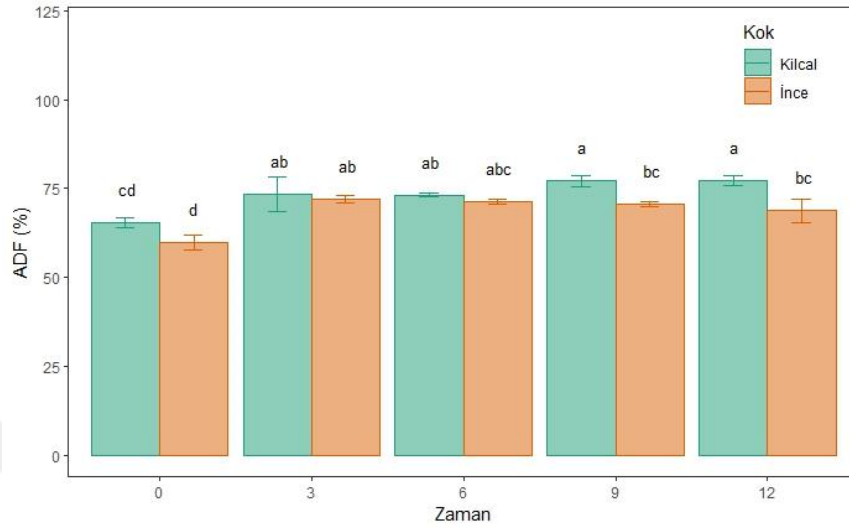
Kök Sınıfı	N	Min. (%)	Max. (%)	Ortalama (%)	Standart Sapma ($\pm$)	P
Kılcal Kök	15	64,12	78,53	73,28	4,94	0,013
İnce Kök	15	57,46	72,83	68,52	4,9	

İnce köklerin başlangıç örneğinde % 59,79 ADF bulunsa da Ağustos ayında %71,95 en yüksek bulunurken ince köklerde toplanan aylar ele alındığında mevcut içerik gittikçe azalmıştır. Kılcal köklerde ise ADF Mayıs.2021’de en düşük bulunduğu, Mayıs.2022 de ise en yüksek bulunduğu miktardır (Şekil 4.38).ADF miktarının köklerdeki değişimi zamansal olarak değerlendirildiğinde anlamlı olarak farklılık göstermiştir (Tablo 4.52).

Tablo 4.52: Gürgen kılcal ve ince köklerinin ADF içeriklerinin zamana göre varyans analizi

	df	Ortalama Kareler	F	P
Kök	1	170,4	35,6	0,000
Zaman	4	132,6	27,7	0,000
Kök: Zaman	4	13,0	2,7	0,059

Köklerde mevcut olan ADF çap sınıflarına göre hem ince köklerin hem de kılcal köklerin başlangıç ile 3.,6.,9. ve 12.aylar arasında anlamlı bir fark olduğu görülmektedir (Şekil 4.38).



Sütunlardaki çubuklar standart sapmayı ($\pm$) göstermektedir. Sütunlardaki farklı harfler $p < 0,05$ düzeyinde istatistiki olarak birbirlerinden farklıdır.

Şekil 4.38: Gürgen kılcal ve ince köklerinin ADF içeriğinin zamana göre değişimi

4.2.1.6. Kök Lignin İçeriğine Ait Bulgular

Kılcal köklerdeki lignin içeriği %64,3-%74,1 arasında, ince köklerde ise %54,0- %66,0 arasında değişim göstermiştir. Lignin içeriği için yapılan t-testine göre çap sınıfları arasında anlamlı fark göstermekle birlikte kılcal köklerde % 9,6 daha fazla lignin bulunmaktadır (Tablo 4.53).

Tablo 4.53: Gürgen kılcal ve ince köklerinin lignin içeriklerine ait t-test sonuçları

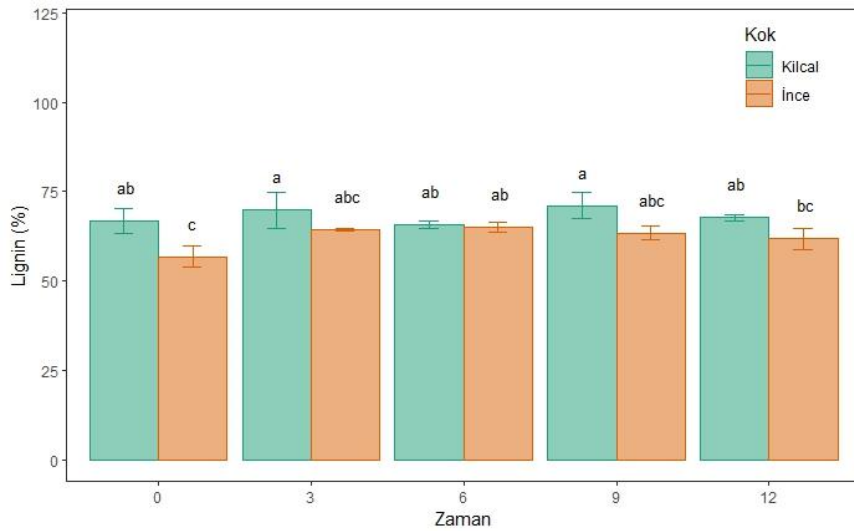
Kök Sınıfı	N	Min. (%)	Max. (%)	Ortalama (%)	Standart Sapma ($\pm$)	P
Kılcal Kök	15	64,31	74,11	68,25	3,38	0,000
İnce Kök	15	54	66,05	62,3	3,52	

Lignin içeriği kılcal köklerden düşük Kasım ayında %65,7 , en yüksek miktarın bulunduğu Şubat %71,0 olarak bulunmuştur. İnce köklerde ise en düşük başlangıç köklerinde Mayıs.21 ayında %56, 85'tir.En yüksek bulunan değer ise Kasım ayında %65,03'tür. Her iki kök sınıfında da artış ve azalışlar gözlemlenmektedir (Şekil 4.39). Köklerde mevcut olan lignin zamansal olarak değerlendirildiğinde ise anlamlı fark olduğu görülmektedir (Tablo 4.54).

Tablo 4.54: Gürgen kılcal ve ince köklerinin lignin içeriklerinin zamana göre varyans analizi

	df	Ortalama Kareler	F	P
Kök	1	265,7	35,8	0,000
Zaman	4	28,8	3,9	0,017
Kök: Zaman	4	17,6	2,4	0,087

Kök çap sınıfları kendi içlerinde değerlendirildiğinde ise yalnızca ince köklerin başlangıç ve 6.ay arasında anlamlı olarak farklılık göstermiştir (Şekil 4.39).



Sütunlardaki çubuklar standart sapmayı ($\pm$) göstermektedir. Sütunlardaki farklı harfler $p < 0,05$ düzeyinde istatistiki olarak birbirlerinden farklıdır.

Şekil 4.39: Gürgen kılcal ve ince köklerinin lignin içeriğinin zamana göre değişimi

4.2.1.7. Selüloz İçeriğine Ait Bulgular

İnce köklerde mevcut olan selüloz %2,2-%6,9 arasında kılcal köklerde ise %1-%5,5 arasında bulunmaktadır. İstatistik analiz sonuçlarına göre anlamlı olarak ince köklerde % 49,8 daha fazla selüloz bulunmaktadır (Tablo 4.55).

Tablo 4.55: Gürgen kılcal ve ince köklerinin selüloz içeriklerine ait t-test sonuçları

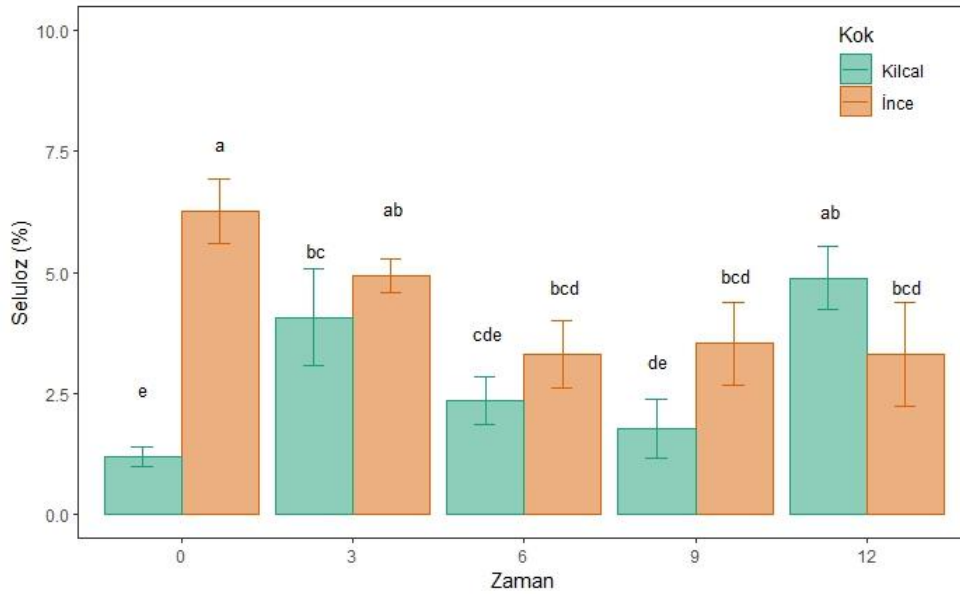
Kök Sınıfı	N	Min. (%)	Max. (%)	Ortalama (%)	Standart Sapma ($\pm$)	P
Kılcal Kök	15	1,00	5,53	2,85	1,54	0,003
İnce Kök	15	2,22	6,94	4,27	1,37	

Kılcal köklerde selüloz başlangıç örneğinde Mayıs.2021 %1,7 keselerin toplandığı Ağustos ayında %3,0 yükselirken Kasım ayında %1,9 a , Şubat ayında ise %1,4 e düşmüştür. Keselerin toplandığı Mayıs.2022’de %3,7 ye yükselmiştir. İnce köklerde ise başlangıç örneklerinde Mayıs.2021 ayında selüloz %5,2 hesaplanmıştır. Ağustos ayında %4,9, Kasım ayında %3,3 e düşerken Şubat ayında %3,5’a yükselmiştir. Mayıs.2022 ayında ise %3,3 bulunmuştur (Şekil 4.40). Selüloz içeriği zamansal olarak istatistiksel fark gösterirken aynı zamanda kök zaman etkileşimi bakımından da farklılık göstermiştir (Tablo 4.56).

Tablo 4.56: Gürgen kılcal ve ince köklerinin selüloz içeriklerinin zamana göre varyans analizi

	df	Ortalama Kareler	F	P
Kök	1	15,0	30,0	0,000
Zaman	4	3,8	7,6	0,000
Kök: Zaman	4	8,6	17,1	0,000

Kök çap sınıfları ayrı olarak değerlendirildiğinde ince kökler başlangıç zamanı 6,9 ve 12.ay arasında kılcal köklerin ise başlangıç zamanı ile 3 ve 12.ay arasında anlamlı fark olduğu görülmektedir (Şekil 4.40).



Sütunlardaki çubuklar standart sapmayı ($\pm$) göstermektedir. Sütunlardaki farklı harfler $p < 0,05$ düzeyinde istatistiki olarak birbirlerinden farklıdır.

Şekil 4.40: Gürgen kılcal ve ince köklerinin selüloz içeriğinin zamana göre değişimi

4.2.1.8. Lignin/Selüloz Oranına Ait Bulgular

Kılcal köklerde oran 12,1 ile 63,02 arasında, ince köklerinde lignin\selüloz oranı 7,7 ile 27,1 arasındadır. Yapılan t-testine göre aralarında anlamlı bir fark bulunmaktadır (Tablo 4.57).

Tablo 4.57: Gürgen kılcal ve ince köklerinin lignin/selüloz oranına ait t-testi sonuçları

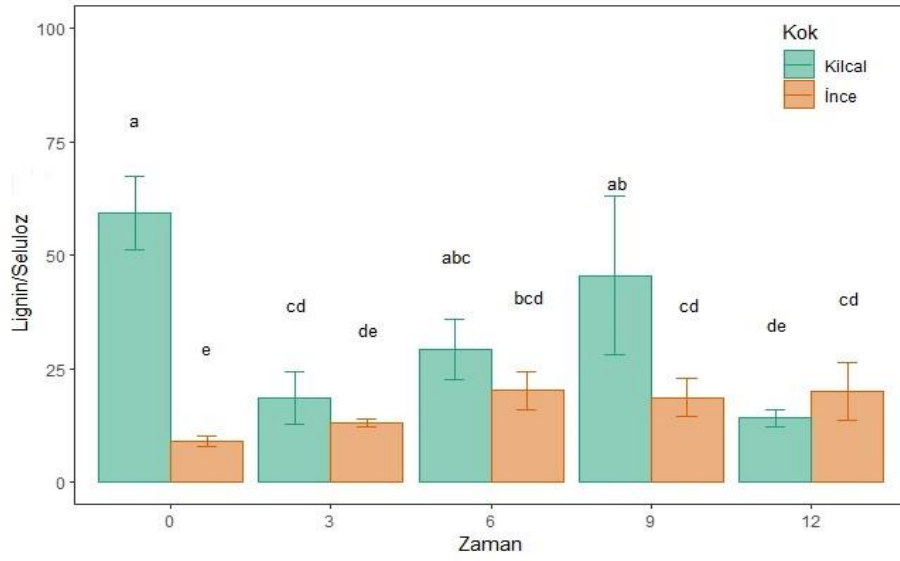
Kök Sınıfı	N	Min.	Max.	Ortalama	Standart Sapma (±)	P
Kılcal Kök	15	12,19	63,02	28,48	16,00	0,002
İnce Kök	15	7,78	27,16	16,81	5,34	

Kılcal köklerin başlangıç örneklerinde 46,9 hesaplanmıştır. En düşük oran ise Mayıs.2022 de 28,1 olarak bulunmuştur. İnce köklerde en düşük oran Mayıs.2021 de 12,1 bulunurken en yüksek oran ise Kasım ayında 20,2'dir (Şekil 4.41). Anova analizi sonucu köklerdeki lignin/selüloz oranının zamansal değişimi istatistiksel olarak anlamlı farklılık göstermiştir. Ayrıca kökler arasında lignin/selüloz oranının zaman periyotları bakımından da anlamlı fark gösterdiği tespit edilmiştir (Tablo 4.58).

Tablo 4.58: Gürgen kılcal ve ince köklerinin lignin/selüloz oranının zamana göre varyans analizi

	df	Ortalama Kareler	F	P
Kök	1	0,1	48,6	0,000
Zaman	4	0,0	6,8	0,001
Kök: Zaman	4	0,0	18,7	0,000

Lignin/selüloz oranı kök çap sınıflarına göre değerlendirildiğinde kılcal kökler başlangıç zamanı ile 3 ve 12.ay arasında ince köklerin ise başlangıç ile 6,9 ve 12.ay arasında anlamlı fark olduğu görülmektedir (Şekil 4.41).



Sütunlardaki çubuklar standart sapmayı ($\pm$) göstermektedir. Sütunlardaki farklı harfler $p < 0,05$ düzeyinde istatistiki olarak birbirlerinden farklıdır.

Şekil 4.41: Gürge kılcal ve ince köklerinin lignin/azot oranının zamana göre değişimi

4.2.1.9. Lignin/Kök Azot Oranına Ait Bulgular

Kılcal köklerde oran 36,0 ile 43,8 arasında, ince köklerde ise bu miktar 33,7- 44,5 arasında değişmektedir. Yapılan t-testine göre aralarında anlamlı bir fark bulunamamıştır (Tablo 4.59).

Tablo 4.59: Gürge kılcal ve ince köklerinin lignin/kök azot oranına ait t-testi sonuçları

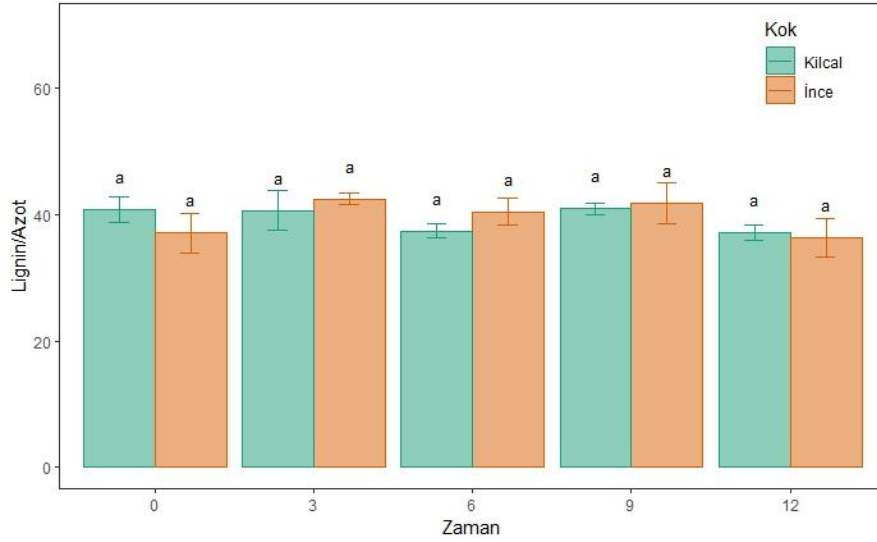
Kök Sınıfı	N	Min.	Max.	Ortalama	Standart Sapma ($\pm$)	P
Kılcal Kök	15	36,09	42,01	38,7	2,08	0,797
İnce Kök	15	33,71	44,52	39,65	3,39	

Kılcal köklerin başlangıç olan kök örneklerinde 40,75 olarak bulunurken en yüksek oran keselerin Şubat ayında 40,94 en düşük oran ise Mayıs.22'de 37,11 bulunmuştur. İnce köklerde ise en yüksek oran Ağustos ayında 42,52 olarak en düşük oran Mayıs.2022'de 36,35 olarak bulunmuştur (Şekil 4.42). Kökteki lignin/azot oranının zamansal olarak anlamlı bir fark görülmektedir (Tablo 4.60).

Tablo 4.60: Gürge kılcal ve ince köklerinin lignin/ kök azot oranının zamana göre varyans analizi

	df	Ortalama Kareler	F	P
Kök	1	0,6	0,1	0,741
Zaman	4	24,3	4,7	0,008
Kök: Zaman	4	10,2	1,9	0,140

Lignin/azot miktarı kök çap sınıflarına göre değerlendirildiğinde anlamlı bir fark görülmemektedir (Şekil 4.42).



Sütunlardaki çubuklar standart sapmayı ($\pm$) göstermektedir. Sütunlardaki farklı harfler $p < 0,05$ düzeyinde istatistiki olarak birbirlerinden farklıdır.

Şekil 4.42: Gürgen kılcal ve ince köklerinin lignin/ kök azot oranlarının zamana göre değişimi

4.2.1.10. Makro Besin Elementlerine Ait Bulgular

Köklerdeki fosfor ele alındığından kılcal köklerde 341,3 ile 495,4 mg/kg arasında bulunurken ince köklerde ise 223,5 ile 423,7 mg/kg arasındadır. Yapılan t-testi sonucuna göre kökler arasında anlamlı fark bulunmakla birlikte kılcal köklerde % 38,6 daha yüksektir. (Tablo 4.61).

Tablo 4.61: Gürgen kılcal ve ince köklerinin fosfor içeriklerine ait t-test sonuçları

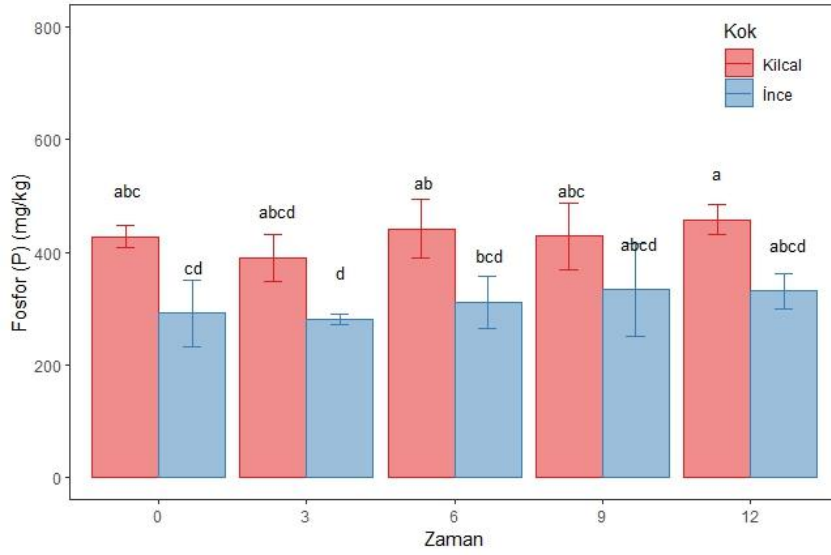
Kök Sınıfı	N	Min. (mg/kg)	Max. (mg/kg)	Ortalama (mg/kg)	Standart Sapma ($\pm$)	P
Kılcal Kök	15	341,3	495,4	429,02	42,68	0,000
İnce Kök	15	223,5	423,7	309,61	48,93	

Her iki kök çap sınıfında da fosfor içeriğinde yükselişler ve düşüşler yaşadıkları görülmektedir (Şekil 4.43). Zamansal faktör ele alınarak yapılan anova testine göre aralarında anlamlı bir fark bulunamamıştır (Tablo 4.62).

Tablo 4.62: Gürgen kılcal ve ince köklerinin fosfor içeriklerinin zamana göre varyans analizi

	df	Ortalama Kareler	F	P
Kök	1	106947	47,5	0,000
Zaman	4	3059	1,3	0,283
Kök: Zaman	4	442	0,1	0,937

Kök çap sınıflarındaki fosfor miktarına bakılarak yapılan anova testine göre köklerin kendi aralarında bir fark görülmemiştir (Şekil 4.43).



Sütunlardaki çubuklar standart sapmayı ($\pm$) göstermektedir. Sütunlardaki farklı harfler $p < 0,05$ düzeyinde istatistiki olarak birbirlerinden farklıdır.

Şekil 4.43: Gürgen kılcal ve ince köklerinin fosfor içeriğinin zamana göre değişimi

Kılcal köklerde potasyum miktarı 621,5 mg/kg ile 1956 mg/kg arasında ince köklerde ise 469,3 mg/kg ile 1794 mg/kg arasında bulunmaktadır. Yapılan t-testi sonucuna göre kökler arasında anlamlı fark bulunmamaktadır (Tablo 4.63).

Tablo 4.63: Gürgen kılcal ve ince köklerinin potasyum içeriklerine ait t-test sonuçları

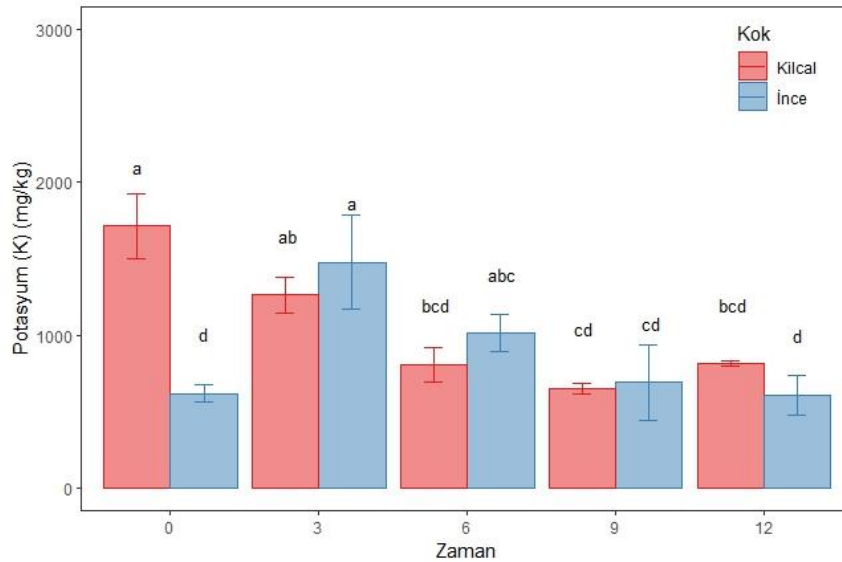
Kök Sınıfı	N	Min. (mg/kg)	Max. (mg/kg)	Ortalama (mg/kg)	Standart Sapma ($\pm$)	P
Kılcal Kök	15	621,5	1956	1050,52	415,85	0,169
İnce Kök	15	469,3	1794	882,16	382,13	

Kılcal köklerde potasyum en yüksek 1714,00 mg/kg olarak başlangıç köklerinde, en düşük ise 653,50 mg/kg olarak şubat ayında bulunmuştur. İnce köklerde ise en yüksek Ağustos.2021 ayında 1479,00 mg/kg, en düşük ise Mayıs.22'de 608,00 mg/kg olarak bulunmuştur. İnce köklerde başlangıç keselerindeki içerik ağustos ayına göre düşüktür (1021,43 mg/kg). İlk toplanan keseden sonra ince köklerde düşüş izlenirken kılcal köklerde azalış ve artışlar görülmektedir (Şekil 4.44). Köklerde bulunan potasyum içeriği zamansal olarak anlamlı farklılık göstermiştir (Tablo 4.64). Bununla birlikte farklı zaman periyotlarında kökler arasında anlamlı olarak farklılık söz konusudur (Tablo 4.64).

Tablo 4.64: Gürgen kılcal ve ince köklerinin potasyum içeriklerinin zamana göre varyans analizi

	df	Ortalama Kareler	F	P
Kök	1	0,0	8,7	0,007
Zaman	4	0,0	15,1	0,000
Kök: Zaman	4	0,0	10,6	0,000

Kök sınıflarında bulunan potasyum miktarları zamansal olarak kendi aralarında ele alındığında ince köklerde başlangıç zamanı 3. ve 6.ayla; kılcal kökte ise başlangıç dönemi ile 6, 9 ve 12.ay arasında anlamlı bir fark olduğu görülmektedir (Şekil 4.44).



Sütunlardaki çubuklar standart sapmayı ($\pm$) göstermektedir. Sütunlardaki farklı harfler $p < 0,05$ düzeyinde istatistiki olarak birbirlerinden farklıdır.

Şekil 4.44: Gürgen kılcal ve ince köklerinin potasyum içeriğinin zamana göre değişimi

Magnezyum içeriği kök sınıflarında kılcal köklerde 1129 mg/kg ile 1651 mg/kg arasında değişim gösterirken ince köklerde 910,8 mg/kg ile 1304 mg/kg arasındadır. Yapılan t-testi sonucuna göre kılcal köklerde magnezyum ince köklere göre % 26,7 oranında anlamlı olarak farklılık göstermiştir (Tablo 4.65).

Tablo 4.65: Gürgen kılcal ve ince köklerinin magnezyum içeriklerine ait t-test sonuçları

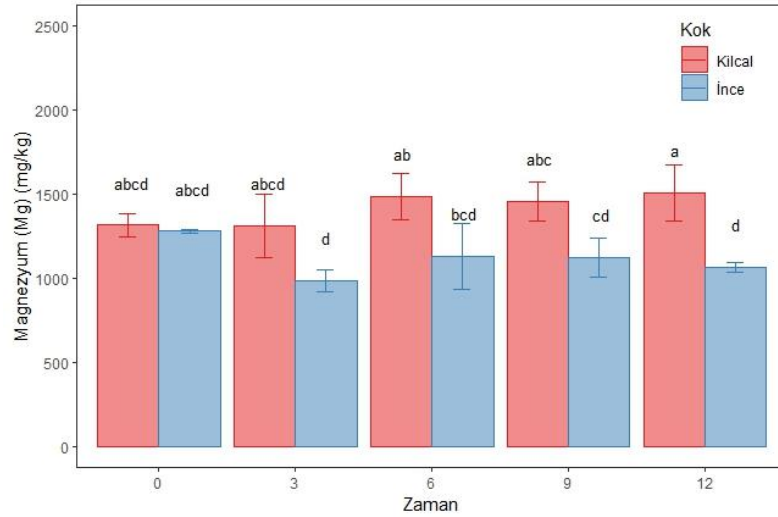
Kök Sınıfı	N	Min. (mg/kg)	Max. (mg/kg)	Ortalama (mg/kg)	Standart Sapma (±)	P
Kılcal Kök	15	1129	1651	1415,6	148,59	0,000
İnce Kök	15	910,8	1304	1117,67	134,44	

Magnezyum kılcal köklerde Mayıs.2022’de en yüksek 1506,67, ağustos ayında en düşük 1311,00 mg/kg olarak bulunurken ince köklerde de durum aynıdır en yüksek Mayıs.2022’de 1219,00 mg/kg en düşük ağustos ayında 985,93 mg/kg arasında bulunmuştur. Her iki kök çap sınıfında da toplanma zamanlarına göre artış ve azalışlar paralel görülmektedir (Şekil 4.45). Zamansal faktör ele alınarak yapılan anova testine göre aralarında anlamlı bir fark bulunamamıştır (Tablo 4.66).

Tablo 4.66: Gürgen kılcal ve ince köklerinin magnezyum içeriklerinin zamana göre varyans analizi

	df	Ortalama Kareler	F	P
Kök	1	665702	42,3	0,000
Zaman	4	26624	1,6	0,191
Kök: Zaman	4	35306	2,2	0,100

Kök sınıflarına göre yapılan varyans analizine göre de kökler kendi içlerin de herhangi bir anlamlı fark göstermemiştir (Şekil 4.45).



Sütunlardaki çubuklar standart sapmayı ($\pm$) göstermektedir. Sütunlardaki farklı harfler $p < 0,05$ düzeyinde istatistiki olarak birbirlerinden farklıdır.

Şekil 4.45: Gürgen kılcal ve ince köklerinin magnezyum içeriğinin zamana göre değişimi

Kılcal köklerde bulunan kalsiyum 2498 ile 5888 mg/kg arasında değişiklik gösterirken ince köklerde ise 4026 ile 6909 mg/kg'dır. Yapılan t-testi sonucuna göre kökler arasında anlamlı fark bulunmakla birlikte ince köklerde % 21,7 daha yüksek tespit edilmiştir (Tablo 4.67).

Tablo 4.67: Gürgen kılcal ve ince köklerinin kalsiyum içeriklerine ait t-test sonuçları

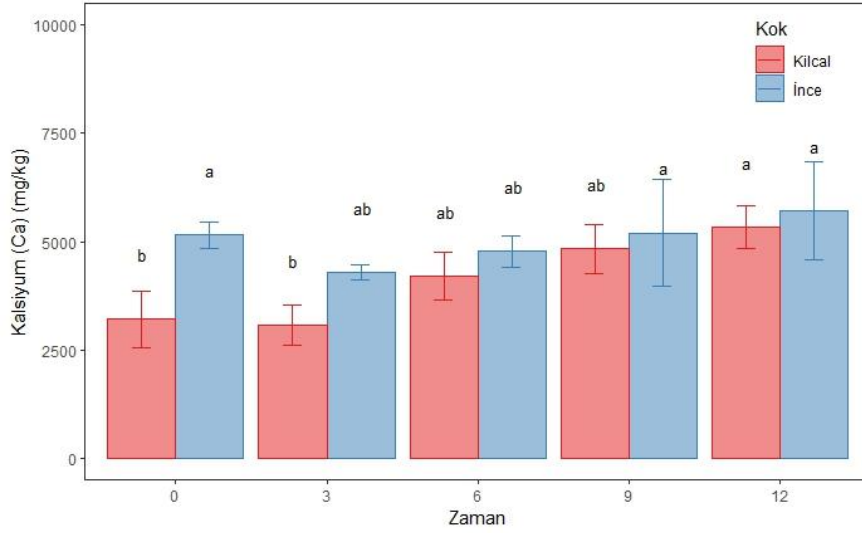
Kök Sınıfı	N	Min. (mg/kg)	Max. (mg/kg)	Ortalama (mg/kg)	Standart Sapma ($\pm$)	P
Kılcal Kök	15	2498	5888	4131	1022,06	0,013
İnce Kök	15	4026	6909	5027	819,13	

Kılcal köklerin başlangıç örneklerinde 3207,00 mg/kg kalsiyum miktarı mevcuttur. Her iki kök çap sınıfında en yüksek miktar Mayıs.22'de en düşük miktar ise ağustos ayında bulunmuştur ve Ağustos ayından sonra diğer periyotlarda kalsiyum miktarında artış görülmüştür (Şekil 4.46). Köklerdeki kalsiyum içeriklerinin zamansal değişimi anlamlı farklılık göstermektedir (Tablo 4.68).

Tablo 4.68: Gürgen kılcal ve ince köklerinin kalsiyum içeriklerinin zamana göre varyans analizi

	df	Ortalama Kareler	F	P
Kök	1	6021120	13,3	0,001
Zaman	4	3047740	6,7	0,001
Kök: Zaman	4	698544	1,5	0,227

Kök çap sınıfları varyans analizine göre kendi içlerinde değerlendirildiğinde yalnızca kılcal kökler kendi aralarında 12.ayın başlangıç ile 3.ay arasında anlamlı bir fark olduğu görülmektedir (Şekil 4.46).



Sütunlardaki çubuklar standart sapmayı ($\pm$) göstermektedir. Sütunlardaki farklı harfler $p < 0,05$ düzeyinde istatistiki olarak birbirlerinden farklıdır.

Şekil 4.46: Gürgen kılcal ve ince köklerinin kalsiyum içeriğinin zamana göre değişimi

Sodyum içeriği kılcal köklerde 94,85 mg/kg ile 306,7 mg/kg arasında bulunurken ince köklerde 46,02 mg/kg ile 245,8 mg/kg'dır. Yapılan t-testi sonucuna göre kökler arasında anlamlı fark bulunmaktadır (Tablo 4.69).

Tablo 4.69: Gürgen kılcal ve ince köklerinin sodyum içeriklerine ait t-test sonuçları

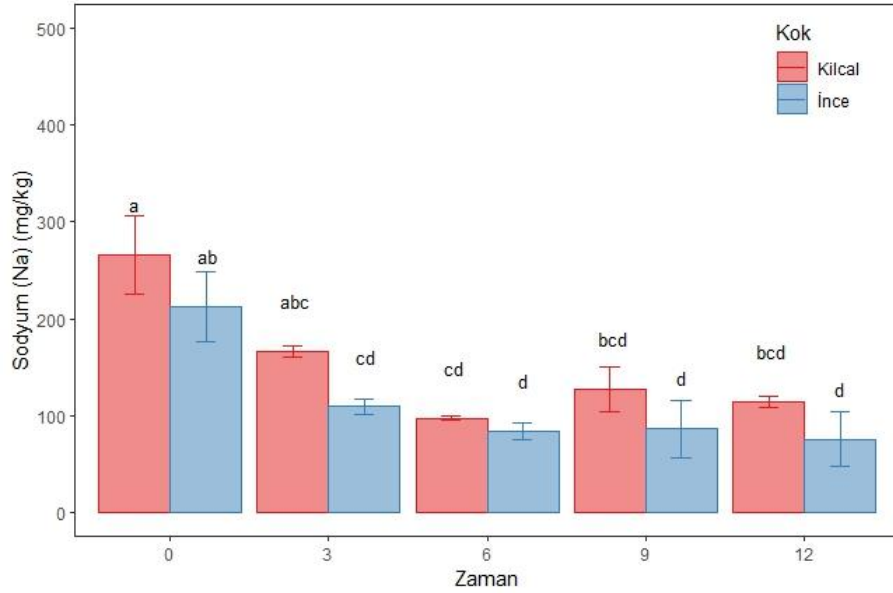
Kök Sınıfı	N	Min. (mg/kg)	Max. (mg/kg)	Ortalama (mg/kg)	Standart Sapma ($\pm$)	P
Kılcal Kök	15	94,9	306,7	154,47	65,06	0,032
İnce Kök	15	46,02	254,8	113,78	56,81	

Her iki kök çap sınıfında başlangıç örneklerinde en fazla sodyum başlangıç zamanı bulunurken toplanan zaman periyotlarına göre düşüş görülmüştür (Şekil 4.47). Köklerdeki sodyum içeriği zamana göre yapılan varyans analizine göre anlamlı fark bulunmaktadır (Tablo 4.70).

Tablo 4.70: Gürgen kılcal ve ince köklerinin sodyum içeriklerinin zamana göre varyans analizi

	df	Ortalama Kareler	F	P
Kök	1	0,2	19,3	0,000
Zaman	4	0,2	20,8	0,000
Kök: Zaman	4	0,0	0,7	0,569

Kök çap sınıfları kendi aralarında yapılan varyans analizine göre ince köklerde başlangıç dönemi ile 3,6,9 ve 12.aylar arasında kılcal köklerde ise başlangıç zamanı ile 6,9 ve 12.aylar arasında anlamlı bir fark görülmektedir (Şekil 4.47).



Sütunlardaki çubuklar standart sapmayı ($\pm$) göstermektedir. Sütunlardaki farklı harfler $p < 0,05$ düzeyinde istatistiki olarak birbirlerinden farklıdır.

Şekil 4.47: Gürgen kılcal ve ince köklerinin sodyum içeriğinin zamana göre değişimi

4.2.1.11. Mikro Besin Elementlerine Ait Bulgular

Toplanan örneklerin kılcal köklerinde alüminyum içeriği 1666 mg/kg-6903 mg/kg iken ince köklerde 1136 mg/kg-2894 mg/kg arasında bulunmuştur Yapılan t-testi sonucuna göre anlamlı olarak ince köklerde %67,33 daha düşüktür (Tablo 4.71).

Tablo 4.71: Gürgen kılcal ve ince köklerinin alüminyum içeriklerine ait t-test sonuçları

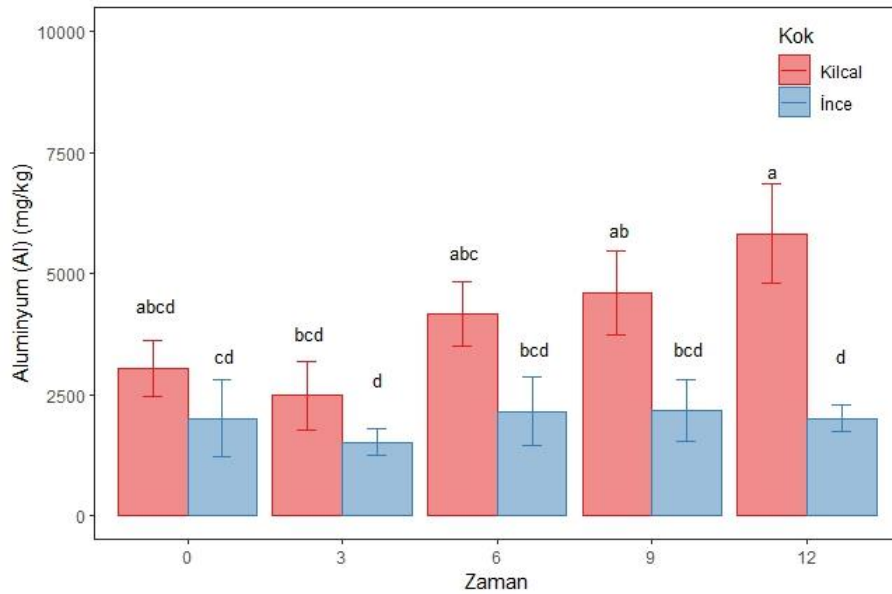
Kök Sınıfı	N	Min. (mg/kg)	Max. (mg/kg)	Ortalama (mg/kg)	Standart Sapma ($\pm$)	P
Kılcal Kök	15	1666	6903	60270,5	1389,67	0,000
İnce Kök	15	1136	2894	1969,03	543,42	

Gürgen türünün kılcal köklerinde başlangıç örneğinde 3035,5 mg/kg bulunmuştur. İnce köklerde ise başlangıç köklerinde 2009,67 mg/kg mevcutken ağustos ayında toplanan ilk ayırışma keselerinde miktarda düşüş görülmüştür. Her iki kök çap sınıfında da ağustos ayından sonra alüminyum miktarında yükselme görülmüştür (Şekil 4.48). Zamansal faktör ele alınarak yapılan anova testine göre anlamlı fark bulunmaktadır (Tablo 4.72).

Tablo 4.72: Gürgen kılcal ve ince köklerinin alüminyum içeriklerinin zamana göre varyans analizi

	df	Ortalama Kareler	F	P
Kök	1	0,4	48,5	0,000
Zaman	4	0,0	4,3	0,011
Kök: Zaman	4	0,0	1,0	0,398

Kök çap sınıflarına ele alındığında ise varyans analizine göre alüminyum içeriği hem ince köklerde hem de kılcal köklerin kendi içlerinde anlamlı bir fark bulunamamıştır (Şekil 4.48).



Sütunlardaki çubuklar standart sapmayı ($\pm$) göstermektedir. Sütunlardaki farklı harfler $p < 0,05$ düzeyinde istatistiki olarak birbirlerinden farklıdır.

Şekil 4.48: Gürgen kılcal ve ince köklerinin alüminyum içeriğinin zamana göre değişimi

Demir kılcal köklerde 772,7 ile 3252 mg/kg arasında mevcutken ince köklerde 671,6 ile 2526 mg/kg arasında değişim göstermiştir. Yapılan t-testi sonucuna göre kökler arasında anlamlı fark bulunmaktadır (Tablo 4.73). Ortalama değer bakımından kılcal kökler %51,2 oranında daha yüksek değere sahiptir (Tablo 4.73).

Tablo 4.73: Gürgen kılcal ve ince köklerinin demir içeriklerine ait t-test sonuçları

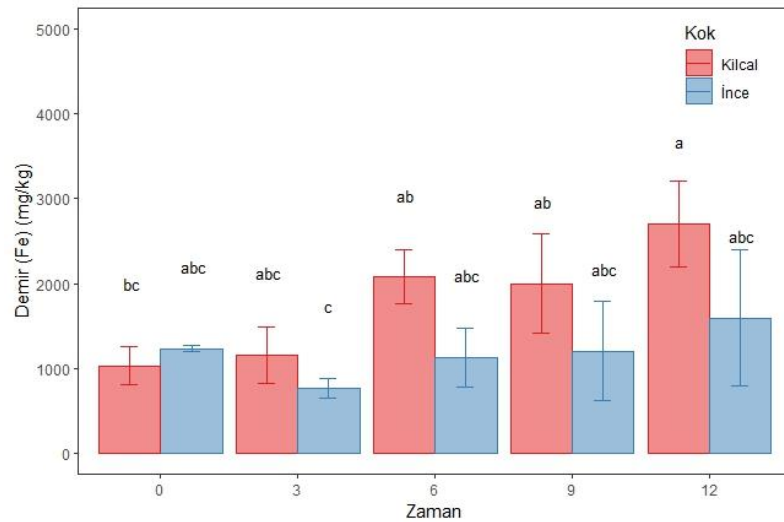
Kök Sınıfı	N	Min. (mg/kg)	Max. (mg/kg)	Ortalama (mg/kg)	Standart Sapma (±)	P
Kılcal Kök	15	772,7	3252	1794,75	733,45	0,000
İnce Kök	15	671,6	2526	1186,81	485,90	

İnce köklerin toplanma zamanlarına göre mevcut bulunan demir içeriğinde artış ve azalış görülmüştür. Kılcal köklerin ilk toplanan keselerinden sonra diğer periyotlarda toplanan keselerde artış görülmüştür (Şekil 4.49). Köklerde bulunan demir içerikleri zamansal olarak anlamlı farklılık göstermiştir (Tablo 4.74).

Tablo 4.74: Gürgen kılcal ve ince köklerinin demir içeriklerinin zamana göre varyans analizi

	df	Ortalama Kareler	F	P
Kök	1	0,0	12,8	0,002
Zaman	4	0,0	5,6	0,003
Kök: Zaman	4	0,0	1,9	0,135

Kök çap sınıflarına ele alındığında ise varyans analizine göre kılcal köklerde başlangıç zamanı ile 12.ay arasında anlamlı fark bulunmaktadır (Şekil 4.49).



Sütunlardaki çubuklar standart sapmayı (±) göstermektedir. Sütunlardaki farklı harfler $p < 0,05$ düzeyinde istatistiki olarak birbirlerinden farklıdır.

Şekil 4.49: Gürgen kılcal ve ince köklerinin demir içeriğinin zamana göre değişimi

Mangan kılcal köklerde 547,1 mg/kg- 968,2 mg/kg arasında ince köklerde 590,5 mg/kg – 1365 mg/kg arasında bulunmaktadır. Yapılan t-testi sonucuna göre kökler arasında anlamlı fark bulunmakla birlikte ince köklerde % 3,1 daha yüksek miktar söz konusudur (Tablo 4.75).

Tablo 4.75: Gürgen kılcal ve ince köklerinin mangan içeriklerine ait t-test sonuçları

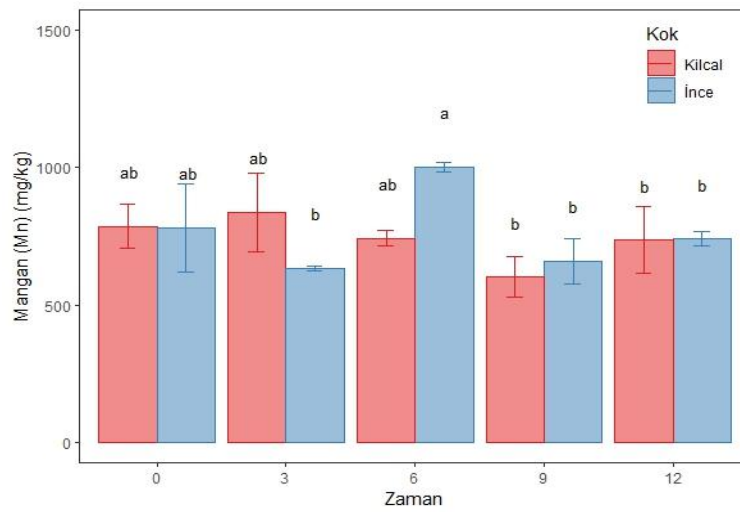
Kök Sınıfı	N	Min. (mg/kg)	Max. (mg/kg)	Ortalama (mg/kg)	Standart Sapma (±)	P
Kılcal Kök	15	547,1	968,2	740,86	115,77	0,012
İnce Kök	15	590,5	1021	763,52	152,33	

Varyans analizi sonucu köklerdeki mangan içeriğinin zamansal değişimi istatistiksel olarak anlamlı farklılık göstermiştir. Ayrıca kökler arasında mangan miktarının zaman periyotları bakımından da anlamlı fark gösterdiği tespit edilmiştir. (Tablo 4.76).

Tablo 4.76: Gürgen kılcal ve ince köklerinin mangan içeriklerinin zamana göre varyans analizi

	df	Ortalama Kareler	F	P
Kök	1	3851	0,4	0,499
Zaman	4	46422	5,7	0,003
Kök: Zaman	4	41110	5,0	0,005

Kök sınıflarına bakılarak yapılan varyans analizine göre kökler arasında yalnızca ince köklerde 6.ay ile 3,9 ve 12.ay arasında istatistiksel anlamda bir fark bulunmaktadır (Şekil 4.50).



Sütunlardaki çubuklar standart sapmayı (±) göstermektedir. Sütunlardaki farklı harfler $p < 0,05$ düzeyinde istatistiki olarak birbirlerinden farklıdır.

Şekil 4.50: Gürgen kılcal ve ince köklerinin mangan içeriğinin zamana göre değişimi

Gürgen türünün kılcal köklerinde çinko 28,7 mg/kg -78,5 mg/kg arasında bulunmuşken ince köklerde 13,14 mg/kg ile 66,31 mg/kg arasındadır. Yapılan t-testi sonucuna göre kökler arasında anlamlı fark bulunmaktadır (Tablo 4.77).

Tablo 4.77: Gürgen kılcal ve ince köklerinin çinko içeriklerine ait t-test sonuçları

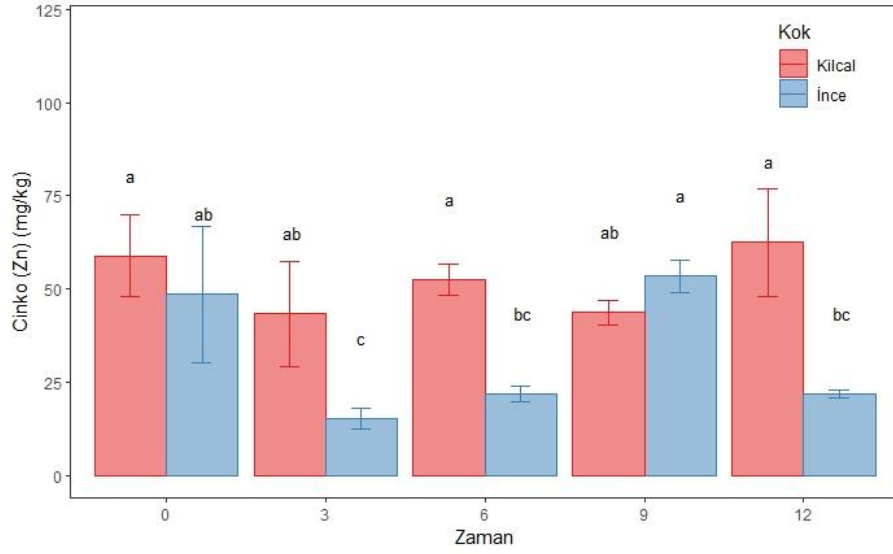
Kök Sınıfı	N	Min. (mg/kg)	Max. (mg/kg)	Ortalama (mg/kg)	Standart Sapma (±)	P
Kılcal Kök	15	28,7	78,5	51,21	11,99	0,001
İnce Kök	15	13,14	66,31	32,24	17,71	

Her iki kök çap sınıfında da ilk toplanan keseden sonra toplanan diğer periyotlarda çinko miktarında artış ve azalışlar görülmektedir (Şekil 4.51). Köklerde bulunan çinko miktarları zamansal olarak anlamlı farklılık göstermiştir. Bununla birlikte farklı zaman periyotlarında kökler arasında anlamlı olarak farklılık söz konusudur (Tablo 4.78)

Tablo 4.78: Gürgen kılcal ve ince köklerinin çinko içeriklerinin zamana göre varyans analizi

	df	Ortalama Kareler	F	P
Kök	1	2992,5	32,3	0,000
Zaman	4	545,0	5,9	0,003
Kök: Zaman	4	592,0	6,4	0,002

Kök çap sınıfları ele alındığında ise anovaya göre köklerin kendi aralarında yalnızca ince köklerde başlangıç zamanı ile 3.ay arasında anlamlı fark bulunmaktadır (Şekil 4.51).



Sütunlardaki çubuklar standart sapmayı ($\pm$) göstermektedir. Sütunlardaki farklı harfler $p < 0,05$ düzeyinde istatistiki olarak birbirlerinden farklıdır.

Şekil 4.51: Gürgen kılcal ve ince köklerin çinko içeriğinin zamana göre değişimi

Kılcal köklerde bulunan bakır 9,73 mg/kg ile 18,09 mg/kg arasında değişirken ince köklerde ise 5,64 mg/kg ile 12,72 mg/kg arasında bulunmuştur. Yapılan t-testi sonucuna göre anlamlı olarak kılcal köklerde %67,6 daha yüksek bulunmaktadır (Tablo 4.79).

Tablo 4.79: Gürgen kılcal ve ince köklerinin bakır içeriklerine ait t-test sonuçları

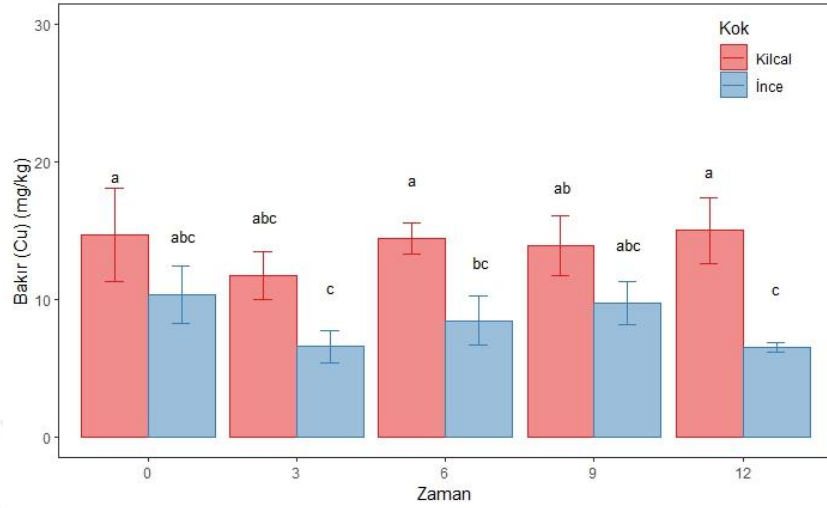
Kök Sınıfı	N	Min. (mg/kg)	Max. (mg/kg)	Ortalama (mg/kg)	Standart Sapma ($\pm$)	P
Kılcal Kök	15	9,73	18,09	13,96	2,29	0,000
İnce Kök	15	5,64	12,72	8,33	2,06	

Varyans analizi sonucu köklerdeki bakır içeriğinin zamansal değişimi istatistiksel olarak anlamlı farklılık göstermiştir. Ayrıca kökler arasında bakır miktarının zaman periyotları bakımından da anlamlı fark göstermediği tespit edilmiştir (Tablo 4.80).

Tablo 4.80: Gürgen kılcal ve ince köklerinin bakır içeriklerinin zamana göre varyans analizi

	df	Ortalama Kareler	F	P
Kök	1	2992,5	32,3	0,000
Zaman	4	545,0	5,9	0,007
Kök: Zaman	4	592,0	6,4	0,334

Kök çap sınıflarında hem kendi içinde hem de kökler arasında anlamlı bir fark bulunmamaktadır (Şekil 4.52).



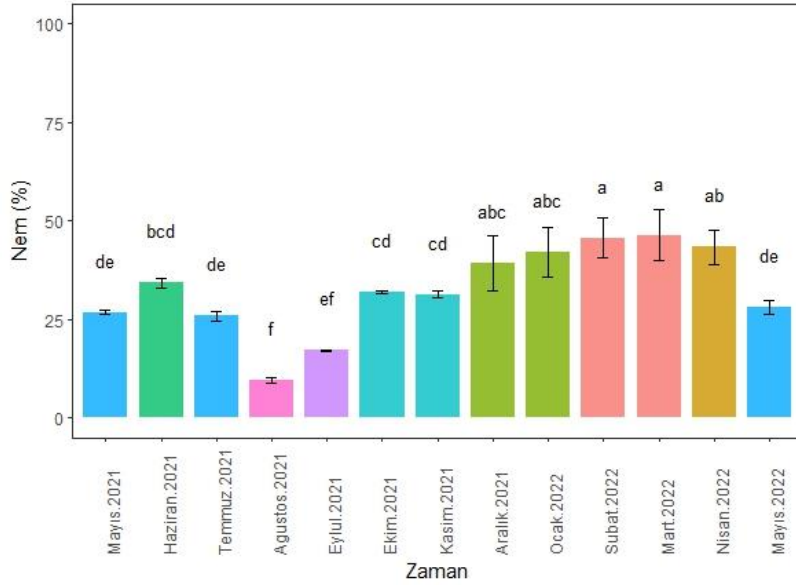
Sütunlardaki çubuklar standart sapmayı ($\pm$) göstermektedir. Sütunlardaki farklı harfler $p < 0,05$ düzeyinde istatistiki olarak birbirlerinden farklıdır.

Şekil 4.52: Gurgun kılcal ve ince köklerinin bakır içeriğinin zamana göre değişim

4.2.2. Toprak Özelliklerine Ait Bulgular

4.2.2.1. Toprak Nemine Ait Bulgular

Toprak nemi bakımından en yüksek Mart.2022 en düşük Ağustos.2021’ de tespit edilmiştir. Zamansal olarak değerlendirildiğinde Şubat.2022 ile Mart.2022’nin Aralık.2021, Ocak.2022 ve Nisan.2022 ayları hariç diğer aylara göre anlamlı olarak daha yüksektir (Şekil 4.53).

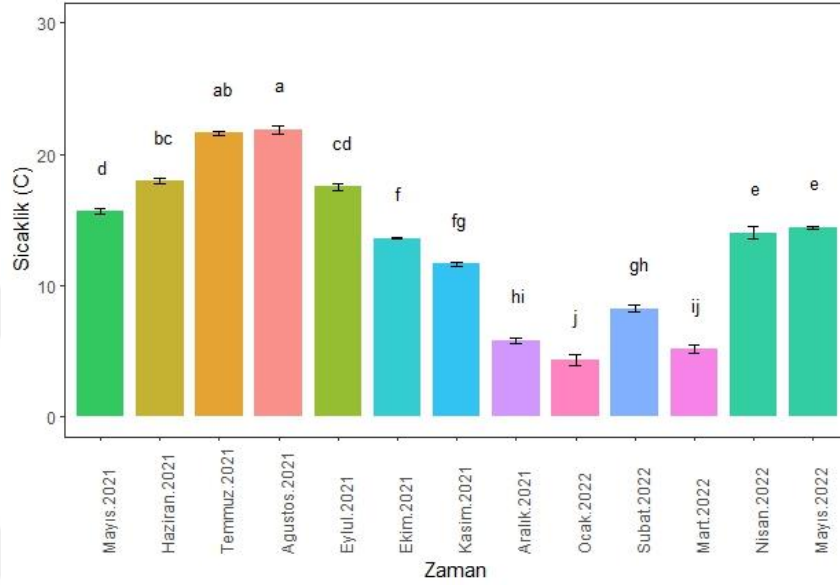


Sütunlardaki çubuklar standart sapmayı ($\pm$) göstermektedir. Sütunlardaki farklı harfler $p < 0,05$ düzeyinde istatistiki olarak birbirlerinden farklıdır.

Şekil 4.53: Gurgun örnek alanlarında toprak nem içeriğinin zamana göre değişimi

4.2.2.2. Toprak Sıcaklığına Ait Bulgular

Toprak sıcaklığı örnek alanlarda 4 °C ile 21 °C arasında değişim göstermiş olup, en yüksek Ağustos.2021’de en düşük Ocak.2022’de ölçülmüştür. İstatistiksel değerlendirme sonucunda toprak sıcaklığı aylar arasında farklılık belirlenirken özellikle Nisan.2022 ile Mayıs.2022’nin diğer aylardan belirgin olarak anlamlı farklılık göstermiştir (Şekil 4.54).

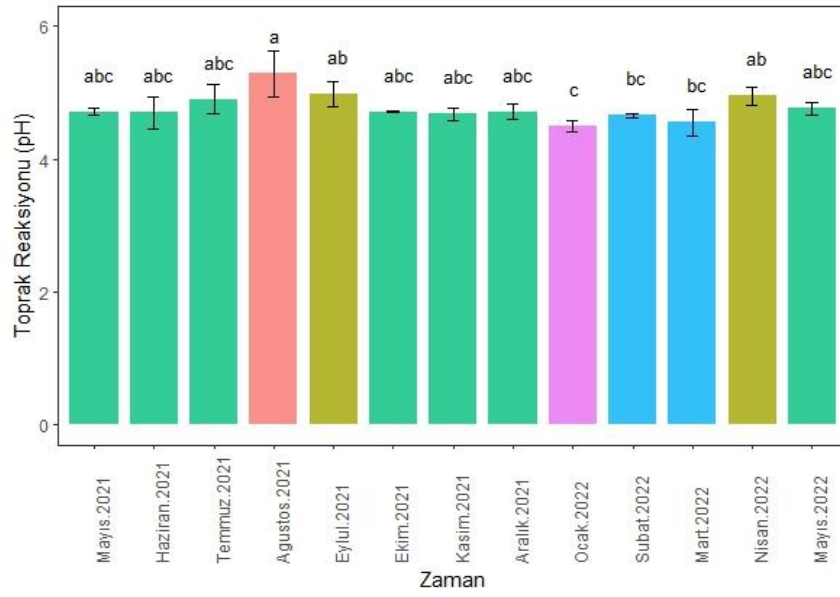


Sütunlardaki çubuklar standart sapmayı ($\pm$) göstermektedir. Sütunlardaki farklı harfler $p < 0,05$ düzeyinde istatistiki olarak birbirlerinden farklıdır.

Şekil 4.54: Gürgeç örnek alanlarında toprak sıcaklığının zamana göre değişimi

4.2.2.3. Toprak Reaksiyonuna (pH) Ait Bulgular

Toprak pH’sı en yüksek Ağustos.2021’de en düşük Ocak.2022’de belirlenmiştir. Varyans analizine göre Ağustos.2021 ile Mart.2022, Ocak.2022 ve Şubat.2022 arasında; Ocak.2022 ile Eylül.2021 arasında anlamlı fark vardır (Şekil 4.55).

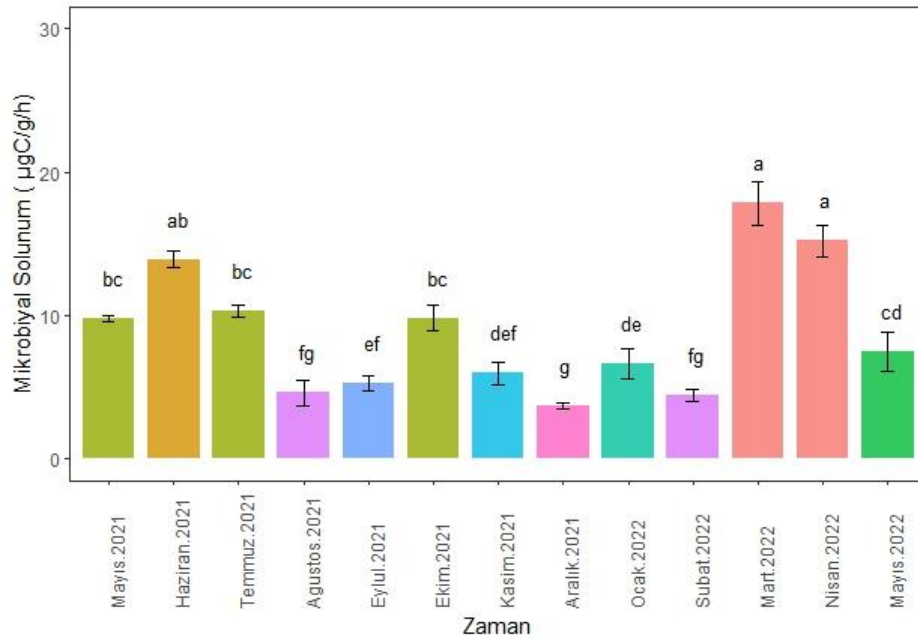


Sütunlardaki çubuklar standart sapmayı ($\pm$) göstermektedir. Sütunlardaki farklı harfler $p<0,05$ düzeyinde istatistiki olarak birbirlerinden farklıdır.

Şekil 4.55: Gürgen örnek alanlarında toprak reaksiyonunun zamana göre değişimi

4.2.2.4. Mikrobiyal Solunuma Ait Bulgular

Toprak mikrobiyal solunumu bir yıl boyunca alınan örneklerde $3,68-15,20 \mu\text{g C/g/h}$ arasında değişim göstermiştir. Mikrobiyal solunum varyans analizine göre, Mart.2022 ve Nisan.2022'nin Ağustos.2021, Eylül.2021, Kasım.2021, Aralık.2021 ve Şubat.2022 ile aralarında anlamlı bir fark göstermiştir (Şekil 4.56).

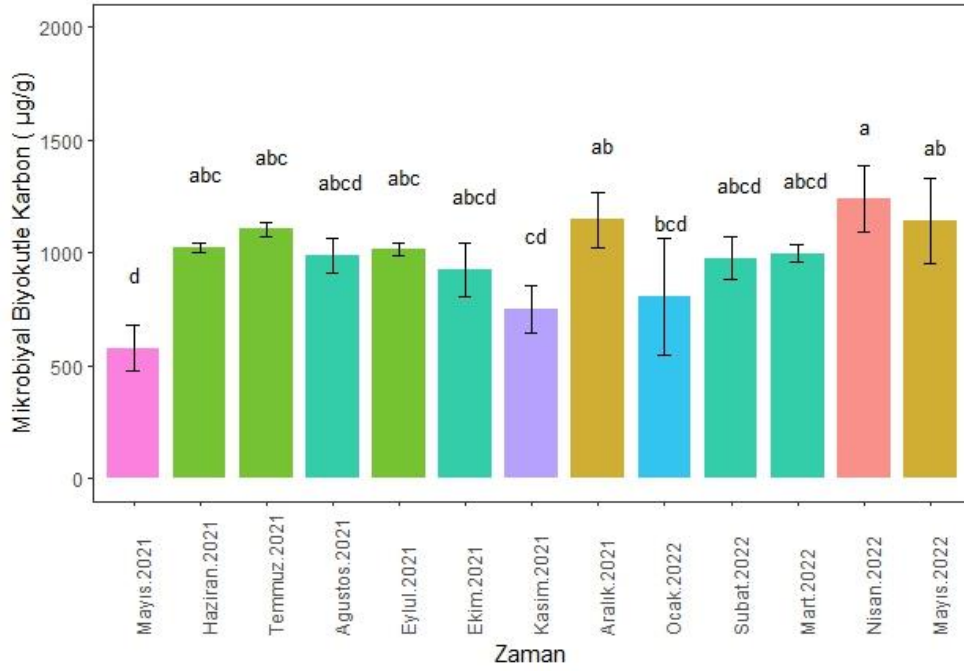


Sütunlardaki çubuklar standart sapmayı ($\pm$) göstermektedir. Sütunlardaki farklı harfler $p<0,05$ düzeyinde istatistiki olarak birbirlerinden farklıdır.

Şekil 4.56: Gürgen örnek alanlarında mikrobiyal solunumun zamana göre değişimi

4.2.2.5. Mikrobiyal Biyokütle Karbona (MB_C) Ait Bulgular

Mikrobiyal biyokütle karbon miktarı alanlarda en düşük 516,51 $\mu\text{g/g}$ Mayıs.2021 de en yüksek 1382,29 $\mu\text{g/g}$ olarak Nisan.2022’ de tespit edilmiştir. Gerçekleştirilen istatistik analizi sonucu Mayıs.2021 ölçülen değer Nisan.2022, Aralık.2021, Mayıs.2022 aylarında ölçülen değerlerle anlamlı farklılık ortaya çıkmıştır (Şekil 4.57).

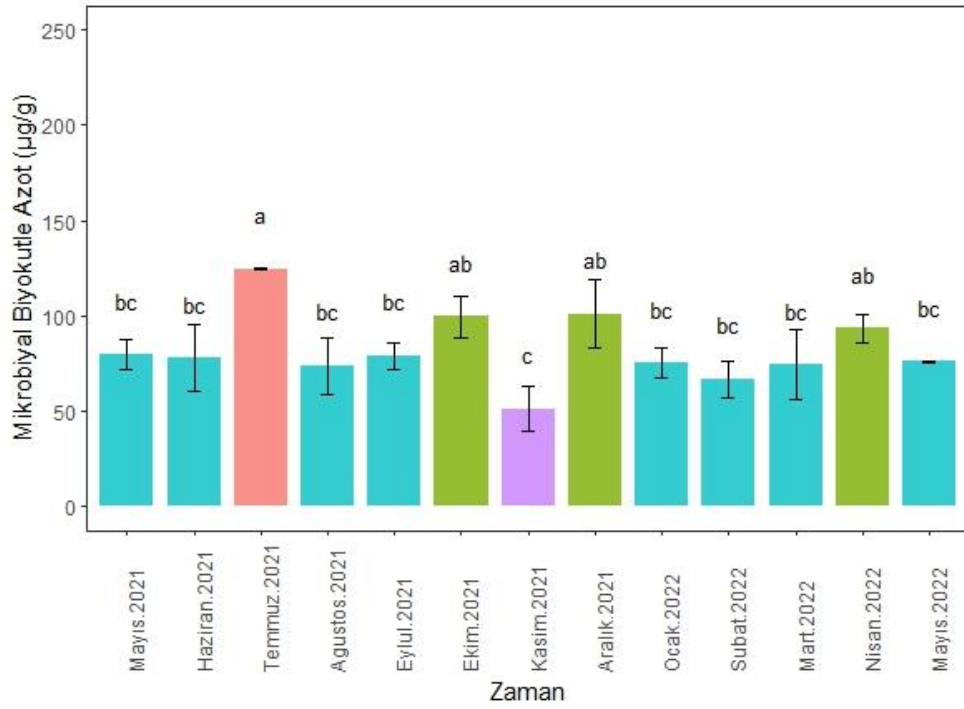


Sütunlardaki çubuklar standart sapmayı ($\pm$) göstermektedir. Sütunlardaki farklı harfler $p < 0,05$ düzeyinde istatistiki olarak birbirlerinden farklıdır.

Şekil 4.57: Gürgeç örnek alanlarında toprakların MB_C değerlerinin zamana göre değişim

4.2.2.6. Mikrobiyal Biyokütle Azota (MB_N) Ait Bulgular

Her ay alınan toprak örneklerinde mikrobiyal biyokütle azot miktarı en yüksek Temmuz.2021 (125,03 $\mu\text{g/g}$) en düşük Kasım.2021’de (43,52 $\mu\text{g/g}$) bulunmuştur. Topraklardaki mikrobiyal biyokütle azot miktarı bakımından zamanlar arasında varyans analizine göre Temmuz.2021 ile Kasım.2021 arasında anlamlı fark bulunmaktadır (Şekil 4.58).

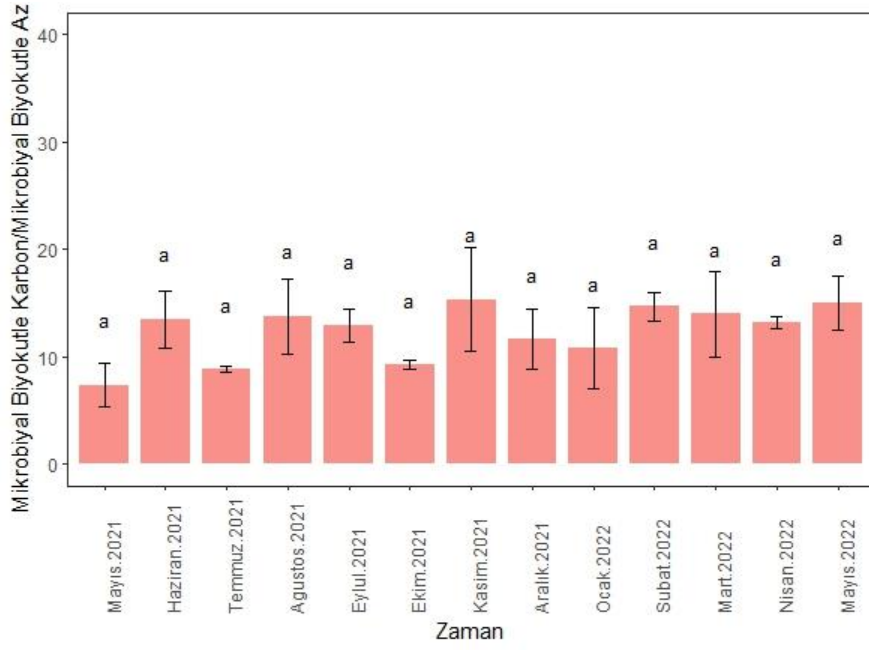


Sütunlardaki çubuklar standart sapmayı ($\pm$) göstermektedir. Sütunlardaki farklı harfler $p < 0,05$ düzeyinde istatistiki olarak birbirlerinden farklıdır.

Şekil 4.58: Gürgeç örnek alanlarında toprakların MB_N değerlerinin zamana göre değişim

4.2.2.7. Mikrobiyal Biyokütle Karbon/Mikrobiyal Biyokütle Azot (MB_C/MB_N) Oranına Ait Bulgular

Çalışma boyunca topraklardaki mikrobiyal kütle karbon/mikrobiyal biyokütle azot oranı 5,89-18,43 arasında değişim tespit edilmiştir. Zamansal olarak değerlendirildiğinde mikrobiyal biyokütle karbon/ mikrobiyal biyokütle azot oranı zamanlar arası anlamlı fark görülmemektedir (Şekil 4.59).

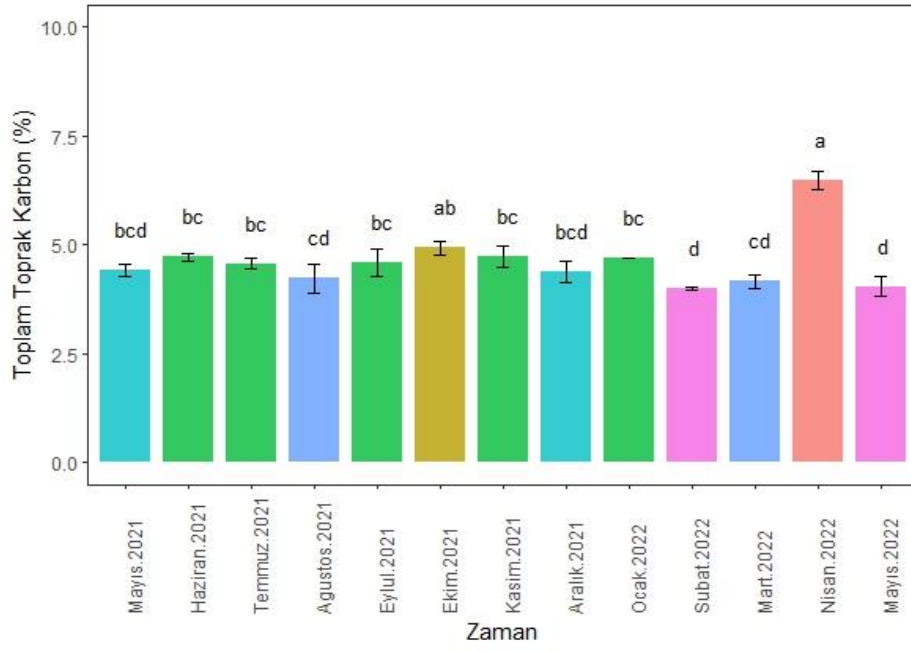


Sütunlardaki çubuklar standart sapmayı ($\pm$) göstermektedir. Sütunlardaki farklı harfler $p < 0,05$ düzeyinde istatistiki olarak birbirlerinden farklıdır.

Şekil 4.59: Gürgen örnek alanlarında toprakların MB_C/ MB_N oranının zamana göre değişimi

4.2.2.8. Toprak Toplam Karbon İçeriğine Ait Bulgular

Toprakların karbon içeriği en yüksek %6,72 (Nisan.2022) en düşük %3,79 (Mayıs.2022) olarak tespit edilmiştir. İstatistiksel değerlendirmede karbon içeriği Nisan.22' nin Ekim.21 hariç diğer aylar ile arasında anlamlı bir fark bulunmaktadır (Şekil 0).

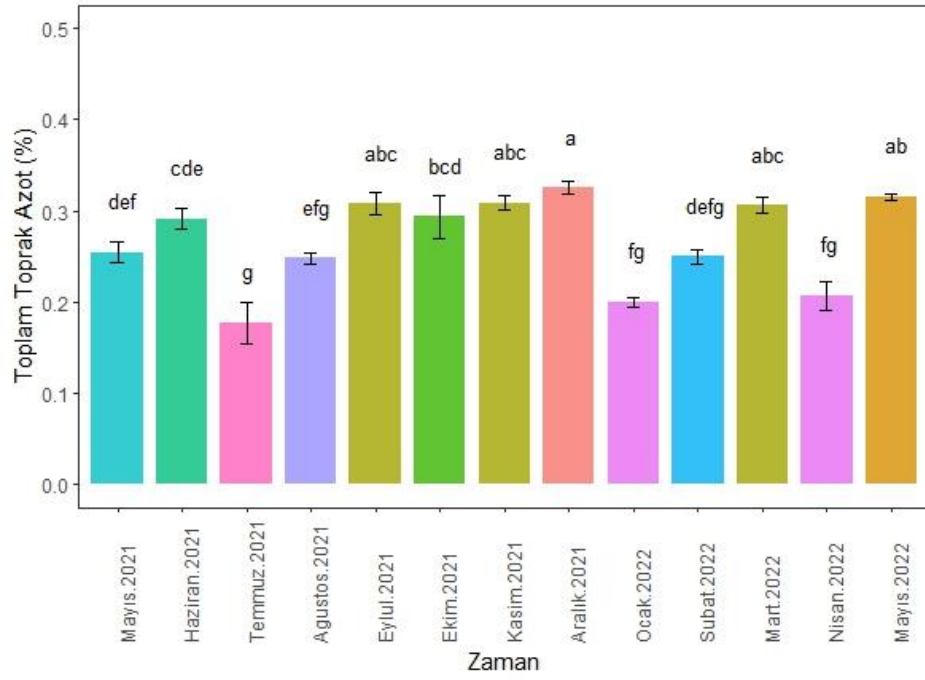


Sütunlardaki çubuklar standart sapmayı ($\pm$) göstermektedir. Sütunlardaki farklı harfler $p < 0,05$ düzeyinde istatistiki olarak birbirlerinden farklıdır.

Şekil 4.60: Gürgen örnek alanlarında toprakların toplam toprak karbon içeriğinin zamana göre değişimi

4.2.2.9. Toprak Toplam Azot İçeriğine Ait Bulgular

Toprak azot içeriği örnek alanlarda en yüksek Aralık.2021’de %0,33 en düşük Temmuz.2021’de %0,15 miktarında tespit edilmiş olup, zamansal değerlendirmeye göre Aralık.2021’in Eylül.2021, Kasım.2021 , Mart.2022 ve Mayıs.2022 hariç diğer aylarla anlamlı farklılık tespit edilmiştir (Şekil 4.61).

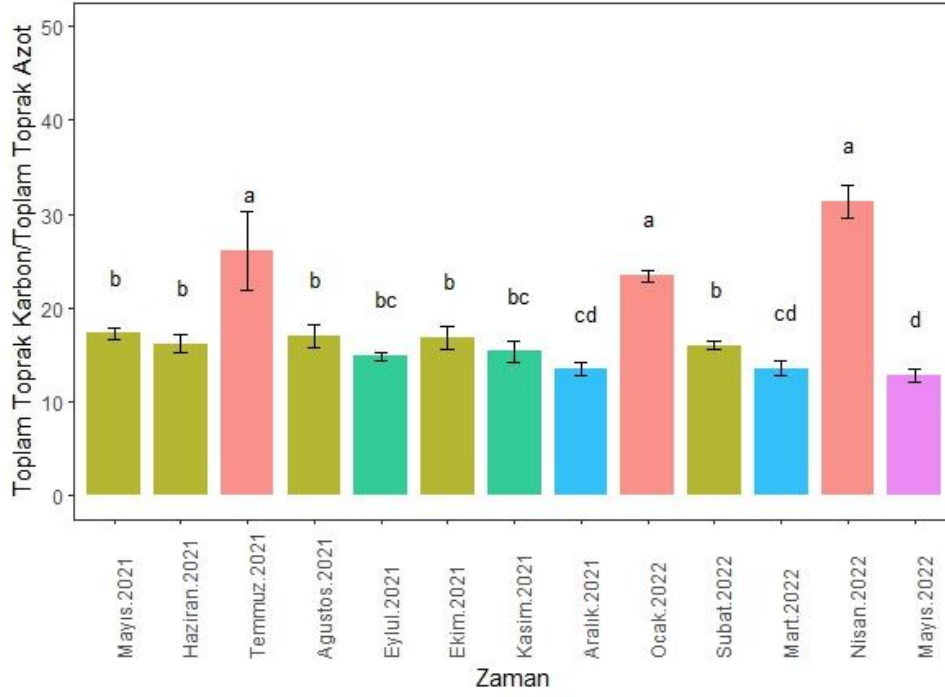


Sütunlardaki çubuklar standart sapmayı ($\pm$) göstermektedir. Sütunlardaki farklı harfler $p < 0,05$ düzeyinde istatistiki olarak birbirlerinden farklıdır.

Şekil 4.61: Gürgen örnek alanlarında toprakların toplam toprak azot içeriğinin zamana göre değişimi

4.2.2.10. Topraktaki Karbon/Azot (C/N) Oranına Ait Bulgular

Toprak toplam karbon/azot oranı çalışma boyunca 12,8 ile 31,4 arasında değişmiş olup, en yüksek Temmuz.2021, Ocak.2022 ve Nisan.2022 en düşük ise Mayıs.2022'de belirlenmiştir. Zamansal olarak Nisan.2022'nin Temmuz.2021 ve Ocak.2022 ayları hariç diğer aylar ile anlamlı farklılık söz konusudur (Şekil 4.62).



Sütunlardaki çubuklar standart sapmayı ($\pm$) göstermektedir. Sütunlardaki farklı harfler $p < 0,05$ düzeyinde istatistiki olarak birbirlerinden farklıdır.

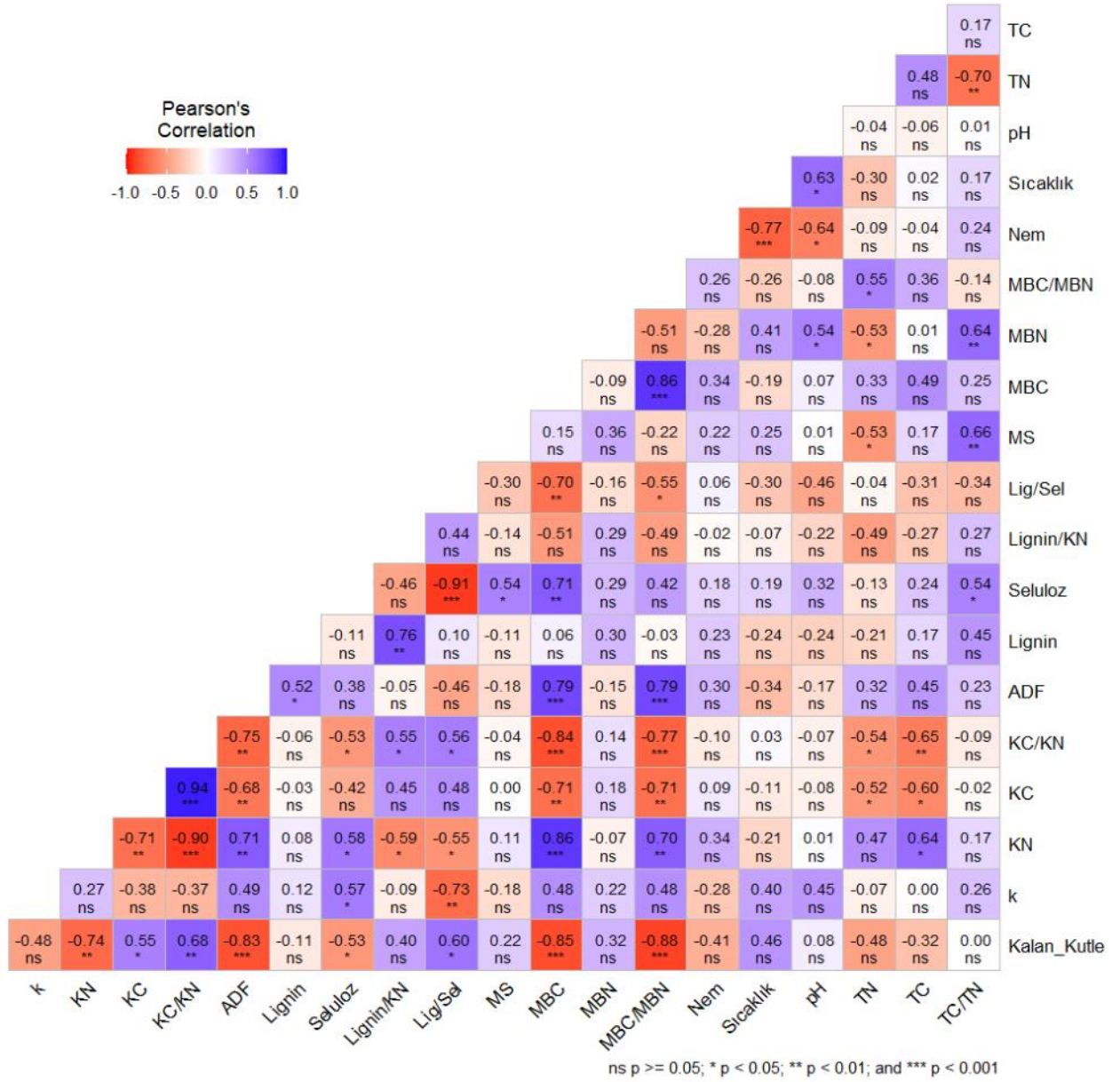
Şekil 4.62: Gürgeç örnek alanlarında toprakların toplam toprak karbon/toplam toprak azot oranının zamana göre değişimi

4.2.3. Kök Özellikleri İle Toprak Özellikleri Arasında İlişkilere Ait Bulgular

4.2.3.1. Kılcal kök özellikleri ile toprak özellikleri arasındaki ilişkilere ait bulgular

Kök özellikleri ile ilgili yapılan değerlendirme sonucu, kalan kütle miktarı ile kök karbonu ($r=0,55$), kök karbon/kök azot oranı ($r=0,68$) ve lignin/selüloz ($r=0,60$) oranı ile pozitif yönde ; kök azot miktarı ($r=-0,74$), ADF miktarı ($r=-0,83$), selüloz ($r=-0,53$), mikrobiyal biyokütle karbon ($r=-0,85$), ve mikrobiyal biyokütle karbon/mikrobiyal biyokütle azot ($r=-0,88$) ile negatif ilişkisi tespit edilmiştir. Ayrıca ayrışma katsayısı lignin/selüloz ($r=-0,73$) ile arasında negatif ilişki ; selüloz ($r=0,57$) ile pozitif ilişki bulunmaktadır. Diğer bir kök özelliği olan selüloz miktarı ile ilgili olarak toprak karbon/azot oranı ($r=0,54$), mikrobiyal biyokütle karbon ($r=0,71$), mikrobiyal solunum ($r=0,54$) ile pozitif ilişki, lignin/selüloz oranı ($r=-0,91$) ile kuvvetli negatif ilişkisi bulunmaktadır. Bununla birlikte ADF toprak mikrobiyal biyokütle karbon ile ($r=0,79$), lignin ($r=0,52$) ve mikrobiyal biyokütle karbon/mikrobiyal biyokütle azot ($r=0,79$) ile pozitif ilişki belirlenmiştir. Lignin içeriği bakımından sadece lignin/kök azot miktarı ($r=0,76$) arasında pozitif ilişki vardır. Kökteki karbon içeriği ADF ($r=-0,75$), mikrobiyal biyokütle karbon ($r=-0,71$), mikrobiyal biyokütle karbon/mikrobiyal biyokütle azot ($r=-0,71$) toprak karbon içeriği ($r=-0,60$) ve toprak azot içeriği ($r=-0,60$) ile arasında negatif ilişki bulunurken; kök karbon/kök azot oranı ($r=0,94$) ile pozitif ilişki bulunmaktadır. Kökteki azot içeriği kökteki karbon içeriği ($r=-0,71$) ve kök karbon/kök azot oranı ($r=-0,90$), lignin/azot oranı ($r=-0,59$) ve lignin/selüloz oranı ($r=-0,55$) ile negatif ilişkiliyken; ADF ($r=0,71$), selüloz ($r=0,58$), mikrobiyal biyokütle karbon/mikrobiyal biyokütle azot ($r=0,70$) mikrobiyal biyokütle karbon ($r=0,86$) ve topraktaki karbon ($r=0,64$) ile pozitif yönde ilişkisi vardır.

Toprak özellikleri arasındaki ilişki değerlendirildiğinde mikrobiyal solunumun, topraktaki azot miktarı ($r=-0,53$) negatif yönde , topraktaki karbon/azot miktarı ($r=0,66$) pozitif yönde ilişkisi tespit edilmiştir. Toprak nemi bakımından toprak sıcaklığı ($r=-0,77$) ve pH ($r=-0,64$) ile negatif yönde ilişki bulunmaktadır (Şekil 4.63).

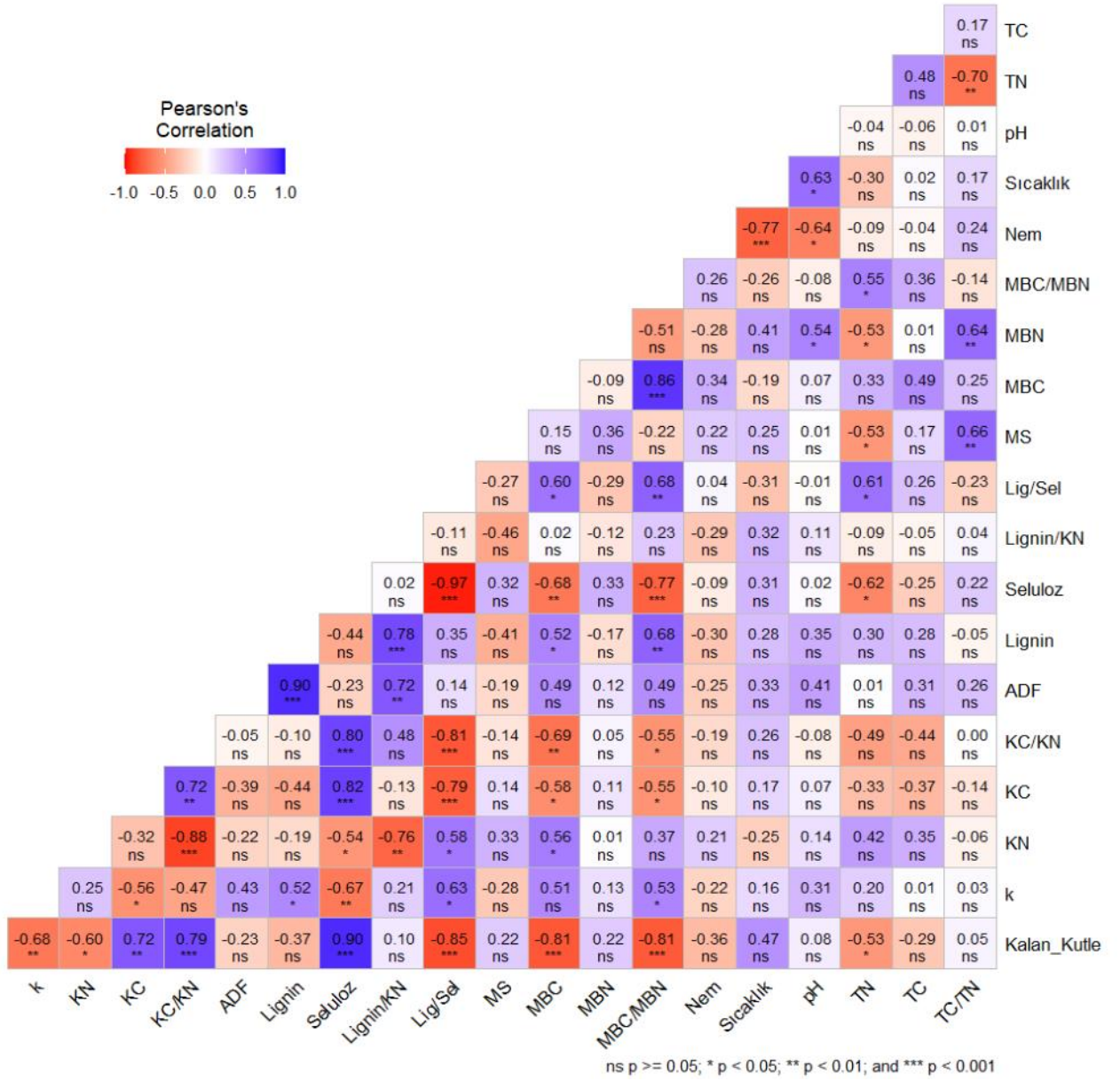


k: Ayrışma katsayısı, KN: Kök azotu, KC: Kök karbonu, KC/KN: Kök karbon/azot, pH: toprak asitliği, TC: Toprak karbonu, TN: Toprak azotu, TC/TN: Toprak karbon/toprak azot, MBC: Mikrobiyal biyokütle karbon, MBN: Mikrobiyal biyokütle azot, MS: Mikrobiyal solunum Lig/KN: Lignin/Kök azot, Lig/Sel: Lignin/Selüloz, T: Toprak sıcaklığı

Şekil 4.63: Gürgen örnek alanları kılcal köklere ait korelasyon analizi sonuçları

4.2.3.2. İnce kök özellikleri ile toprak özellikleri arasındaki ilişkilere ait bulgular

İnce köklerin özellikleri ile toprak özellikleri arasındaki ilişki incelendiğinde, kalan kütle miktarının selüloz içeriği ($r=0,90$), kök karbon/kök azot oranı ($r=0,79$) ve kök karbon içeriği ($r=0,72$) pozitif ilişki belirlenirken, toplam toprak azot içeriği ($r=-0,53$), mikrobiyal biyokütle karbon ($r=-0,81$), mikrobiyal biyokütle karbon/mikrobiyal biyokütle azot ($r=-0,81$), lignin/selüloz oranı ($r=-0,85$), kök azot içeriği ($r=-0,60$) ve ayrışma katsayısı ($r=-0,68$) ile negatif ilişki belirlenmiştir. Ayrışma katsayı bakımından selüloz içeriği ($r=-0,67$) ve kök karbonu ($r=-0,56$) ile negatif ilişki, lignin ($r=0,52$), lignin/selüloz ($r=0,63$) ve mikrobiyal biyokütle karbon/mikrobiyal biyokütle azot ($r=0,53$) tespit edilmiştir. Köklerdeki ADF, lignin ($r=0,90$) ve lignin/kök azot oranı ($r=0,72$) ile pozitif ilişki sözkonusudur. Köklerin diğer bir özelliği olan lignin sadece mikrobiyal biyokütle karbon/mikrobiyal biyokütle azot ($r=0,68$), mikrobiyal biyokütle karbon ($r=0,52$) ve lignin/kök azot oranı ($r=0,78$) ile pozitif ilişki göstermiştir. Selüloz içeriği bakımından lignin/selüloz oranı ($r=-0,97$), toplam toprak azot içeriği ($r=-0,62$), mikrobiyal biyokütle karbon ($r=-0,68$) ve mikrobiyal biyokütle karbon/mikrobiyal biyokütle azot ($r=-0,77$) ile negatif ilişki vardır. Bununla birlikte köklerin azot içeriği mikrobiyal biyokütle karbon ($r=0,56$) ve lignin/selüloz ($r=0,58$) ile pozitif ilişkili iken, lignin/kök azot oranı ($r=-0,76$) kök karbon/kök azot oranı ($r=-0,88$) ve selüloz ($r=-0,54$) ile negatif ilişkilidir (Şekil 4.64).



k: Ayrışma katsayısı, KN: Kök azotu, KC: Kök karbonu, KC/KN: Kök karbon/azot, pH: toprak asitliği, TC: Toprak karbonu, TN: Toprak azotu, TC/TN: Toprak karbon/toprak azot, MBC: Mikrobiyal biyokütle karbon, MBN: Mikrobiyal biyokütle azot, MS: Mikrobiyal solunum Lig/KN: Lignin/Kök azot, Lig/Sel: Lignin/Selüloz, T: Toprak sıcaklığı

Şekil 4.64: Gürken örnek alanları ince köklere ait korelasyon analizi sonuçları

4.3. TÜRLER ARASI DEĞERLENDİRMEYE AİT BULGULAR

4.3.1. Kılcal Köklere Ait Bulgular

Türler arasında yapılan değerlendirme sonucunda kılcal köklerin kalan kütle miktarı, ayrışma katsayısı, karbon içeriği, selüloz miktarı, lignin/selüloz, lignin/azot oranı, sodyum, demir ve bakır miktarı bakımından türler arasında anlamlı farklılık tespit edilememiştir. Fakat köklerin azot miktarı %12,9, ADF miktarı %8,87, lignin miktarı %12,05, fosfor %52,67, alüminyum %46,76, mangan %77,22 ve çinko miktarı %48,70 oranında gürgen türünde anlamlı olarak meşe türünden yüksek iken kalsiyum % 145,51 ve magnezyum miktarının %28,27 oranında meşe türünde anlamlı olarak daha yüksek belirlenmiştir (Tablo 4.81). Ayrıca bu değişkenlerin zamansal değişimlerinin türler arasındaki karşılaştırmasına ait sonuçlar ekler bölümünde yer almaktadır (Ek-1, Ek-2).

Tablo 4.81: Türlerle ait kılcal kök özelliklerinin t-testi sonuçları

	Tür	N	Min.	Max.	Ortalama	Stand. Sap.	P
Kalan Kütle (%)	Meşe	15	64,6	100,0	79,1	11,9	0,839
	Gürgén	15	61,89	100,0	78,85	13,12	
Ayrışma Katsayısı	Meşe	12	0,37	0,83	0,56	0,17	0,832
	Gürgén	12	0,42	0,76	0,55	0,22	
Azot (N) (%)	Meşe	15	1,37	1,66	1,54	0,11	0,000
	Gürgén	15	1,64	1,86	1,74	0,07	
Karbon (C) (%)	Meşe	15	41	49,9	46,53	2,12	0,821
	Gürgén	15	43,2	50,68	46,35	2,12	
ADF	Meşe	15	52,8	73,53	67,31	6,48	0,003
	Gürgén	15	64,1	78,53	73,28	4,94	
Lignin (%)	Meşe	15	51,1	67,76	60,91	5,31	0,000
	Gürgén	15	64,31	74,11	68,25	3,39	
Selüloz (%)	Meşe	15	1,3	5,18	2,22	1,30	0,322
	Gürgén	15	0,7	5,53	2,85	1,54	
Lignin\Selüloz	Meşe	15	11,67	52,27	34,31	13,07	0,866
	Gürgén	15	12,19	67,35	33,28	19,25	
Lignin\Azot	Meşe	15	35,64	47,88	39,58	3,52	0,851
	Gürgén	15	36,09	43,81	39,37	2,41	
Kalsiyum (Ca) (mg/kg)	Meşe	15	7421	12660	10266	1429,53	0,000
	Gürgén	15	2498	5888	4131	1022,05	
Fosfor (P) (mg/kg)	Meşe	15	181,8	347,7	281	47,09	0,000
	Gürgén	15	341,3	495,4	429,02	42,68	
Sodyum (Na) (mg/kg)	Meşe	15	98	402,6	184,17	105,03	0,458
	Gürgén	15	94,9	306,7	154,48	65,06	
Magnezyum (Mg)	Meşe	15	1273	2256	1815,83	322,24	0,000
	Gürgén	15	1129	1651	1415,6	148,59	

Potasyum (K)(mg/kg)	Meşe	15	739,2	4052	1673,96	1157,86	0,053
	Gürgen	15	621,5	1956	1050,52	415,85	
Alüminyum (Al) (mg/kg)	Meşe	15	1263	4311	2737,83	1008,77	0,007
	Gürgen	15	1666	6903	4018,03	1389,67	
Demir (Fe) (mg/kg)	Meşe	15	1113	3013	1915,47	740,85	0,595
	Gürgen	15	772,7	3252	1794,75	733,45	
Mangan (Mn) (mg/kg)	Meşe	15	237,4	557,2	418,05	88,14	0,000
	Gürgen	15	547,1	968,2	740,86	115,77	
Çinko (Zn) (mg/kg)	Meşe	15	19,2	49,6	35,11	8,84	0,000
	Gürgen	15	28,7	78,5	52,21	11,99	
Bakır (Cu) (mg/kg)	Meşe	15	6,8	20,61	12,47	4,12	0,231
	Gürgen	15	9,7	18,9	13,96	2,29	

Min.: Minimum, Max.: Maksimum, Stand.Sap.: Standart Sapma ($\pm$),

4.3.2. İnce Köklere Ait Bulgular

İnce köklerin türler arası değerlendirmesi sonucu kalan kütle, karbon miktarı, lignin/azot oranı, sodyum, magnezyum, potasyum ve bakır miktarı bakımından anlamlı fark bulunmamaktadır. Ayrışma katsayı %58,85, azot miktarı %9,7, ADF miktarı %7,4, lignin %4,64, selüloz %53,05, kalsiyum %99, fosfor %87,28, alüminyum %125,53, demir %96,59, mangan %126,26 ve çinko %118,13 oranında gürgen türü anlamlı olarak meşe türünden yüksek iken lignin/selüloz oranı %36,16 oranında düşük tespit edilmiştir (Tablo 4.82). Ayrıca bu değişkenlerin zamansal değişimlerinin türler arasındaki karşılaştırmasına ait sonuçlar ekler bölümünde yer almaktadır (Ek-1, Ek2).

Tablo 4.82: Türlerle ait ince kök özelliklerinin t-testi sonuçları

	Tür	N	Min.	Max.	Ortalama	Stand. Sap.	P
Kalan Kütle (%)	Meşe	15	66,13	100	80,60	11,42	0,118
	Gürgen	15	44,3	100	71,58	18,41	
Ayrışma Katsayısı	Meşe	12	0,28	0,81	0,52	0,19	0,010
	Gürgen	12	0,49	1,09	0,80	0,19	
Azot (N) (%)	Meşe	15	1,28	1,61	1,44	0,09	0,000
	Gürgen	15	1,44	1,74	1,58	0,09	
Karbon (C) (%)	Meşe	15	43,5	49,54	45,13	1,48	0,408
	Gürgen	15	41,79	48,5	44,72	1,76	
ADF	Meşe	15	52,9	67,9	63,79	4,82	0,005
	Gürgen	15	57,46	72,83	68,52	4,90	
Lignin (%)	Meşe	15	50,92	63,93	59,54	3,77	0,032
	Gürgen	15	54	66,05	62,3	3,52	
Selüloz (%)	Meşe	15	0,99	4,74	2,79	1,05	0,002
	Gürgen	15	2,22	6,94	4,27	1,37	
Lignin\Selüloz	Meşe	15	12,89	60,73	25,33	13,00	0,007

	Gürgen	15	7,78	27,16	16,18	5,68	
Lignin\Azot	Meşe	15	35,77	47,18	41,3	3,35	0,190
	Gürgen	15	33,71	44,52	39,65	3,39	
Kalsiyum (Ca) (mg/kg)	Meşe	15	6049	14230	10026	2820,98	0,000
	Gürgen	15	4026	6909	5027	819,13	
Fosfor (P) (mg/kg)	Meşe	15	100,5	240,0	165,32	48,74	0,000
	Gürgen	15	223,5	423,7	309,61	48,93	
Sodyum (Na) (mg/kg)	Meşe	15	65,12	315	136,25	77,33	0,345
	Gürgen	15	46,02	254,8	113,77	56,81	
Magnezyum (Mg)	Meşe	15	619,6	1482	1150,89	280,58	0,682
	Gürgen	15	910,8	1304	1117,67	134,44	
Potasyum (K)(mg/kg)	Meşe	15	456,8	3047	1289,80	880,86	0,227
	Gürgen	15	469,3	1794	882,16	382,13	
Alüminyum (Al) (mg/kg)	Meşe	15	198,9	1660	873,05	538,19	0,000
	Gürgen	15	1136	2894	1969,033	543,42	
Demir (Fe) (mg/kg)	Meşe	15	154,7	1134	603,69	373,69	0,000
	Gürgen	15	671,6	2526	1186,81	485,90	
Mangan (Mn) (mg/kg)	Meşe	15	155,5	579	337,44	136,17	0,000
	Gürgen	15	590,5	1021	763,52	152,33	
Çinko (Zn) (mg/kg)	Meşe	15	4,94	26,79	14,78	7,41	0,000
	Gürgen	15	13,14	66,31	32,24	17,71	
Bakır (Cu) (mg/kg)	Meşe	15	3,88	18,87	8,43	4,63	0,465
	Gürgen	15	5,64	12,72	8,33	2,06	

Min.: Minimum, Max.: Maksimum, Stand.Sap.: Standart Sapma ($\pm$),

4.3.3. Toprak Özelliklerine Ait Bulgular

Toprak özellikleri bakımından türler arasında yapılan değerlendirme sonucuna göre Mikrobiyal biyokütle karbon (MB_C) %14,81, mikrobiyal biyokütle karbon/mikrobiyal biyokütle azot oranı % 27,40, karbon %19,43 ve karbon/azot oranı %19,25 oranında meşe alanlarında anlamlı olarak daha yüksek tespit edilmişken, pH değeri % 5,77 oranında gürgen alanlarında daha yüksek tespit edilmiştir (Tablo 4.83). Ayrıca bu değişkenlerin zamansal değişimlerinin türler arasındaki karşılaştırmasına ait sonuçlar ekler bölümünde yer almaktadır (Ek- 1, Ek-2).

Tablo 4.83: Türler arası toprak özelliklerine ait t-testi sonuçları

	Tür	N	Min.	Max.	Ortalama	Stand. Sap.	P
MS (µg C/ g/h)	Meşe	15	4,48	13,25	8,71	3,10	0,700
	Gürgen	15	4,77	11,98	8,47	2,38	
MB_C (µg/g)	Meşe	15	782,1	1295,64	1078,00	138,37	0,021
	Gürgen	15	516,51	1128,56	885,44	180,72	
MB_N (µg/g)	Meşe	15	43,44	98,69	78,69	20,97	0,372
	Gürgen	15	68,04	99,71	79,24	8,08	
MB_C / MB_N	Meşe	15	10,49	18,37	14,88	2,73	0,001
	Gürgen	15	5,89	16	11,68	2,79	
Nem (%)	Meşe	15	17,94	43,11	28,86	7,63	0,557
	Gürgen	15	22,47	43,24	30,79	8,28	
Sıcaklık (°C)	Meşe	15	7,28	20	14,24	4,54	0,308
	Gürgen	15	7,26	19,39	13,81	4,38	
Toprak Reaksiyonu (pH)	Meşe	15	4,09	4,98	4,51	0,24	0,000
	Gürgen	15	4,58	5,08	4,77	0,15	
Karbon (%)	Meşe	15	4,48	6,23	5,41	0,58	0,000
	Gürgen	15	4,32	4,92	4,53	0,17	
Azot (%)	Meşe	15	0,20	0,30	0,27	0,03	0,556
	Gürgen	15	0,24	0,30	0,27	0,02	
C/N	Meşe	15	16,77	29,4	21,00	4,00	0,002
	Gürgen	15	15,47	19,9	17,61	1,25	

Min.: Minimum, Max.: Maksimum, Stand.Sap.: Standart Sapma (±), MS : Mikrobiyal Solunum, MB_C: Mikrobiyal Biyokütle Karbon, MB_N: Mikrobiyal Biyokütle Azot, C/N: Karbon/Azot

5. TARTIŞMA

Çalışma süresi boyunca Macar meşesi (*Quercus frainetto* Ten.) ve adi gürgen (*Carpinus betulus* L.) türüne ait kılcal ve ince köklerin ayrışması hem mevsimsel hem de ayrışma üzerinde etkili olan toprak özellikleri analiz edilerek değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında köklere ait kalan kütle miktarı, kök azot ve karbon içerikleri, lignin ve selüloz, besin element içerikleri, toprak sıcaklığı, toprak nemi, toprak reaksiyonu (pH), mikrobiyal solunumu, mikrobiyal biyokütle karbon ve mikrobiyal biyokütle azot, toplam toprak azot ve karbon içerikleri belirlenmiştir.

5.1. TOPRAK ÖZELLİKLERİ

Toprak sıcaklığının optimum düzeyde olması mikroorganizmaların faaliyetlerinin hızlanması için önemlidir çünkü ayrışma sürecinde mikroorganizmalar önemli bir role sahiptir (Zhao ve diğ. 2022). Çalışmamızda toprak sıcaklığı meşe ve gürgen alanlarında 12 ay süreyle ölçülmüştür. Toprak sıcaklığı tür bazında zamansal olarak anlamlı farklılık göstermiştir. Benzer olarak toprak nemi, zamansal açıdan tür içinde anlamlı farklılık göstermiştir. Ormanın tepe yapısı toprak sıcaklığı ve nem koşulları gibi meşçere altı mikro iklimi etkilediği bilmektedir (Prescott, 2002). Fakat çalışmamızda türler aynı yetiştirme ortamı içerisinde olduğundan aralarında anlamlı fark bulunmamıştır.

Toprak reaksiyonu (pH) mikrobiyal canlıların ve bitkilerin büyümesini, aynı zamanda toprak kalitesi, kök ayrışmasını etkileyen önemli bir faktördür (Zhao ve diğ.,2022). Yüksek pH değerleri kök aktivitesini yavaşlatmakta, topraktaki organik madde miktarını ve toprak verimliliğini azalttığı bilinmektedir (Zhang ve Zhang, 2018). Bununla birlikte mevsimsel olarak toprak pH'sında toprak nemine bağlı olarak değişimlerin olduğu belirtilmektedir (Kantarcı, 2000). Çalışmamızda meşe topraklarında pH değerleri 4,24 ile 5,08 arasında değişirken gürgende 4,50 ile 5,28 arasında değişim göstermektedir. Meşe topraklarında aylar arasında anlamlı bir fark tespit edilememişken gürgen topraklarında anlamlı fark tespit edilmiştir. Bununla birlikte türler arası bakıldığında ise toprak pH değerleri anlamlı olarak farklılık göstermiştir. Benzer olarak bitki örtüsündeki farklılığının pH değerlerinde önemli bir etkisinin olduğunu ortaya konmuştur (Akbaş,2020). Çalışmamızın aksine Makineci (1999) yaptığı çalışmada, meşe ve gürgen arasında önemli farklar olmadığını ifade etmiştir. Akburak (2013)'te yaptığı çalışmada pH değerlerinin benzer eğilim gösterdiğini meşe kontrol alanlarının toprak pH'sı 4,3 ile 5,7 arasında gürgende ise kontrol alanlarında 4,8 ile 5,7 arasında pH değerleri

bulduğunu ifade etmiştir. Çakır ve Makineci (2022), Belgrad Ormanı'ndaki yaptığı çalışmada toprak pH'sını 4,5 ile 5,0 arasında bulmuştur.

Mikrobiyal solunum 12 ay boyunca belirlenmiştir. Meşe topraklarında 3,38 ile 19,5 $\mu\text{g C/g/h}$ arasında gürgen topraklarında ise 3,68 ile 15,20 $\mu\text{g C/g/h}$ bulunmuştur. Kış aylarında mikrobiyal solunum değerleri düşüş gösterirken yaz aylarında yükselmiştir. Türlerin zamansal açıdan aylar arasında anlamlı farklar gösterirken türler arasında anlamlı fark tespit edilememiştir. Çalışmamıza benzer olarak, Akbaş (2020), kayın ve ladin ormanlarında yaptığı çalışmada mikrobiyal solunum değerleri bakımından türler arasında anlamlı bir fark olmadığını ve sadece kayın sahalarında nisan ayından temmuz ayına kadar miktarda artış gösterdiğini ifade etmektedir. Çalışmamızdaki ilişkiler değerlendirildiğinde meşe topraklarında mikrobiyal biyokütle karbon / mikrobiyal biyokütle azot oranı ile pozitif ilişki bulunurken, gürgen topraklarında toprak azotu ile kuvvetli negatif ilişki, topraktaki karbon/azot miktarıyla da kuvvetli pozitif ilişki görülmüştür. Çalışmamızın aksine Akburak (2013), yaptığı çalışmada mikrobiyal solunumu, toprak azot miktarı ile kuvvetli pozitif ilişki bulurken toprak karbon/azot miktarı ile kuvvetli negatif bir ilişki bulmuştur. Yapılan başka bir çalışmada, Zimmermann ve Frey (2002), ladin ormanlarında yaptığı çalışmada mikrobiyal solunum ile toprak azotu arasında doğrusal (pozitif) ilişki olduğunu ve pH miktarının artışıyla da pozitif ilişkisi olduğunu belirtmiştir.

Toprakta mikrobiyal biyokütle karbon, meşe topraklarında en düşük ocak ayında 726,90 $\mu\text{g/g}$ en yüksek Nisan.2022 de 1517,26 $\mu\text{g/g}$ ölçülürken gürgen topraklarında en düşük Mayıs.21 de 508,71 $\mu\text{g/g}$ en yüksek Nisan.2022 de 1382,79 $\mu\text{g/g}$ ölçülmüştür. Türlerin mevsimsel değişimde ve türler arasında anlamlı farklılıklar söz konusudur. Benzer olarak Diaz-Ravina ve diğ. (1995), *Quercus robur* ve *Pinus pinaster* ormanlarında yaptıkları çalışmada mevsimler arasında anlamlı fark olduğunu bularak ilkbahar mevsiminde 880 $\mu\text{g/g}$, yaz mevsiminde 589 $\mu\text{g/g}$, sonbahar mevsiminde 560 $\mu\text{g/g}$ ve kış mevsiminde 787 $\mu\text{g/g}$ bulmuştur. Devi ve Yadava (2006), *Quercus serrata*- *Schima wallichii* ve *Quercus serrata*-*Lithocarpus dealbatus* türleri arasında 0-10 cm alınan toprak örneklerinde 71,1 $\mu\text{g/g}$ ile 1412,6 $\mu\text{g/g}$ arasında mikrobiyal biyokütle karbonun değiştiğinin ve meşçere tipleri sırasıyla mevsimlerine göre bakıldığında 738,32 $\mu\text{g/g}$ ve 392,92 $\mu\text{g/g}$; yağmurlu olan mevsimde 1182,60 $\mu\text{g/g}$ ve 740,74 $\mu\text{g/g}$; kış mevsiminde 465,14 $\mu\text{g/g}$ ve 382,58 $\mu\text{g/g}$ bulmuştur. Kış mevsimlerinde en düşük yağmurlu mevsimlerde ise en yüksek değerleri bulduğunu ve meşçerelerin arasında hem de mevsimlere göre istatistik açıdan anlamlı fark tespit etmiştir.

Çalışmamızdaki türler arasındaki mikrobiyal kütle karbon miktarındaki farklılık toprak özellikleri ile olan ilişki farklılığından kaynaklanabilir. Çünkü meşe topraklarında mikrobiyal biyokütle azot ile pozitif ilişki, toprak karbon ve karbon/azot oranı negatif ilişki gösterirken gürgen topraklarında mikrobiyal biyokütle karbon/mikrobiyal biyokütle azot oranı ile pozitif ilişki bulunmaktadır.

Toprakta mikrobiyal biyokütle azot ise, meşe alanlarında en düşük ölçülen ay Mayıs.2021 de 43,44 µg/ g en yüksek ise Nisan.2022 ayında 141,95 µg/ g iken gürgende ise en düşük Kasım.2021 de 43,52 µg/ g Temmuz 2021 'de en yüksek 125,03,0 µg/ g dir. Çalışmamıza benzer olarak, Devi ve Yadava (2006), mikrobiyal biyokütle azotun yaz mevsiminde *Quercus serrata*- *Schima wallichii* ve *Quercus serrata*-*Lithocarpus dealbatus* meşçere tiplerinde sırasıyla 70,51 µg/ g ve 38,04 µg/ g; yağmurlu mevsimde 99,98 µg/ g ve 54,50 µg/ g; kış mevsiminde 69,02 µg/ g ve 44,95 µg/ g olarak bulunmuştur ve mikrobiyal biyokütle azotu en yüksek yağmurlu mevsimde olduğunu vurgulamıştır. Yapılan istatistiksel testleri göre ise aralarında hem zamansal hem de tür arasında anlamlı bir fark ortaya çıkmıştır. Çalışmamızda hem zamansal açıdan hem de türlerin kendi içlerinde bakıldığında meşede anlamlı fark bulunurken gürgen topraklarında anlamlı bir fark tespit edilememiştir. Türler arası değerlendirme bakımından anlamlı bir fark bulunamamıştır. Bulgularımızın aksine, Bolat (2011), mikrobiyal biyokütle azot miktarlarının meşçere tipi ve mevsimlere göre farklılık gösterdiğini belirtmiştir.

Toprakta mikrobiyal biyokütle karbon/mikrobiyal biyokütle azot, meşe topraklarında en yüksek Haziran.2021 de 22,72 en düşük Ekim.2021 de 7,64 bulunurken gürgende ise Kasım.2021 de 18,43 en düşük Mayıs.2021'de 5,89 bulunmuştur. Türler değerlendirildiğinde aralarında anlamlı fark tespit edilememiştir. Çalışmamızda elde ettiğimiz sonuçların tersine Akbaş (2020) de yaptığı çalışmada biyokütle oranlarının türe göre değiştiğini belirtmiştir. Bununla birlikte mevsimlere her iki tür içinde farklı sonuçlar çıkardığını ifade etmiştir. Toprak mikrobiyal biyokütlesi canlıdır ve bu yüzden toprakta olan herhangi bir farklılıkta hızlı şekilde tepki gösterir. Ayrıca mikrobiyal biyokütlenin bu oranı toprakta bulunan mikroorganizmalar hakkında bilgi vermektedir (Yuan ve diğ., 2007). Nitekim mikrobiyal biyokütle karbon/azot oranı düşük ise (3-5) bakterilerin daha fazla bulunduğunu ama bu oran yüksek ise (10-12) mantarların daha baskın olduğu ifade etmektedir (Jenkinson ve Şadd, 1981). Çalışmamızdaki türler içinde oranların mevsimsel olarak değişkenlik göstermesine rağmen ağırlıklı olarak mantarların baskın olduğunu söylemek mümkündür.

Toprak azot içeriği, meşe de %0,34 ile %0,21 arasında gürgende ise %35 ile %18 arasındadır. Türler kendi içerisinde zamansal olarak anlamlı farklılık gösterirken türler arasında anlamlı fark göstermemiştir. Benzer olarak Akburak (2013), yaptığı çalışmada meşe topraklarında azot içeriğini %0,16 ile %0,39 arasında değişim gösterdiğini gürgende ise %0,20 ile %0,38 arasında değişim gösterdiğini bulmuştur. Yurdabak (2006), aynı bölgede yaptığı çalışmada meşe topraklarında 0-10 cm aldığı toprak örneklerinde azot miktarını %0,22 bulmuştur. Toprak karbon içeriği, meşe alanlarında en yüksek Mayıs.2021 de %6,07 en düşük Mart.2022 de %4,04 olarak tespit edilmiştir. Gürgen türünde ise en yüksek Nisan.2022 de %6,48 en düşük Şubat.2022'de %4,00 olarak bulunmuştur. Türler kendi içerisinde zamansal açıdan anlamlı farklar gösterirken türler arasında da anlamlı fark söz konusudur. Bulduğumuz sonuçlara paralel olarak Akburak (2013), yaptığı çalışmada aynı bölgedeki meşe alanlarında %5,3 ile %10,1 arasında gürgende ise %3,9 ile %8,2 arasında değişim gösterdiğini bulmuştur. Çalışmamızdaki türlerin kendi zamansal olarak farklılık göstermesi toprak özellikleri ile olan ilişkisinden kaynaklanabilir. Nitekim meşe türünde toprak karbonu nem ve mikrobiyal biyokütle karbon ve azot ile negatif ilişki gösterirken gürgen herhangi bir ilişki bulunmamaktadır. Ayrıca toprak azot içeriği bakımından meşe türünde ilişki bulunmazken gürgen türünde mikrobiyal solunum, mikrobiyal biyokütle azot ile negatif ilişki bulunmaktadır. Bu ilişkilerdeki farklılık özellikler toprak karbonunun türler arasında farklılığa neden olduğunu söylemek mümkündür.

Toprak toplam karbon/ toprak toplam azot oranı hesaplandığında meşe topraklarında en yüksek 27,90 (Mayıs.2021), en düşük ise 14,70 (Aralık.2021), gürgen topraklarında ise en yüksek 31,40 (Nisan.2022), en düşük %12,80 (Mayıs.2022) olarak tespit edilmiştir. Çalışmamızdaki meşe türünde elde edilen sonuçlara benzer olarak, Makineci (1999), aynı bölgede yaptığı çalışmada meşe topraklarında toplam karbon/azot miktarını %11,9 ile %28,3 arasında gürgende ise %8,96 ile %23,15 arasında tespit ettiğini ifade etmiştir benzer diğer bir çalışmada, Akburak (2013), meşe alanlarında %31,29- %23,90 arasında gürgen topraklarında ise %27,48 ile 22,54 arasında olduğunu bulmuştur. Çalışmamızda hem türler kendi içerisinde zamansal olarak hemde türler arasında anlamlı farklılık tespit edilmiştir. Bu farklılıklar yukarıda da ifade edildiği gibi karbon/azot oranının diğer toprak özellikleri ile gösterdiği farklı ilişkilerden kaynaklanabilir. Çünkü meşe türünde nem ve mikrobiyal biyokütle karbon ile negatif ilişki tespit edilirken gürgen türünde mikrobiyal solunum ile pozitif ilişki tespit edilmiştir.

5.2. KÖK AYRIŞMASI VE ETKİLEYEN FAKTÖRLER

5.2.1. Kalan Kütle Miktarı

Kalan kütle miktarı bir yılın sonunda meşe türünde kılcal köklerde %66,9 ince köklerde ise %69,9'dur. Gürgen türünde ise kılcal köklerde %64,6 ince köklerde %52,8 kalmıştır. Meşe türünün kılcal köklerinde yaklaşık %33 ince köklerde ise %30'luk kayıp olmuştur. Gürgende ise kılcal köklerde yaklaşık %36 ince köklerde %48'lik bir kayıp söz konusudur. Tür içi kök sınıfları arasında ve türler arasında kök sınıflarına göre anlamlı bir fark bulunmamıştır. Çalışmamızda meşe türünde elde edilen bulgulara benzer olarak, Usman (2002) de *Pinus roxburghii* ve *Quercus leucotrichophora* türleri üzerine yaptığı çalışmada kök çap kalınlığının artması ile ayrışmanın azaldığını ifade etmiştir. Benzer başka bir çalışmada, McClaugherty ve ark (1984) , Massachusetts and Virginia'da yaptığı ibrelili türe ait kök çalışmasında küçük çaplı köklerin kalan kütle oranlarını daha düşük bulmuşlardır. Xu ve diğ (2022), moso bambusu köklerinde (<2 mm ve 2-5 mm) ilk 2 ay ayrışmaları aynı oranda gitse de 12 ay sonra kılcal köklerin %48,5 ü ince köklerin ise %56,3 oranında kalan kütle miktarı olduğunu ve < 2 mm kök çapının ayrışması 2-5 mm ye göre daha hızlı olduğunu ifade etmiştir. Sarıyıldız ve diğ (2010), iki yıl süren kızılâğaç, sarıçam ve doğu ladininin kılcal ve ince köklerinde yapılan çalışmada ayrışmanın kök çaplarında artışa bağlı olarak azaldığı tespit edilmiştir. Xu ve diğ. (2022), kılcal köklerin ince köklere göre ayrışmasının daha hızlı olduğunu ve genellikle kök çapı ne kadar küçük olursa yüzey alanının hacme oranı o kadar büyük olur ve bu durum ise çevre ve yüzey temasını daha geniş alana sahip olacağından mikroorganizmaların köke karşı olan istilas ve ayrışmasının hızlı olacağını tespit etmiştir. Fakat bizim çalışmamızda ise gürgen köklerinde çap kalınlığı arttıkça ayrışma miktarının arttığı gözlemlenmiştir. Yapılan diğer bir çalışmada ise Usman ve diğ. (2000) yaptığı çalışmada ban meşesi (*Quercus leucotrichophora*) ve uzun yapraklı hint çamı (*Pinus roxburghii*) türlerini 18 ay boyunca 3 farklı kök çapına (0-1 ,1-2,2-3 mm) göre incelemiştir. Sırasıyla ban meşesindeki kütle kaybı %47, %40 ve %36 olarak tespit edilmiştir. İlk hızlı ayrışmanın küçük çaplılarda görüldüğünü çünkü dokularında daha yüksek oranda çözülen karbonhidrat olduğunu ve ayrıştırıcıların kolaylıkla erişebildiği için daha hızlı ayrıştığını tespit etmiştir. Zamansal olarak çalışmada, türler arası ve kök çap sınıflarına göre aralarında anlamlı fark bulunmaktadır. En fazla ayrışma gürgen köklerinde kış aylarında görülürken meşe köklerinde bu durum görülmemiştir. Benzer bir çalışma olan Chen ve diğ. (2002), 15 türün bunların 11'i iğne yapraklı 4'ü geniş yapraklıların kılcal kökleri (>2 mm) üzerine yaptıkları çalışmada kılcal köklerin ilk birkaç ayda hızlı bir kütle kaybı gösterdikleri ve sonrasında ayrışma hızının ciddi bir şekilde yavaşladığını tespit etmişlerdir.

Usman ve diğ. (2000) yaptığı çalışmada ayrışmanın tür ve kök çaplarına göre farklılık gösterdiğini en fazla ayrışmanın kış aylarında olduğunu ifade etmiştir. Çalışmamızda ise kılcal köklerde her iki tür için aynı miktarda kütle kaybı görülürken ince köklerde gürgende daha fazla miktarda kütle kaybı olduğu görülmektedir. Fu ve diğ (2021), yaptıkları çalışmada kök ayrışmasını kökte bulunan potasyum ve lignin miktarının, topraktaki azot miktarının, topraktaki karbon/azot oranının ve mikrobiyal toplulukların etkilediğini ifade etmişlerdir. Bu durum köklerin kimyasal özelliklerinin etkin rol oynadığını göstermektedir. Nitekim Zhang ve diğ. (2015), yaptığı çalışmada İnce ve kaba kök ayrışması, başlangıçtaki kök kimyasına verilen tepki açısından da farklılık gösterdiğini ifade etmiştir. Çalışmamızda Gürgen türünde ince köklerdeki kalan kütle miktarının daha az olması bu kimyasal farklılık kaynaklanmış olabilir. Korelasyon analizi gösterdi ki hemde kılcal kökler hemde ince köklerde benzer ilişkilerken farklı olarak kılcal köklerde lignin/selüloz oranı ile pozitif ilişkili, selüloz miktarı ve ADF miktarı ile negatif ilişkili iken ince köklerde selüloz miktarı ile pozitif ilişkili, lignin/selüloz oranı ile negatif ilişkili olması, bununla birlikte kılcal köklerin toprak nemi ile ince köklerin ise lignin/selüloz oranı ile negatif ilişki göstermesi bu farklılığın ortaya çıkmasında etkili olduğunu söyleyebiliriz.

5.2.2. Ayrışma Sabiti “k”

Ayrışma sabiti, meşe kılcal köklerde 0,56 ince köklerde 0,52 arasında; gürgende ise kılcal köklerde 0,55 ince köklerde 0,80 olarak belirlenmiştir. Meşe türünde kök çapları arasında fark bulunmazken gürgen türünde anlamlı farklılık tespit edilmiştir. Her iki türde de zamansal olarak kök çapları arasında nali farklılık bulunmaktadır. Türler karşılaştırıldığında kılcal kökler bakımından farklılık bulunmazken ince kökler bakımından aralarında farklılık söz konusudur. Hobbie ve diğ. (2011), yaptığı çalışmada ayrışma katsayısını meşe türü için 0,29 tespit ederken gürgen türündeki ayrışma katsayısını 0,30 olarak tespit etmiştir. Guo ve diğ. (2021), tarafından yapılan değerlendirmede tüm biyomların ortalaması alındığında kılcal kök ayrışma katsayısının 0,42 olduğunu tespit etmiştir. Benzer olarak Silver ve diğ. (2001), yaptığı çalışmada yapraklı türlerdeki kılcal kökler için ayrışma katsayısını 0,44 tespit etmiştir. Ayrıca yaptığı derleme sonucunda kılcal kökler için ortalama 0,69 ince kökler için ayrışma katsayısını 0,52 olarak hesaplamıştır (Silver ve diğ., 2001). Başka bir çalışmada, Solly ve diğ. (2011), ılıman ormanlar için kılcal kök değerlerini ortalama 0,12 olarak tespit etmiştir. Sonuçlar göre çalışmamızda elde ettiğimiz kılcal kök ayrışma katsayıların yüksek olduğu görülmektedir. Bununla birlikte meşe türünde kök çapının artışıyla ayrışma katsayısında düşüş görülürken özellikle gürgen türünde

kök çapı ile ayrışma katsayısı artış olduğu tespit edilmiştir. Birçok çalışmada kök çapı ile ayrışmanın azaldığı vurgulanmakta ve bu durumun köklerdeki azot, lignin ve lignin/N oranıyla ilişki olduğunu vurgulamıştır (Xu ve diğ., 2022; Zhang ve diğ., 2015; Saha ve diğ., 2023). Çalışmamızda benzer olarak meşe türünde kılcal köklerde ayrışma katsayısının lignin miktarı ve toprak azot miktarı ile pozitif ilişki; ince köklerde ise ayrışma katsayısı kök karbon miktarı ve kök karbon/kök azot oranı ile negatif ilişki, toprak azotu ile pozitif ilişki gösterdiği belirlenmiştir. Fakat gürgen türünde kılcal köklerin ayrışma katsayısının lignin/selüloz oranı arasında negatif, selüloz ile pozitif ilişki gösterirken, ince köklerin ayrışma katsayısı, selüloz ve kök karbon miktarı ile negatif ilişki, mikrobiyal biyo kütle karbon/mikrobiyal biyokütle azot oranı, lignin/selüloz oranı ve lignin miktarı ile pozitif ilişki göstermiştir. Yapılan benzer bir çalışmada, Ayrışma katsayısının karbon içeriği ile negatif lignin içeriği ile pozitif ilişki olduğunu belirtmektedir (Bonanomi ve diğ., 2021). Çalışmamızda gürgen türünün kılcal köklerdeki ayrışmanın daha düşük olması başlangıçtaki selüloz oranının düşük, kökteki karbon içeriğinin ve lignin oranının yüksek olmasından kaynaklanabilir. Yapılan bir çalışmada Donnely ve diğ. (1990), selüloz ayrışmasının lignine göre daha fazla olduğunu tespit etmişlerdir. Yapılan başka bir çalışmada selülozun kök ayrışmasını kontrol eden baskın faktör olduğunu belirlemişlerdir (Jiang ve diğ., 2021). Buna ek olarak Yüksek karbon miktarının (Selüloz) daha hızlı ayrışmaya neden olacağı ifade edilmektedir (Fan ve Guo, 2010). Benzer olarak düşük karbon içeriğinin mikrobiyal ayrışmayı yavaşlatabileceği belirtilmiştir (Moorhead ve Sinsabaugh 2006; Berg ve McClaugherty 2003). Bununla birlikte yapılan başka bir çalışmada See ve diğ. (2019), mantarların (ektomikorizal (EcM) mantar) köklerdeki oluşturacağı manto etkisiyle köklerin ayrışmasını yavaşlatabileceğini (Langley ve diğ. 2006) vurgulamaktadır.

5.2.3. Lignin ve Selüloz

Bitki dokularında en çok bulunan lignosellülozik bileşenlerin %25'i lignindir (Crawford 1981). Köklerdeki lignin içeriği, meşe türünün kılcal köklerinde ortalama % 60,91, ince köklerde ise 59,54 bulunmuştur. Gürgen türünde kılcal köklerde %58,25, ince köklerde %62,3 olarak tespit edilmiştir. Meşe türünde kökler arasında sadece zamansal fark tespit edilirken gürgen türünde hem kök çapları arasında hemde zamansal olarak anlamlı farklılık tespit edilmiştir. Türler arasında kılcal ve ince kökler bakımından gürgen türü sırasıyla % 12,05, ve % 4,64 oranında anlamlı olarak daha yüksektir. Selüloz bakımından ise meşe kılcal köklerde ortalama %2,22, ince köklerde %2,79 olarak tespit edilirken Gürgen kılcal köklerinde ise %2,85, ince köklerde %4,27 olarak bulunmuştur. Meşe türünde kök çapları arasında fark bulunmazken

gürgen türünde kök çapları arasında anlamlı farklılık tespit edilmiştir. Türler arasında ise kılcal kökler bakımından fark bulunmazken ince kökler bakımından farklılık söz konusudur. Hem selüloz içeriği hemde lignin içeriği bakımından meydana gelen farklılıklar meşe türünde kılcal köklerin gürgen türünde ise ince köklerin mikrobiyal parametreler ile belirgin etkileşiminden kaynaklanabilir. Bu durum zaman içerisinde ayrışmaya bağlı olarak selüloz içeriğinde azalış ve lignin içeriğindeki artışlardan kaynaklanabilir.

5.2.4. Kök Karbon ve Azotu

Strand ve diğ. (2008), ince köklerin karbon depolaması ve karbon döngüsündeki en önemli yere sahip olduğunu vurgulamıştır. Köklerdeki karbon içeriği, meşenin kılcal köklerinde %41 ile %49,9 arasında ince köklerde ise %43,5 ile %49,54 arasında bulunmuştur. Gürgen kılcal köklerinde %43,2 ile %50,68 arasında mevcutken ince köklerde %41,79 ile %48,5 arasında bulunmaktadır. Hem meşe türünde hemde gürgen türünde kılcal köklerdeki karbon içeriği anlamlı olarak daha yüksektir. Türler arasında ise anlamlı fark tespit edilememiştir. Çalışma sonuçlarımıza benzer olarak Akburak ve diğ. (2013) 4 ağaç türü üzerine olan (Doğu Ladini, Karaçam, Uludağ Göknaarı ve Sapsız Meşe) 3 çap sınıfını (< 2mm, 2-5mm ve >5mm) ele alarak yaptıkları çalışmada kökteki karbon içeriğinde ağaç türleri arasında bir fark bulamamışlardır fakat ince köklerdeki karbon içeriğinde diğer köklere göre daha düşük çıkmıştır bunun sebebinin ise daha düşük lignin içeriği bulunması olarak yorumlanmıştır. Çalışmamızda zamansal olarak kök çapları arasında anlamlı farklılık olmasına rağmen başlangıca göre karbon miktarında düşüş tespit edilmiştir. Guo ve diğ. (2021), yaptıkları çalışmada yapısal olmayan karbonhidratların ayrışma ile pozitif ilişki olduğunu tespit etmişlerdir. Benzer olarak saha ve diğ. (2023), karbonhidratların ve diğer çözünür bileşiklerin köklerden hızla uzaklaştığını ifade etmişlerdir. Bu durum çalışmamızda karbon miktarındaki zamansal olarak azalmayı destekler niteliktedir. Ugawa ve diğ. (2010), ince köklerin azot içeriğinin ne kadar önemli olduğunu ifade etmişlerdir. Çalışmamızda azot miktarı meşe kılcal köklerde %1,37 ile 1,66 arasında ince köklerde ise %1,28 ile %1,61 arasında bulunmaktadır. Köklerin azot miktarları başlangıca göre kılcal ve ince köklerde Şubat.22 dönemi hariç diğer aylarda yükselmiştir. Gürgen türünde ise kılcal köklerde %1,37 ile %1,66 ince köklerde %1,28 ile %1,61 arasındadır. Hem meşe türünde hemde gürgen türünde kılcal köklerdeki azot içeriği anlamlı olarak daha yüksektir. Benzer olarak, Akburak ve diğ. (2013), kök çap sınıflarını üçe ayırarak (< 2mm, 2-5mm ve >5mm) yaptıkları çalışmada kök çap sınıfları arasında azot içeriğinde istatistiksel fark olduğu belirtilmiştir. Başka bir çalışmada, Sarıyıldız ve diğ. (2010),

sarıçam, doğu ladini ve kızılğaç türlerinin kılcal kökleri ($< 2\text{mm}$) ve ince kökleri $2\text{-}5\text{mm}$ baktıkları azot miktarına göre kızılğacın kılcal köklerinde en yüksek azot konsantrasyonunu tespit etmişlerdir. Çalışmamızda gürgen türü meşe türüne göre hem kılcal hemde ince kökler bakımından anlamlı olarak daha yüksektir. Hem meşe hemde gürgen türünde azot miktarları başlangıca göre anlamlı olarak artış göstermiştir. Yapılan çalışmalarda ayrışma süresince kök azotunda artma eğiliminde olduğu tespit edilmiştir (Chen ve diğ., 2001; Xu ve diğ., 2022; Sarıyıldız ve diğ., 2010). Kökün karbon/azot oranı, meşe kılcal köklerde 24,66 ile 4,94 arasında ince köklerde ise 27,55 ile 36,65 arasındadır. Gürgen köklerine bakıldığı zaman ise kılcal kökler 23,9 ile 31 ince köklerde ise 24,05 ile 32,16 arasındadır. Meşe kök çap sınıflarında anlamlı fark bulunmazken gürgen türünde ince köklerin anlamlı olarak daha yüksek orana sahip olduğu tespit edilmiştir. Toplanan ayrışma keselerindeki bulunan miktarlar başlangıç köklerindeki miktarlara göre düşük değerdedir. Usman (2000) de, kök çap sınıfının karbon/azot oranının kök çapının artması ile oranın arttığını ve meşe ormanlarında %70-85 arasında çamlarda ise %77-106 arasında değiştiğini bulmuştur.

5.2.5. Kök Besin Elementleri

Köklerde bulunan besin elementleri ise makro ve mikro besin elementleri olmak üzere ikiye kategoride değerlendirilmeler yapılmıştır. Buna göre meşe türünde makro elementlerden sadece magnezyum, fosfor miktarı anlamlı olarak farklılık göstermiştir. Gürgen türünde ise makro elementlerden potasyum haricinde tüm elementler çaplar arasında anlamlı olarak farklılık göstermiştir. Mikro elementler bakımından hem meşe türünde (mangan hariç) hemde gürgen türünde tüm elementler hem çaplar arasında hemde zamansal olarak anlamlı farklılık göstermiştir. Her iki türde makro ve mikro elementler kılcal köklerde yüksek seviyedir. Benzer bir çalışmada Wendy ve diğ. (2000), iki farklı kök çapına ($< 2\text{mm}$ ve $2\text{-}5\text{ mm}$) göre besin elementlerini incelemişlerdir. Fosfor, potasyum, kalsiyum, magnezyum içeriğinde kılcal köklerde daha yüksek seviyede olduğunu belirlemişlerdir. Başka bir çalışmada, Hobbie vd. (2010), yaptığı çalışmada Saplı meşe (*Quercus robur*) türüne ait kılcal köklerdeki kalsiyum, magnezyum, potasyum, fosfor ve mangan içeriklerinin gürgen (*Carpinus betulus*) türüne ait kılcal köklerden daha yüksek içeriğe sahip olduğunu tespit etmişlerdir. Çalışmamızda Meşe türünde zamansal değişim bakımından tüm makro elementler anlamlı farklılık göstermiş olup, ayrışma süresince potasyum ve sodyum azalma gösterirken, kalsiyum ve magnezyum ilk üç aylık periyotta azalmış ve devam eden periyotta artma eğilimi göstermiştir. Bununla birlikte genel olarak mikro elementlerde ilk üç aylık periyotta azalma ve sonraki periyotlarda ise artma

eğilimi göstermiştir. Gürgen türünde zamansal olarak fosfor ve magnezyum hariç diğer elementlerde anlamlı farklılık söz konusudur. Ayrışma süresince meşe türüne benzer olarak potasyum (ince köklerin 3. Ayından itibaren) ve sodyum azalma gösterirken, kalsiyum ve magnezyum ilk üç aylık periyotta azalmış ve devam eden periyotta artma eğilimi gösterirken genel olarak mikro elementlerde (mangan hariç) ilk üç aylık periyotta azalma ve sonraki periyotlarda ise artma eğilimi göstermiştir. Bu zamansal değişimler ayrışma sürecinin ilk aşamalarında kolay yıkanıp giden besin maddelerinin hızlı bir şekilde kök yapısından uzaklaştığı göstermektedir. Ayrıca potasyum ve sodyum gibi elementler yapısal bileşiklere bağlanmadıkları için ayrışma süresince sürekli olarak azalma eğilimi göstermiştir. Benzer olarak Fuji ve Takeda (2010), yaptığı çalışma potasyum miktarının ilk aşamalarda hızlı bir şekilde azalma gösterdiğini ve bunun temel sebebini organik madde yapısında yer almamasından kaynaklandığını vurgulanmıştır. Kalsiyum yoğun bir şekilde hücre duvarlarına bulunmasına rağmen hücre içerisinde suda çözülebilir formda bulunabilmektedir. Keza magnezyumunda şaşırtıcı bir şekilde hücre içerisinde çözülebilir tuz formunda bulunabildiği belirtilmiştir. Dolayısı ile meşe ve gürgen köklerinde ayrışmanın ilk aşamalarında kalsiyum ve magnezyumun azalma eğilimi göstermesinde etkili olan durumun bu elementlerin çözünebilir durumda olmasından kaynaklanabilir. Mikro elementlerde de görülen zamansal değişimi de bu temel dayandırmak mümkün olmakla birlikte metallerin köklerin korteksinde depolandığı ve bunu da sağlayan yapının selüloz, hemiselüloz, pektin ve glikoprotein (bol miktarda negatif yük içeren) bileşikler olduğu vurgulanmıştır (Guo ve diğ., 2013). Dolayısı ile zamansal değişimin bu bileşiklerin köklerden ayrılmasına bağlı olarak değişkenlik göstermesinden kaynaklanabileceğini söylemek mümkündür

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada meşe (*Quercus frainetto* Ten.) ve gürgen (*Carpinus betulus* L.) türlerinin farklı çaplardaki köklerinin mevsimsel olarak ayrışması incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar göre kütle kaybı her iki türde de kök çapları arasında farklılık göstermemiş olup, birinci hipotezimizi desteklemiştir. Aynı şekilde türler arasında da çaplara göre kütle kaybı bakımından farklılık olmadığından ikinci hipotezimiz bu açıdan da desteklenmiştir. Ayrışmadaki zamansal değişim meşe ve gürgen türünde önemli olarak farklılık göstermiştir. Dolayısı ile üçüncü hipotezimiz bu bakımından desteklenmemiştir. Kök kimyası bakımından hem çaplar arasında hem de türler arasında farklı ilişkiler ortaya çıkmıştır. Kılcal köklerde her iki türde baskın kök azot içeriği ve kök karbon/kök azot oranı baskın özellik iken ince köklerde kök karbon içeriği ve kök azot/kök karbon oranı baskın özellik olarak ortaya çıkmıştır. Ayrıca meşe türünün her iki çap sınıfında lignin etkili kök özelliği iken gürgen türünde ise selüloz ve lignin/selüloz oranı ayrışma üzerinde etkili kök özelliği olarak ortaya çıkmıştır. Bu sonuçlara göre dördüncü hipotezimiz desteklenmemiştir. Toprağın fiziksel özelliklerinden toprak nemi ve toprak sıcaklığı ayrışma süresince doğrudan bir etkisi olmadığından beşinci hipotezimiz desteklenirken, kimyasal özelliklerden toprak karbon ve azot miktarı özellikle meşe türünde ayrışma üzerinde etkili bir faktör olarak ortaya çıkmış ve altıncı hipotezimiz sadece gürgen türü bakımından desteklenmiştir. Mikrobiyal özellikler her iki türde de kök çapları bakımından önemli bir etki yaratmış ve ayrışma üzerinde baskın faktörlerden bir olduğu belirlenmiştir. Dolayısı ile yedinci hipotezimiz bu bakımdan desteklenmemiştir. Sonuçlar aynı yetiştirme ortamı içerisinde ayrışma üzerinde farklı etki faktörlerinin olduğunu ve karmaşık ilişkilerin söz konusu olduğunu göstermiştir. Elde edilen tüm bu sonuçların toprak karbon döngüsü ve besin döngüsü içerisindeki süreçlerin anlaşılması bakımından katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Yürütülen bu çalışma tek yıllık bir çalışma olup, gelecek çalışmaların uzun dönemli gerçekleştirilmesi kök ayrışmasının uzun vadedeki seyrinin daha iyi anlaşılması adına önem arz etmektedir. Nitekim ayrışmanın ilk dönemlerinde pozitif etkiye sahip özelliklerin uzun vadede negatif yönde etki edebileceği ifade edilmektedir (Berg, 2014; See ve diğ., 2019).

Ülkemizde ve dünyada kök ayrışması ile ilgili çalışmaları yetersizdir. Gelecek çalışmaların türlere göre ve ormancılık uygulamalarını içerecek şekilde gerçekleştirilmesi kök ayrışmasını toprak karbon ve besin döngüsü parametrelerinin optimize edilmesi, yer altı C stoklarının gelecekteki küresel iklim değişikliğine vereceği tepkileri tahmin etmek için önemlidir.



7. KAYNAKLAR

Aerts, R. ve Chapin, F. S. III. ,2000, the mineral nutrition of wild plants revisited: a re-evaluation of processes and patterns, *Advances in Ecological Research*, 30, 1–67.

Aerts, R. 2006, The freezer defrosting: global warming and litter decomposition rates in cold biomes, *Journal Ecology*, 94, 713–724.

Alef, K. 1995., *Soil respiration, methods in applied soil microbiology and biochemistry*. Academic Press, Inc.San Diego.

Akbaş, M.,2020, *Artvin yöresi kayın ve ladin meşcerelerinde toprak solunumunun kök ve mikroorganizma bileşenlerinin belirlenmesi*, Doktora, Artvin Çoruh Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü.

Akburak, S., 2008, *Belgrad ormanında farklı ağaç türleri altında toprak solunumunun mevsimsel değişimi*, Yüksek lisans tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Akburak, S.,2013, *Meşe ve gürgen meşcerelerinde aralamanın toprak solunumu ve mikrobiyal solunumu üzerine etkileri*, Doktora, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Akburak, S., Oral, H. V., Özdemir, E., ve Makineci, E., 2013, Temporal variations of biomass, carbon and nitrogen of roots under different tree species. *Scandinavian journal of forest research*, 28(1), 8-16.

Akgül, M., 2012, *Üretim ormanlarında tampon zon belirleme kriterleri*, Doktora, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Çakır, M., ve Akburak, S., 2017, Litterfall and nutrients return to soil in pure and mixed stands of oak and beech. *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University*, 67(2), 185-200.

Alvarez, E., Torrado, V. M., Fernández Marcos, M. L. ve Diaz-Ravina, M., 2009, Microbial biomass and activity in a forest soil under different tree species, *Electronic Journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry*, 8(9), 878-887.

Atar, F., 2013, *Adi Gürgen (Carpinus Betulus L.) Populasyonlarında Çimlenme Özelliklerinin Ve Bazı Morfolojik Karakterlerin Belirlenmesi*, Yüksek Lisans, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

- Ayaşlıgil, T., 1997, İ.Ü. Orman Fakültesi Eğitim Ve Araştırma Ormanının rekreasyonel potansiyelinin saptanması, *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 47-A (2), 175-200.
- Battin TJ., Luyssaert S., Kaplan LA., Aufdenkampe AK., Richter A. and Tranvik LJ., 2009, The boundless carbon cycle, *Nat Geosci*, 2(9), 598–600.
- Benner, R., Moran, M. A., ve Hodson, R. E., 1985, Effects of pH and plant source on lignocellulose biodegradation rates in two wetland ecosystems, the Okefenokee Swamp and a Georgia salt marsh 1, 2, 3. *Limnology and Oceanography*, 30(3), 489-499.
- Berg, B., 1984, Decomposition of root litter and some factors regulating the process: long-term root litter decomposition in a scots pine forest, *Soil Biology and Biochemistry*, 16, 609–617.
- Bloomfield, J., Vogt, K. A., ve Vogt, D. J., 1993, Decay rate and substrate quality of fine roots and foliage of two tropical tree species in the Luquillo Experimental Forest, Puerto Rico. *Plant and Soil*, 150, 233-245.
- Blouin, M., Barot, S., ve Roumet, C., 2007, A quick method to determine root biomass distribution in diameter classes. *Plant and soil*, 290, 371-381
- Bolat, İ., 2011, *Kayın, göknar ve göknar-kayın mescerelerinde üst toprak ve ölü örtüdeki mikrobiyal biyokütle karbon (C_{mic}), Azot (N_{mic}), Fosfor (P_{mic}) ve mikrobiyal solunumun mevsimsel değişimi*, Doktora, Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Brookes, P. 1995. The use of microbial parameters in monitoring soil pollution by heavy metals. *Biology and Fertility of Soils*, 19, 4: 269-279.
- Çepel, N., 1984, Orman ekolojisi, İ.Ü. Yayın No: 3118, Orman Fakültesi, Yayın No: 399, İstanbul
- Cleveland, C. C., Townsend, A. R., Constance, B. C., Ley, R. E., ve Schmidt, S. K., 2004, Soil microbial dynamics in Costa Rica: seasonal and biogeochemical constraints. *Biotropica*, 36(2), 184-195.
- Chen, H., Harmon, M. E., Griffiths, R. P., ve Hicks, W., 2000, Effects of temperature and moisture on carbon respired from decomposing woody roots. *Forest ecology and management*, 138(1-3), 51-64.

- Chen, H., Harmon, M. E., ve Griffiths, R. P., 2001, Decomposition and nitrogen release from decomposing woody roots in coniferous forests of the Pacific Northwest: a chronosequence approach. *Canadian Journal of Forest Research*, 31(2), 246-260
- Chen, H., Harmon, M. E., Sexton, J., ve Fasth, B., 2002, Fine-root decomposition and N dynamics in coniferous forests of the Pacific Northwest, USA. *Canadian Journal of Forest Research*, 32(2), 320-331.
- Cole, L., Bardgett, R.D., Ineson, P. ve Adamson, J.K. ,2002b, Relationships between enchytraeid worms (Oligochaeta), climate change, and the release of dissolved organic carbon from blanket peat in northern England, *Soil Biology and Biochemistry*, 34, 599 – 607.
- Cole, L., Bardgett, R.D., Ineson, P. ve Hobbs, P.J. , 2002a, Enchytraeid worm (Oligochaeta) influences on microbial community structure, nutrient dynamics and plant growth in blanket peat subjected to warming, *Soil Biology and Biochemistry*, 34, 83 – 92
- Coleman, D.C., Crossley, D.A., ve Hendrix, P.F., 2004, Fundamentals of soil ecology. USA: Academic press
- Crawford, R., L., 1981, Lignin biodegradation and transformation. New York, Wiley-Interscience
- Çakır, M., ve Makineci, E., 2022, Meşe ve kayın meşcerelerinde toprak ve ölü örtü mikroeklembacaklı trofik gruplarının zamansal değişimi. *Düzce Üniversitesi Orman Fakültesi Ormancılık Dergisi*, 18(2), 86-100.
- Demir, R., 2021, *baltalık işletmesinde traşlama kesiminin üst toprağın bazı hidro-fiziksel özellikleri ve otsu vejetasyon üzerindeki etkisi*, Yüksek lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Devi, NB., ve Yadava, PS., 2006 Seasonal dynamics in soil microbial biomass C, N and P in a mixed-oak forest ecosystem of Manipur, North-east India. *Applied Soil Ecology*, 31: 220–227.
- Diaz-Ravina, M., Acea, M. J. ve Carballas, T., 1995, Seasonal changes in microbial biomass and nutrient flush in forest soils, *Biology and Fertility of Soils*, 19(2), 220-226.
- Jenkinson, D. ve Ladd, J., 1981. Microbial biomass in soil measurement and turnover, *Soil biochemistry*, 5, 415-471.

Donnelly, P. K., Entry, J. A., Crawford, D. L., ve Cromack, K., 1990, Cellulose and lignin degradation in forest soils: response to moisture, temperature, and acidity. *Microbial ecology*, 20, 289-295.

Doube, B. M., ve Gupta, V. V. S. R., 1997, Biological indicators of soil health: synthesis. *Biological indicators of soil health*. Pankhurst, CE; Doube, BM; Gupta, VVSR. Eds. CAB International, 419-435.

Ertan, E., 1979, *Belgrad ormanındaki meşe ve kayın ekosistemlerinin bazı önemli kimyasal ve fiziksel toprak özelliklerine ilişkin araştırmalar*, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi.

ERTAŞ, A., 2007, *Baltalık işletmesinin meşçere kuruluşu üzerindeki etkileri*, ZKÜ Bartın Orman Fakültesi Dergisi, 9 (12), 35-47.

George, E., ve Marschner, H., 1996, nutrient and water uptake by roots of forest trees, *Journal of Plant Nutrient end Soil Science*, 159, 11–21.

Gregorich, E. G., Carter, M. R., Angers, D. A., Monreal, C., ve Ellert, B. H., 1994, Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils. *Canadian journal of soil science*, 74(4), 367-385.

Gordon, W. S., ve Jackson, R. B., 2000, Nutrient concentrations in fine roots. *Ecology*, 81(1), 275-280.

Harmon, M. E., Baker, G. A., Spycher, G., ve Greene, S. E., 1990, Leaf-litter decomposition in the Picea/tsuga forests of Olympic National Park, Washington, USA. *Forest Ecology and Management*, 31(1-2), 55-66.

Harmon, M.E., W.L. Silver, B. Fasth, H. Chen, I.C. Burke, W.J. Parton, S.C. Hart, and

W.S. Currie., 2009, Long-term patterns of mass loss during the decomposition of leaf and fine root litter: an intersite comparison, *Global Change Biology* 15 :1320–1338.

Hendrick R.I. ve Pregitzer K.S., 1993, Patterns of fine root mortality in two sugar maple forests. *Nature*, 361(6407), 59-61.

Hobbie, S. E., Oleksyn, J., Eissenstat, D. M., ve Reich, P. B., 2010, Fine root decomposition rates do not mirror those of leaf litter among temperate tree species. *Oecologia*, 162, 505-513.

Houghton, J., 2005, Global warming, *Reports On Progress In Physics* ,68,1343-1403.

- Janssens, I. A., Sampson, D. A., Curiel-Yuste, J., Carrara, A., and Ceulemans, R., 2002, The carbon cost of fine root turnover in a Scots pine forest. *Forest ecology and management*, 168(1-3), 231-240.
- Kara, Ö., Bolat, İ., Çakıroğlu, K., ve 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.
- KARAÖZ, M. Ö. 1992. Yaprak ve Ölü Örtü Analiz Yöntemleri. *İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi*, B-42, 1-2: 57-71.
- Kantarcı, D. ve Tolunay, D., 1996, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Eğitim ve Araştırma Ormanı'nda toprak ve yetiştirme ortamı özelliklerinin belirlenmesi ve haritalanması (Ada 538, Parsel 59, 393 ha), İ.Ü. Araştırma Fonu Projesi, Proje No:640/210994
- Krämer, S., ve Green, D. M., 2000, Acid and alkaline phosphatase dynamics and their relationship to soil microclimate in a semiarid woodland. *Soil biology and .biochemistry*, 32(2), 179-188.
- Konings, H., Verhoeven, J. T. A. ve Groot, R., 1992, Growth characteristics and seasonal allocation patterns of biomass and nutrients in *Carex* species growing in floating fens, *Plant Soil*, 147: 183–196.
- Laclau, P., 2003, Root biomass and carbon storage of ponderosapine in a northwest Patagonia plantation, *Forest Ecology and Management*, 173, 353-360.
- Lee, N.-y., Koo, J.-W., Noh, N. J., Kim, J. ve Son, Y., 2010. Autotrophic and heterotrophic respiration in needle fir and *Quercus*-dominated stands in a cool-temperate forest, central Korea, *Journal of plant research*, 123(4), 485-495.
- Lai, Z., Zhang, Y., Liu, J., Wu, B., Qin, S., ve Fa, K., 2016, Fine-root distribution, production, decomposition, and effect on soil organic carbon of three revegetation shrub species in northwest China. *Forest Ecology and Management*, 359, 381-388.
- Liu, Y., Wang, G., Yu, K., Li, P., Xiao, L., ve Liu, G., 2018, A new method to optimize root order classification based on the diameter interval of fine root. *Scientific reports*, 8(1), 2960.

Liu, Q., Zhuang, L., Yin, R., Ni, X., You, C., Yue, K., Tan B., Liu, Y., Zhang L., ve Xu, Z., 2019, Root diameter controls the accumulation of humic substances in decomposing root litter. *Geoderma*, 348, 68-75.

Makineci, E., 2004, Meşe (*Quercus frainetto* Ten.) baltalık ormanında bakım kesimlerinin ölü örtü ve üst toprakların bazı özelliklerine etkileri, *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 54-A (1), 55-77.

Makineci, E., 1999, *İ. Ü. Orman Fakültesi Araştırma Ormanındaki baltalıkların koruya dönüştürülmesi işlemlerinin ölü örtü ve topraktaki azot değişimine etkileri*, Doktora, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Mauri, A., Enescu, C. M., Houston Durrant, T., De Rigo, D., ve Caudullo, G., 2016, *Quercus frainetto* in Europe: distribution, habitat, usage and threats. *European Atlas of Forest Tree Species. Publ. Off. EU, Luxembourg*, 150-151 .

McClaugherty, C. A., Aber, J. D., ve Melillo, J. M., 1984, Decomposition dynamics of fine roots in forested ecosystems. *Oikos*, 378-386.

McCormack, M. L., Dickie, I. A., Eissenstat, D. M., Fahey, T. J., Fernandez, C. W., Guo, D., ... ve Zadworny, M. , 2015, Redefining fine roots improves understanding of below-ground contributions to terrestrial biosphere processes *New Phytologist*, 207(3), 505-518.

Mehmood I., Bari A., Irshad S., Khalid F., Liaqat S., Anjum H., Fahad S., 2020, *arbon cycle in response to global warming, environment, Climate, Plant And Vegetation Growth*, Mehmood I., Bari A., Irshad S., Khalid F., Liaqat S., Anjum H., Fahad S., C., 1, Springer, ISBN:978-3-030-49731-6 ISBN 978-3-030-49732-3, 1-17.

OGM, 2006, *Orman varlığımız*, T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Orman Genel Müdürlüğü, Ankara.

OGM, 2012, *Türkiye Orman Varlığı*, T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Orman Genel Müdürlüğü, Ankara.

OGM, 2022. Ormancılık İstatistikleri ,2022, Ankara: Orman Genel Müdürlüğü [Ziyaret Tarihi: 14.02.2024]

Prescott, C., Godbold, D. L., Helmisaari, H. S., ve Addo-Danso, S. D., 2016, Introduction to forests, roots and soil carbon. *Forest Ecology and Management*, 359, 321.

- Rowland, A. P., ve Roberts, J. D., 1994, Lignin and cellulose fractionation in decomposition studies using acid-detergent fibre methods. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 25(3-4), 269-277.
- Powlson, D. S., Prookes, P. C., ve Christensen, B. T., 1987, Measurement of soil microbial biomass provides an early indication of changes in total soil organic matter due to straw incorporation. *Soil biology and biochemistry*, 19(2), 159-164.
- Sarıyıldız, T., Acar, M., ve Küçük, M., 2010, Kök ayrışma seyri üzerinde ağaç türünün ve topografyanın etkisi, III. Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi, 3 ,1056-1066.
- See, C. R., Luke McCormack, M., Hobbie, S. E., Flores-Moreno, H., Silver, W. L., ve Kennedy, P. G., 2019, Global patterns in fine root decomposition: climate, chemistry, mycorrhizal association and woodiness. *Ecology Letters*, 22(6), 946-953.
- Sikkema, R., Caudullo, G., ve De Rigo, D., 2016, *Carpinus betulus* in Europe: distribution, habitat, usage and threats. *European Atlas of Forest Tree Species*, 73-75.
- Sun, T., Hobbie, S. E., Berg, B., Zhang, H., Wang, Q., Wang, Z., ve Hättenschwiler, S. , 2018, Contrasting dynamics and trait controls in first-order root compared with leaf litter decomposition. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(41), 10392-10397.
- Swift, M. J., Heal, O. W., Anderson, J. M., ve Anderson, J. M. ,1979, *Decomposition in terrestrial ecosystems* , 5, Univ of California Press.
- Smith, S. W., Woodin, S. J., Pakeman, R. J., Johnson, D., ve Van Der Wal, R. 2014, Root traits predict decomposition across a landscape-scale grazing experiment , *New Phytologist*, 203, 851–862.
- Solly, E. F., Schöning, I., Boch, S., Kandeler, E., Marhan, S., Michalzik, B., Müller, J., Zscheischler J., Trumbore, S.E., ve Schrumpf, M., 2014, Factors controlling decomposition rates of fine root litter in temperate forests and grasslands. *Plant and Soil*, 382, 203-218.
- Strand, A. E., Pritchard, S. G., McCormack, M. L., Davis, M. A. ve Oren, A. (2008), Irreconcilable differences: Fine-root lifespans and soil carbon persistence. *Science*, 319, 456-458.

Talbot JM. ve Treseder KK., 2012, Interactions among lignin, cellulose, and nitrogen drive litter chemistry-decay relationships. *Ecology* 93:345–354

Tefs, C., ve Gleixner, G., 2012, Importance of root derived carbon for soil organic matter storage in a temperate old-growth beech forest–Evidence from C, N and ¹⁴C content, *Forest Ecology and Management*, 263, 131-137.

Thomas, F. M., Molitor, F., ve Werner, W., 2014, Lignin and cellulose concentrations in roots of Douglas fir and European beech of different diameter classes and soil depths. *Trees*, 28, 309-315.

Tüfekçioğlu, A., ve Küçük, M., 2010, Saf sarıçam meşcerelerinde kök kütlesi, kök üretimi ve kök karbon depolama miktarlarının yaş sınıflarına göre değişimi, III. Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi, 3,1030-1037.

Ugawa, S., Miura, S., Iwamoto, K., Kaneko, S. ve Fukuda, K.,2010, Vertical patterns of fine root biomass, morphology and nitrogen concentration in a subalpine fir-wave forest. *Plant Soil*, 335, 469-478.

Usman, S., Singh, S. P., Rawat, Y. S., ve Bargali, S. S., 2000, Fine root decomposition and nitrogen mineralisation patterns in *Quercus leucotrichophora* and *Pinus roxburghii* forests in central Himalaya. *Forest Ecology and Management*, 131(1-3), 191-199.

Usman, S., 2002. Production and decomposition of fine roots in central Himalayan forest species. *Journal of Tropical Forest Science*, 14 (1), pp. 26-34.

ÜRGENÇ, S., ÇEPEL, N. 2001. *Ağaçlandırmalar için Tür Seçimi, Tohum Ekimi ve Fidan Dikiminin Pratik Esasları*. TEMA Vakfı Yayınları: 33, Safa Tanıtım Matbaacılık Ltd. Şti.İstanbul.

Vogt, K.A., Vogt, D.J., and Bloomfield, J., 1998, Analysis of some direct and indirect methods for estimating root biomass and production of forests at an ecosystem level, *Plant Soil*, 200, 71–89.

Wang, A. S., Angle, J. S., Chaney, R. L., Delorme, T. A., ve McIntosh, M., 2006, Changes in soil biological activities under reduced soil pH during *Thlaspi caerulescens* phytoextraction. *Soil Biology and Biochemistry*, 38(6), 1451-1461

Waring, R.H., Schlesinger, W.H., 1985, Forest Ecosystems: Concepts and Management. Academic Press, San Diego, California.

Xiao, C., Yang, F., Liu, J., Zhou, Y., Su, J., Liang, Y., and Pei, Z., 2017, Advances in input and output processes of below-ground carbon of terrestrial ecosystems, *Chinese Bulletin of Botany*, 52(5), 652-668

Xu, Y., Huang, R., Zhou, B., ve Ge, X., 2022, Fine-root decomposition and nutrient return in moso bamboo (*Phyllostachys pubescens* J. Houz.) plantations in southeast China. *Frontiers in Plant Science*, 13, 735359.

Yaltırık, F. 1984, *Türkiye Meşeleri Teşhis Kılavuzu*. Yenilik Basımevi, İstanbul.

Yaltırık, F., Efe, A., 2000, *Dendroloji*, Çantay Yayın, İstanbul, ISBN: 975- 404- 594 – 1.

Yuan, B.-C., Li, Z.-Z., Liu, H., Gao, M. ve Zhang, Y.-Y., 2007. Microbial biomass and activity in salt affected soils under arid conditions, *Applied soil ecology*, 35(2), 319-328.

Yurdabak, C., 2006, *Belgrad ormanında meşe ağaçlarında görülen kurumaların nedenleri üzerine araştırmalar*, Yüksek lisans tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Zewdie, S., Fetene, M. ve Olsson, M., 2008, Fine root vertical distribution and temporal dynamics in mature stands of twoenstet (*Enset ventricosum* Welw Cheesman) clones, *Plant Soil*, 305, 227-236.

Zimmermann, S., Frey, B. 2002. Soil respiration and microbial properties in an acid forest soil: effects of wood ash. *Soil Biology and Biochemistry*, 34, 11: 1727- 1737.

Zhang, X., Wu, C., Mei, L., Han, Y., ve Wang, Z., 2006, Root decomposition and nutrient release of *Fraxinus manshurica* and *Larix gmelinii* plantations, *Chinese Journal of Applied Ecology*, 17 (8), 1370-1376.

- Zhang, D., Hui, D., Luo, Y., ve Zhou, G., 2008, Rates of litter decomposition in terrestrial ecosystems: global patterns and controlling factors. *Journal of Plant Ecology*, 1(2), 85-93.
- Zhang, C. B., Chen, L. H., ve Jiang, J., 2014, Why fine tree roots are stronger than thicker roots: The role of cellulose and lignin in relation to slope stability. *Geomorphology*, 206, 196-202.
- Zhang L., ve Zhang, S., 2018, Turang pH zhidui lvhuashu shengzhang de yingxiang (Chinese) [Effects of soil pH on the growth of green trees] [PhD thesis]. Jiangxi Agriculture , (16): 92, 97.
- Zhao, J., Liang, Y., Liu, Y., Wang, Y., Yang, Q., ve Xiao, C. 2022, Fine root turnover law and influencing factors in forest ecosystem. *Sustainable Forestry*, 5(2), 75-85.



