

**T.C.
ARTVİN ÇORUH ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ORMAN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ARTVİN YÖRESİ KAYIN VE LADİN MEŞCERELERİNDE TOPRAK
SOLUNUMUNUN KÖK VE MİKROORGANİZMA BİLEŞENLERİNİN
BELİRLENMESİ**

DOKTORA TEZİ

Musa AKBAŞ

**Danışman
Prof. Dr. Aydın TÜFEKÇİOĞLU**

ARTVİN-2020

**T.C.
ARTVİN ÇORUH ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ORMAN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ARTVİN YÖRESİ KAYIN VE LADİN MEŞCERELERİNDE TOPRAK
SOLUNUMUNUN KÖK VE MİKROORGANİZMA BİLEŞENLERİNİN
BELİRLENMESİ**

DOKTORA TEZİ

Musa AKBAŞ

**Danışman
Prof. Dr. Aydın TÜFEKÇİOĞLU**

ARTVİN-2020

TEZ BEYANNAMESİ

Artvin oruh Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsüne Doktora Tezi olarak sunduğum “Artvin Yöresi Kayın ve Ladin Meşcerelerinde Toprak Solunumunun Kök ve Mikroorganizma Bileşenlerinin Belirlenmesi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Aydın TüFEKçİOğLU’nun sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 03/12/2020

Musa AKBAş

T.C.
ARTVİN ÇORUH ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ORMAN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ARTVİN YÖRESİ KAYIN VE LADİN MEŞCERELERİNDE TOPRAK
SOLUNUMUNUN KÖK VE MİKROORGANİZMA BİLEŞENLERİNİN
BELİRLENMESİ**

Musa AKBAŞ

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 26/10/2020

Tezin Sözlü Savunma Tarihi : 03/12/2020

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Aydın TÜFEKÇİOĞLU

Jüri Üyesi : Doç. Dr. Nurcan ALBAYRAK İSKENDER

Jüri Üyesi : Dr. Öğr. Üyesi Mehmet KÜÇÜK

Jüri Üyesi : Prof. Dr. Ömer KARA

Jüri Üyesi : Prof. Dr. Temel SARIYILDIZ

ONAY:

Bu Doktora Tezi, Artvin Çoruh Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulunca belirlenen yukarıdaki jüri üyeleri tarafından 03/12/2020 tarihinde uygun görülmüş ve Enstitü Yönetim Kurulu'nun .../.../..... tarih ve sayılı kararıyla kabul edilmiştir.

.../.../.....

Doç. Dr. Hamit ŞAFAKÇI
Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

“Artvin Yöresi Kayın ve Ladin Meşcerelerinde Toprak Solunumunun Kök ve Mikroorganizma Bileşenlerinin Belirlenmesi” konusunda yapılan bu çalışma; Artvin Çoruh Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Orman Mühendisliği Anabilim Dalında doktora tezi olarak hazırlanmıştır.

Bu araştırma için beni yönlendiren, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrübesi ile aşmamda yardımcı olan değerli Danışman Hocam Aydın TÜFEKÇİOĞLU’na teşekkürlerimi sunarım. Laboratuvar analizlerinde ve arazide örnekleme çalışmalarında yardımcı olan değerli hocam Mehmet KÜÇÜK’e ve mesai arkadaşım Ahmet DUMAN’a teşekkür ederim.

Tezin yazım aşamasında yardımlarını esirgemeyen mesai arkadaşım Saim YILDIRIMER’e, arazi çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen arkadaşlarım Canan AÇIKGÖZ HARŞİT, Mustafa FİLİZ ve Süleyman DEMİR’e teşekkür ederim.

Tez çalışmalarım boyunca hem destek olarak hem de fedakârlıklarıyla yanımda olan eşime ve aileme çok teşekkür ederim.

Araştırmanın bilimsel ve teknik açıdan uygulayıcılara faydalı olmasını dilerim.

Musa AKBAŞ
Artvin - 2020

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
TEZ BEYANNAMESİ	I
ÖNSÖZ.....	III
İÇİNDEKİLER	IV
ÖZET.....	VIII
SUMMARY.....	IX
TABLolar DİZİNİ	X
ŞEKİLLER DİZİNİ	XIII
KISALTMALAR DİZİNİ.....	XXII
1 GİRİŞ.....	1
1.1 Toprak Mikroorganizmaları.....	2
1.2 Toprakaltı Kök Sistemleri	3
1.3 Karbon Döngüsü ve Toprak Karbonu.....	4
1.4 Toprak Solunumu	7
1.5 Toprak Solunumunun Bileşenlerine Ayrılması.....	11
1.6 Literatür Çalışması	14
2 MATERYAL VE YÖNTEM	30
2.1 Materyal	30
2.1.1 Mevki	30
2.1.2 Topoğrafya	31
2.1.3 İklim	34
2.1.4 Jeolojik Yapı ve Genel Toprak Özellikleri.....	38
2.1.5 Bitki örtüsü	45
2.2 Yöntem	47
2.2.1 Hazırlık Çalışmaları	47
2.2.2 Arazi Çalışmaları.....	51
2.2.3 Laboratuvar Çalışmaları	53
2.2.4 Verilerin Değerlendirilmesi ve Analizi	61
3 BULGULAR	63
3.1 Toprak Tekstürüne İlişkin Bulgular	63
3.2 Toprak Reaksiyonuna (pH) İlişkin Bulgular	64

3.3	Toprak Organik Maddesine İlişkin Bulgular	66
3.4	Kök Biyokütlesine İlişkin Bulgular.....	68
3.4.1	2018 Yılına İlişkin Bulgular.....	68
3.4.2	2019 yılına ilişkin bulgular	72
3.5	Toprakta Mikrobiyal Karbona İlişkin Bulgular.....	75
3.6	Toprak Organik Karbonuna İlişkin Bulgular.....	78
3.7	Toprakta Toplam Karbona İlişkin Bulgular.....	80
3.8	Toprakta Mikrobiyal Azota İlişkin Bulgular	82
3.9	Toprakta Mineral Azota İlişkin Bulgular.....	85
3.10	Toprakta Toplam Azota İlişkin Bulgular	87
3.11	Toprakta C_M/C_O Yüzdesine İlişkin Bulgular	89
3.12	Toprakta C_M/N_M Oranına İlişkin Bulgular	92
3.13	Toprakta N_M/N_T Yüzdesine İlişkin Bulgular	95
3.14	Toprakta Mikrobiyal (Bazal) Solunuma İlişkin Bulgular.....	97
3.15	Toprakta Metabolik Katsayıya (qCO_2) İlişkin Bulgular.....	99
3.16	Toprak Sıcaklığına İlişkin Bulgular	102
3.16.1	2018 Yılına İlişkin Bulgular.....	102
3.16.2	2019 Yılına İlişkin Bulgular.....	105
3.17	Toprak Nemine İlişkin Bulgular.....	108
3.17.1	2018 Yılına İlişkin Bulgular.....	108
3.17.2	2019 Yılına İlişkin Bulgular.....	111
3.19	Toprak CO_2 Salınımına İlişkin Bulgular	114
3.19.1	2018 Yılına İlişkin Bulgular.....	114
3.19.2	2019 Yılına İlişkin Bulgular.....	117
3.20	Toprak Solunumu ve Bileşenlerine İlişkin Bulgular	120
3.20.1	2018 Yılına İlişkin Bulgular.....	120
3.20.2	2019 Yılına İlişkin Bulgular.....	125
3.21	Genel Ortalamalara İlişkin Bulgular	130
3.22	Korelasyon Analizine İlişkin Bulgular	131
3.22.1	Kayın Sahasında Kontrol Alanı Toprak Özelliklerinin Korelasyonu	132
3.22.2	Kayın Sahasında Uygulama Alanı Toprak Özelliklerinin Korelasyonu	134
3.22.3	Ladin Sahasında Kontrol Alanı Toprak Özelliklerinin Korelasyonu.....	136
3.22.4	Ladin Sahasında Uygulama Alanı Toprak Özelliklerinin Korelasyonu.....	138

3.22.5	2019 Yılına İlişkin Korelasyon Analizi Bulguları	140
3.23	Regresyon Analizine İlişkin Bulgular	142
3.23.1	Toprak Solunumu ve Bileşenlerinin Toprak Sıcaklığı İle İlişkileri	142
3.23.2	Toprak Solunumu ve Bileşenlerinin Toprak Nemi İle İlişkileri	145
3.23.3	Toprak Solunumu ve Bileşenlerinin Mikrobiyal (Bazal) Solunum İle İlişkileri	148
3.23.4	Toprak Solunumu ve Bileşenlerinin Mikrobiyal Karbon ile İlişkileri	148
3.23.5	Toprak Solunumu ve Bileşenlerinin Mikrobiyal Azot ile İlişkileri	150
3.23.6	Toprak Solunumu ve Bileşenlerinin Mineral Azot ile İlişkileri.....	151
3.23.7	Toprak Solunumu ve Bileşenlerinin Organik Karbon ile İlişkileri	154
3.23.8	Toprak Solunumu ve Bileşenlerinin Toprak pH'sı ile İlişkileri.....	154
3.23.9	Toprak Solunumu ve Bileşenlerinin Kılcal Kök Kütle ile İlişkileri.....	156
3.23.10	Toprak Solunumu ve Bileşenlerinin Toplam Azot ile İlişkileri	156
3.23.11	Toprak Solunumu ve Bileşenlerinin Kil İçeriği ile İlişkileri	157
3.23.12	Toprak Solunumu ve Bileşenlerinin Metabolik Katsayı ile İlişkileri	158
3.23.13	Toprak Solunumu ve Bileşenlerinin Bazı Toprak Özellikleri ile İlişkileri	158
3.23.14	2019 Yılına İlişkin Regresyon Analizi Bulgular	160
4	TARTIŞMA.....	164
4.1	Toprak Tekstürü.....	164
4.2	Toprak Reaksiyonu.....	164
4.3	Toprak Organik Maddesi.....	166
4.4	Kök Biyokütlesi.....	166
4.5	Toprak Mikrobiyal Karbonu.....	170
4.6	Toprak Organik Karbonu.....	172
4.7	Toprak Toplam Karbonu.....	174
4.8	Toprakta Mikrobiyal Azot	175
4.9	Toprakta Mineral Azot.....	177
4.10	Toprakta Toplam Azot	178
4.11	C_M/C_O Yüzdesi	179
4.12	C_M/N_M Oranı	181
4.13	N_M/N_T Yüzdesi	182
4.14	Toprakta Mikrobiyal (Bazal) Solunum.....	183

4.15	Metabolik Katsayı (qCO_2).....	185
4.16	Toprak Sıcaklığı	186
4.17	Toprak Nemi.....	187
4.18	Toprak Solunumu ve Bileşenleri	188
5	SONUÇ VE ÖNERİLER.....	201
6	KAYNAKLAR	207
	ÖZGEÇMİŞ.....	230



ÖZET

ARTVİN YÖRESİ KAYIN VE LADİN MEŞCERELERİNDE TOPRAK SOLUNUMUNUN KÖK VE MİKROORGANİZMA BİLEŞENLERİNİN BELİRLENMESİ

Toprak solunumu, karasal ekosistemlerden çıkan karbon için ana yoldur ve karbonu alıkoyan bitki metabolizmasının ototrofik süreci ile toprak sıcaklık veya nemine tepki vererek organik substratları işleyen heterotrofik bir sürecin sonucudur. Bu çalışmanın amacı Doğu kayını ve Doğu ladini meşcerelerinde; toprak solunumunu ve bunun kök ve mikroorganizma bileşenlerini belirlemek; biyojeokimyasal ve çevresel faktörler ile solunumun ilişkisini incelemektir. Bu amaçla, Artvin Saçinka mevkiinde bulunan kayın meşcerelerinde ve Kafkasör mevkiinde bulunan ladin meşcerelerinde; solunum bileşenlerini ayırmak için 2017 yılı yazında hendek açma uygulaması yapılmıştır. Uygulamadan sonra 6 ay geçince ölçümlere başlanılmış ve 2018 yılında Nisan'dan Kasım'a kadar aylık toprak solunumu, sıcaklığı ve nemi ölçümleri, mevsimsel toprak (0-10 cm) ve kök (0-30 cm) örnekleme, 2019 yılında ise sadece solunum, sıcaklık, nem ölçümleri ile kök örnekleme yapılmıştır. Alınan toprak örneklerinde tekstür, toprak reaksiyonu, organik madde, mineral azot, mikrobiyal biyokütle, toplam karbon ve azot, mikrobiyal bazal solunum analizleri yapılmıştır. Topraktan karbon salınımı değerleri çalışma genelinde $0,38 - 7,56 \mu \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ arasında değişim göstermiştir. Toplam toprak solunumuna kök ve mikroorganizma bileşenlerinin ortalama katkısı kayın sahasında ilk yılda sırasıyla % 57,6 ve % 42,4 ve ikinci yılda sırasıyla % 60,05 ve % 39,95 olarak bulunmuştur. Ladin sahasında ise ilk yılda yine sırasıyla % 41,7 ve % 58,3 ve ikinci yılda sırasıyla % 49,96 ve % 50,04 olarak bulunmuştur. Toprak solunumunun toprak sıcaklığı ve mineral azot ile oldukça kuvvetli pozitif korelasyonları bulunmuştur. Toprak sıcaklığı, toprak nemi ve diğer fiziksel, kimyasal ve biyolojik toprak özellikleri, anlamlı olarak toprak solunumundaki değişimin büyük (%60-70) kısmını açıklamıştır. Sonuç olarak, toprak solunumu ve bileşenleri türe ve mevsimlere göre değişmiştir ve bunların toprak sıcaklığı yanı sıra topraktaki biyolojik ve kimyasal faktörler ile ilişkili olduğu söylenebilir.

Anahtar Kelimeler: Toprak solunumu, Hendek açma, Kök solunumu, Heterotrofik solunum, Doğu ladini, Doğu kayını, Karbon

SUMMARY

DETERMINATION OF ROOT AND MICROORGANISM COMPONENTS OF SOIL RESPIRATION IN BEECH AND SPRUCE STANDS IN ARTVIN AREA

Soil respiration is the major pathway for carbon from terrestrial ecosystems and is the result of a heterotrophic process that handles organic substrates by reacting to soil temperature or moisture together with an autotrophic process of plant metabolism that sequesters carbon. The aim of this study is to determine soil respiration and its root and microorganism components and to examine the relationship between biogeochemical and environmental factors and respiration in Oriental beech and Oriental spruce stands. For this purpose, in beech stands in Saçinka region and spruce stands in Kafkasör region in Artvin; trenching was carried out in order to separate respiration components in summer of 2017. Measurements started 6 months after from trenching. Monthly soil respiration, temperature and moisture measurements, seasonal soil (0-10 cm) and root (0-30 cm) sampling were done, from April to November 2018, and only respiration, temperature and moisture measurements and root sampling were done in 2019. Texture, soil reaction, organic matter, mineral nitrogen, microbial biomass, total carbon and nitrogen, microbial basal respiration analyzes were performed in the collected soil samples. The values of carbon emission from the soil varied between 0.38 - 7.56 $\mu \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ across the study. The average contribution of root and microorganism components to total soil respiration were found to be 57.6% and 42.4%, respectively in the first year and 60.05% and 39.95%, respectively in the second year, for the beech field. For the spruce field, they were found 41.7% and 58.3%, respectively in the first year and 49.96% and 50.04%, respectively in the second year. Very strong positive correlations of soil respiration with soil temperature and mineral nitrogen were found. Soil temperature, soil moisture, and other bio-physical-chemical soil properties significantly explained the major (60-70%) change in soil respiration. As a result, soil respiration and its components varied by species and seasons, and it can be said that they were related to soil temperature as well as bio-chemical factors in the soil.

Keywords: Soil respiration, Trenching, Root respiration, Heterotrophic respiration, Oriental Spruce, Oriental Beech, Carbon

TABLÖLAR DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1. Artvin Meteoroloji İstasyonu'nun 1949-2018 (70 yıllık) yılları arasındaki bazı iklim verileri	37
Tablo 2. Her iki türün sahalarında deneme alanlarındaki toprakların tane boyutu bakımından içeriklerinin tanımlayıcı değerleri.	63
Tablo 3. Her iki türün sahalarında deneme alanlarındaki toprakların pH'sının tanımlayıcı değerleri.....	65
Tablo 4. Her iki türün sahalarında deneme alanlarındaki toprakların organik madde içeriğinin tanımlayıcı değerleri.....	67
Tablo 5. Her iki türün sahalarında deneme alanlarındaki toprakaltı kılcal (<2 mm) ve ince (2-5 mm) kök kütle miktarının tanımlayıcı değerleri	69
Tablo 6. 2019 yılı için her iki türün sahalarında deneme alanlarındaki toprakaltı kılcal (<2 mm) ve ince (2-5 mm) kök kütle miktarının tanımlayıcı değerleri.....	72
Tablo 7. Her iki türün sahalarında deneme alanlarındaki toprakların mikrobiyal karbon içeriğinin tanımlayıcı değerleri.	76
Tablo 8. Her iki türün sahalarında deneme alanlarındaki toprakların organik karbon içeriğinin tanımlayıcı değerleri.	78
Tablo 9. Her iki türün sahalarında deneme alanlarındaki toprakların toplam karbon içeriğinin tanımlayıcı değerleri.	80
Tablo 10. Her iki türün sahalarında deneme alanlarındaki toprakların mikrobiyal azot içeriğinin tanımlayıcı değerleri.....	83
Tablo 11. Her iki türün sahalarında deneme alanlarındaki toprakların mineral azot içeriğinin tanımlayıcı değerleri.	85
Tablo 12. Her iki türün sahalarında deneme alanlarındaki toprakların toplam azot içeriğinin tanımlayıcı değerleri.	88
Tablo 13. Her iki türün sahalarında deneme alanlarındaki toprakların C_M/C_O yüzdesinin tanımlayıcı değerleri.	90
Tablo 14. Her iki türün sahalarında deneme alanlarındaki toprakların C_M/N_M yüzdesinin tanımlayıcı değerleri.	93

Tablo 15. Her iki türün sahalarında deneme alanlarındaki toprakların N_M/N_T yüzdesinin tanımlayıcı değerleri	95
Tablo 16. Her iki türün sahalarında deneme alanlarındaki toprakların mikrobiyal (bazal) solunum miktarının tanımlayıcı değerleri	98
Tablo 17. Her iki türün sahalarında deneme alanlarındaki toprakların belirlenen metabolik katsayı miktarının tanımlayıcı değerleri.....	100
Tablo 18. Her iki türün sahalarında deneme alanlarındaki toprakların sıcaklığının tanımlayıcı değerleri.....	102
Tablo 19. Her iki türün sahalarında 2019 yılı için deneme alanlarındaki toprakların sıcaklığının tanımlayıcı değerleri	105
Tablo 20. Her iki türün sahalarında deneme alanlarındaki toprakların nem içeriğinin tanımlayıcı değerleri.	108
Tablo 21. Her iki türün sahalarında 2019 yılı için deneme alanlarındaki toprakların nem içeriğinin tanımlayıcı değerleri	111
Tablo 22. Her iki türün sahalarında deneme alanlarındaki toprakların CO_2 salınımının tanımlayıcı değerleri.....	114
Tablo 23. Her iki türün sahalarında 2019 yılı için deneme alanlarındaki toprakların CO_2 salınımının tanımlayıcı değerleri.....	117
Tablo 24. Her iki türün sahalarında topraklarda kök ve mikroorganizma bileşenleri solunumunun tanımlayıcı değerleri.	120
Tablo 25. Kayın ve ladin sahalarında toplam toprak solunumu ile kök ve mikroorganizma bileşenlerinin aylık toplam miktarlarının değişimi ve 8 ayın sonundaki toplam miktarları.....	122
Tablo 26. Her iki türün sahalarında topraklarda 2019 yılı için kök ve mikroorganizma bileşenleri solunumunun tanımlayıcı değerleri.	125
Tablo 27. 2018 yılında toplam toprak solunumu ve bileşenlerinin kayın ve ladin sahalarında değişimi.	130
Tablo 28. 2018 yılında belirlenen toprak özelliklerinin kayın ve ladin sahalarında uygulama ve kontrole göre değişimi ve kontrole kıyasla değişim yüzdeleri.	130
Tablo 29. 2019 yılında belirlenen toprak özelliklerinin kayın ve ladin sahalarında uygulama ve kontrole göre değişimi	131
Tablo 30. 2018 yılında toplam toprak solunumu ve bileşenlerinin kayın ve ladin	

sahalarında değişimi.	131
Tablo 31. Kayın sahası kontrol alanı topraklarına ait bazı özellikler ve aralarındaki ilişkiyi ve analize giren veri sayısını gösteren basit korelasyon matrisi.	133
Tablo 32. Kayın sahası uygulama alanı topraklarına ait bazı özellikler ve aralarındaki ilişkiyi ve analize giren veri sayısını gösteren basit korelasyon matrisi.....	135
Tablo 33. Ladin sahası kontrol alanı topraklarına ait bazı özellikler ve aralarındaki ilişkiyi ve analize giren veri sayısını gösteren basit korelasyon matrisi.	137
Tablo 34. Ladin sahası uygulama alanı topraklarına ait bazı özellikler ve aralarındaki ilişkiyi ve analize giren veri sayısını gösteren basit korelasyon matrisi.....	139
Tablo 35. 2019 yılı için kayın sahası kontrol alanı topraklarına ait bazı özellikler ve aralarındaki ilişkiyi ve analize giren veri sayısını gösteren basit korelasyon matrisi	140
Tablo 36. 2019 yılı için kayın sahası uygulama alanı topraklarına ait bazı özellikler ve aralarındaki ilişkiyi ve analize giren veri sayısını gösteren basit korelasyon matrisi.....	141
Tablo 37. 2019 yılı için ladin sahası kontrol alanı topraklarına ait bazı özellikler ve aralarındaki ilişkiyi ve analize giren veri sayısını gösteren basit korelasyon matrisi	141
Tablo 38. 2019 yılı için ladin sahası uygulama alanı topraklarına ait bazı özellikler ve aralarındaki ilişkiyi ve analize giren veri sayısını gösteren basit korelasyon matrisi	142

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Karasal ekosistemde karbonun alıkonulması ve döngüsündeki süreçler ve bunlarda rol alan öğeler (Ryan ve Law (2005)'dan değiştirilerek)	5
Şekil 2. Küresel karbon döngüsünde karbonun depolanması ve salınması (URL-2, 2020).....	6
Şekil 3. Artvin ili ve ülkedeki konumu	30
Şekil 4. Kayın (A) ve ladin (B) sahalarının mevkileri ve Artvin il merkezine göre konumları	31
Şekil 5. Kayın sahasının bulunduğu havzanın topoğrafik haritası	32
Şekil 6. Ladin sahasının bulunduğu havzanın topoğrafik haritası	33
Şekil 7. Artvin Meteoroloji İstasyonu'ndan 70 yılın ortalaması, 2018 ve 2019 yılları için aylık ve yıllık ortalama sıcaklık değerleri.....	35
Şekil 8. Thornthwaite yöntemine göre Artvin'in su bilançosu grafiği.....	36
Şekil 9. Artvin Meteoroloji İstasyonu'ndan 70 yılın ortalaması, 2018 ve 2019 yılları için aylık ve yıllık toplam yağış değerleri	37
Şekil 10. Kayın sahasının bulunduğu havzanın jeolojik haritası	39
Şekil 11. Ladin sahasının bulunduğu havzanın jeolojik haritası.....	40
Şekil 12. Kayın sahasında açılmış bir toprak profili.	44
Şekil 13. Ladin sahasında açılmış bir toprak profili	45
Şekil 14. Kayın sahasında deneme alanlarının belirlenmesi.....	47
Şekil 15. Ladin sahasında deneme alanlarının belirlenmesi	48
Şekil 16. Meşcere ve bölme katmanlı e-haritada kayın sahası deneme alanları	49
Şekil 17. Meşcere ve bölme katmanlı e-haritada ladin sahası deneme alanları	49
Şekil 18. Kayın meşceresinde tepe kapallığı ve meşcere yapısı	50
Şekil 19. Ladin meşceresinde tepe kapallığı ve meşcere yapısı	50
Şekil 20. Hendek uygulaması için parsellenen alan ve kazılmış hendek.....	51
Şekil 21. Hendeğin kapatılması ve hazırlanmış uygulama alanı.....	51
Şekil 22. Arazide Li-Cor 8100A cihazı ile solunum ölçümü	52
Şekil 23. Çelik silindir ile alınmış ve poşetlenmiş toprak örneği	52
Şekil 24. Toprak tekstürünün belirlenmesinde kullanılan hidrometre silindirleri ve analiz işlemi.....	53

Şekil 25. Mikrobiyal karbon analizi için ekstrakt eldesi ve ekstraktların yakma için tüplere koyulması	57
Şekil 26. Kök analizi için yıkanmış örneğin ayıklanması.....	60
Şekil 27. Kontrol alanları için kayın ve ladin sahaları arasında toprakların kil içeriği değişimi (Harfler fark gruplarını gösterir, $p<0,005$).	64
Şekil 28. Kayın sahasında toprak pH'sının kontrol ve uygulama alanları arasında ve dönemsel değişimi (Harfler fark gruplarını gösterir, $p<0,005$).	65
Şekil 29. Ladin sahasında toprak pH'sının kontrol ve uygulama alanları arasında ve dönemsel değişimi (Harfler fark gruplarını gösterir, $p<0,005$).	66
Şekil 30. Kontrol alanları için kayın ve ladin sahaları arasında toprakların organik madde içeriği değişimi (Harfler fark gruplarını gösterir, $p<0,005$).	67
Şekil 31. Ladin sahasında toprak organik madde içeriğinin kontrol ve uygulama alanları arasında ve dönemsel değişimi (Harfler fark gruplarını gösterir, $p<0,005$).	68
Şekil 32. Kontrol alanları için kayın ve ladin sahaları arasında toprakaltı kılcal kök (<2 mm) kütle miktarı değişimi (Harfler fark gruplarını gösterir, $p<0,005$).	70
Şekil 33. Kayın sahasında toprakaltı kılcal kök (<2 mm) kütle miktarının kontrol ve uygulama alanları arasında ve dönemsel değişimi (Harfler fark gruplarını gösterir, $p<0,005$).	70
Şekil 34. Ladin sahasında toprakaltı kılcal kök (0-2 mm) kütle miktarının kontrol ve uygulama alanları arasında ve dönemsel değişimi (Harfler fark gruplarını gösterir, $p<0,005$).	71
Şekil 35. Ladin sahasında toprakaltı ince kök (2-5 mm) kütle miktarının kontrol ve uygulama alanları arasında ve dönemsel değişimi (Harfler fark gruplarını gösterir, $p<0,005$).	71
Şekil 36. Kayın sahasında 2019 yılı için toprakaltı kılcal kök (<2 mm) kütle miktarının kontrol ve uygulama alanları arasında ve dönemsel değişimi (Harfler fark gruplarını gösterir, $p<0,005$).	73
Şekil 37. Kayın sahasında 2019 yılı için toprakaltı ince kök (2-5 mm) kütle miktarının kontrol ve uygulama alanları arasında ve dönemsel değişimi (Harfler fark gruplarını gösterir, $p<0,005$).	74
Şekil 38. Ladin sahasında 2019 yılı için toprakaltı kılcal kök (<2 mm) kütle	

miktarının kontrol ve uygulama alanları arasında ve dönemsel değişimi (Harfler fark gruplarını gösterir, $p<0,005$).	75
Şekil 39. Ladin sahasında 2019 yılı için toprakaltı ince kök (2-5 mm) kütle miktarının kontrol ve uygulama alanları arasında ve dönemsel değişimi (Harfler fark gruplarını gösterir, $p<0,005$).	75
Şekil 40. Kontrol alanları için kayın ve ladin sahaları arasında toprakların mikrobiyal karbon içeriği değişimi (Harfler fark gruplarını gösterir, $p<0,005$).	77
Şekil 41. Ladin sahasında toprakta mikrobiyal karbon içeriğinin kontrol ve uygulama alanları arasında ve dönemsel değişimi (Harfler fark gruplarını gösterir, $p<0,005$).	77
Şekil 42. Kontrol alanları için kayın ve ladin sahaları arasında toprakların organik karbon içeriği değişimi(Harfler fark gruplarını gösterir, $p<0,005$).	79
Şekil 43. Ladin sahasında toprakta organik karbon içeriğinin kontrol ve uygulama alanları arasında ve dönemsel değişimi (Harfler fark gruplarını gösterir, $p<0,005$).	79
Şekil 44. Kontrol alanları için kayın ve ladin sahaları arasında toprakların toplam karbon içeriği değişimi.	81
Şekil 45. Kayın sahasında toprakta toplam karbon içeriğinin kontrol ve uygulama alanları arasında ve dönemsel değişimi (Harfler fark gruplarını gösterir, $p<0,005$).	81
Şekil 46. Ladin sahasında toprakta toplam karbon içeriğinin kontrol ve uygulama alanları arasında ve dönemsel değişimi (Harfler fark gruplarını gösterir, $p<0,005$).	82
Şekil 47. Kontrol alanları için kayın ve ladin sahaları arasında toprakların mikrobiyal azot (N_M) içeriği değişimi (Harfler fark gruplarını gösterir, $p<0,005$).	83
Şekil 48. Kayın sahasında toprakta mikrobiyal azot (N_M) içeriğinin kontrol ve uygulama alanları arasında ve dönemsel değişimi (Harfler fark gruplarını gösterir, $p<0,005$).	84
Şekil 49. Ladin sahasında toprakta mikrobiyal azot içeriğinin kontrol ve uygulama alanları arasında ve dönemsel değişimi.	84
Şekil 50. Kontrol alanları için kayın ve ladin sahaları arasında toprakların	

mikrobiyal azot (N_N) içeriği değişimi (Harfler fark gruplarını gösterir, $p<0,005$).	86
şekil 51. Kayın sahasında toprakta mineral azot (N_N) içeriğinin kontrol ve uygulama alanları arasında ve dönemsel değişimi.	86
şekil 52. Ladin sahasında toprakta mineral azot (N_N) içeriğinin kontrol ve uygulama alanları arasında ve dönemsel değişimi (Harfler fark gruplarını gösterir, $p<0,005$).	87
şekil 53. Kayın sahasında toprakta toplam azot (N_T) içeriğinin kontrol ve uygulama alanları arasında ve dönemsel değişimi (Harfler fark gruplarını gösterir, $p<0,005$).	88
şekil 54. Ladin sahasında toprakta toplam azot (N_T) içeriğinin kontrol ve uygulama alanları arasında ve dönemsel değişimi (Harfler fark gruplarını gösterir, $p<0,005$).	89
şekil 55. Kontrol alanları için kayın ve ladin sahaları arasında toprakların C_M/C_O yüzdesinin değişimi (Harfler fark gruplarını gösterir, $p<0,005$).	90
şekil 56. Kayın sahasında toprakta C_M/C_O yüzdesinin kontrol ve uygulama alanları arasında ve dönemsel değişimi.	91
şekil 57. Ladin sahasında toprakta C_M/C_O yüzdesinin kontrol ve uygulama alanları arasında ve dönemsel değişimi (Harfler fark gruplarını gösterir, $p<0,005$).	92
şekil 58. Kontrol alanları için kayın ve ladin sahaları arasında toprakların C_M/N_M oranının değişimi (Harfler fark gruplarını gösterir, $p<0,005$).	93
şekil 59. Kayın sahasında toprakta C_M/N_M oranının kontrol ve uygulama alanları arasında ve dönemsel değişimi (Harfler fark gruplarını gösterir, $p<0,005$). ..	94
şekil 60. Ladin sahasında toprakta C_M/N_M oranının kontrol ve uygulama alanları arasında ve dönemsel değişimi.	94
şekil 61. Kontrol alanları için kayın ve ladin sahaları arasında toprakların N_M/N_T yüzdesinin değişimi.	96
şekil 62. Kayın sahasında toprakta N_M/N_T yüzdesinin kontrol ve uygulama alanları arasında ve dönemsel değişimi (Harfler fark gruplarını gösterir, $p<0,005$).	96
şekil 63. Ladin sahasında toprakta N_M/N_T yüzdesinin kontrol ve uygulama alanları arasında ve dönemsel değişimi (Harfler fark gruplarını gösterir,	

p<0,005).	97
Şekil 64. Kayın sahasında toprakta mikrobiyal (bazal) solunum (S_{MB}) miktarının kontrol ve uygulama alanları arasında ve dönemsel değişimi (Harfler fark gruplarını gösterir, p<0,005).....	99
Şekil 65. Kayın sahasında toprakta metabolik katsayı (qCO_2) değerinin kontrol ve uygulama alanları arasında ve dönemsel değişimi (Harfler fark gruplarını gösterir, p<0,005).	101
Şekil 66. Ladin sahasında toprakta metabolik katsayı (qCO_2) değerinin kontrol ve uygulama alanları arasında ve dönemsel değişimi (Harfler fark gruplarını gösterir, p<0,005).	101
Şekil 67. Kontrol alanları için kayın ve ladin sahaları arasında toprakların sıcaklığının (TS) değişimi (Harfler fark gruplarını gösterir, p<0,005).	103
Şekil 68. Kayın sahasında toprakların sıcaklığının (TS) kontrol ve uygulama alanları arasında ve dönemsel değişimi (Harfler fark gruplarını gösterir, p<0,005).	103
Şekil 69. Ladin sahasında toprakların sıcaklığının (TS) kontrol ve uygulama alanları arasında ve dönemsel değişimi (Harfler fark gruplarını gösterir, p<0,005).	104
Şekil 70. Kontrol alanları için 2019 yılında kayın ve ladin sahaları arasında toprakların sıcaklığının (TS) değişimi (Harfler fark gruplarını gösterir, p<0,005).	106
Şekil 71. Kayın sahasında 2019 yılı için toprakların sıcaklığının (TS) kontrol ve uygulama alanları arasında ve dönemsel değişimi (Harfler fark gruplarını gösterir, p<0,005).	106
Şekil 72. Ladin sahasında 2019 yılı için toprakların sıcaklığının (TS) kontrol ve uygulama alanları arasında ve dönemsel değişimi (Harfler fark gruplarını gösterir, p<0,005).	107
Şekil 73. Kontrol alanları için kayın ve ladin sahaları arasında toprakların nem içeriğinin (TN) değişimi.....	109
Şekil 74. Kayın sahasında toprak neminin (TN) kontrol ve uygulama alanları arasında ve dönemsel değişimi (Harfler fark gruplarını gösterir, p<0,005).	110
Şekil 75. Ladin sahasında toprak neminin (TN) kontrol ve uygulama alanları arasında ve dönemsel değişimi (Harfler fark gruplarını gösterir, p<0,005).	110

Şekil 76. Kontrol alanları için 2019 yılında kayın ve ladin sahaları arasında toprakların nem içeriğinin (TN) değişimi (Harfler fark gruplarını gösterir, $p<0,005$).	112
Şekil 77. Kayın sahasında toprak neminin (TN) 2019 yılı için kontrol ve uygulama alanları arasında ve dönemsel değişimi (Harfler fark gruplarını gösterir, $p<0,005$).	112
Şekil 78. Ladin sahasında toprak neminin (TN) 2019 yılı için kontrol ve uygulama alanları arasında ve dönemsel değişimi (Harfler fark gruplarını gösterir, $p<0,005$).	113
Şekil 79. Kontrol alanları için kayın ve ladin sahaları arasında toprakların CO ₂ salınımının (S _{CO₂}) değişimi (Harfler fark gruplarını gösterir, $p<0,005$).	115
Şekil 80. Kayın sahasında toprakların CO ₂ salınımının (S _{CO₂}) kontrol ve uygulama alanları arasında ve dönemsel değişimi (Harfler fark gruplarını gösterir, $p<0,005$).	116
Şekil 81. Ladin sahasında toprakların CO ₂ salınımının (S _{CO₂}) kontrol ve uygulama alanları arasında ve dönemsel değişimi (Harfler fark gruplarını gösterir, $p<0,005$).	116
Şekil 82. Kontrol alanları için 2019 yılında kayın ve ladin sahaları arasında toprakların CO ₂ salınımının (S _{CO₂}) değişimi (Harfler fark gruplarını gösterir, $p<0,005$).	118
Şekil 83. Kayın sahasında toprakların CO ₂ salınımının (S _{CO₂}) 2019 yılı için kontrol ve uygulama alanları arasında ve dönemsel değişimi (Harfler fark gruplarını gösterir, $p<0,005$).....	119
Şekil 84. Ladin sahasında toprakların CO ₂ salınımının (S _{CO₂}) 2019 yılı için kontrol ve uygulama alanları arasında ve dönemsel değişimi (Harfler fark gruplarını gösterir, $p<0,005$).....	119
Şekil 85. Toprakların mikroorganizma solunumunun (S _M) kayın ve ladin sahaları arasında değişimi (Harfler fark gruplarını gösterir, $p<0,005$).	121
Şekil 86. Toprakların kök solunumunun (S _K) kayın ve ladin sahaları arasında değişimi (Harfler fark gruplarını gösterir, $p<0,005$).	121
Şekil 87. Kayın sahasında topraktan solunumun kök ve mikroorganizma bileşenleri arasında ve dönemsel değişimi (Harfler fark gruplarını gösterir, $p<0,005$).	123

Şekil 88. Kayın sahasında kök ve mikroorganizma bileşenlerinin toplam toprak solunumuna katkı oranlarının dönemsel değişimi ve ortalaması.	123
Şekil 89. Ladin sahasında topraktan solunumun kök ve mikroorganizma bileşenleri arasında ve dönemsel değişimi	124
Şekil 90. Ladin sahasında kök ve mikroorganizma bileşenlerinin toplam toprak solunumuna katkı oranlarının dönemsel değişimi ve ortalaması	124
Şekil 91. Toprakların kök solunumunun (S_K) 2019 yılında kayın ve ladin sahaları arasında değişimi (Harfler fark gruplarını gösterir, $p<0,005$).	126
Şekil 92. Toprakların mikroorganizma solunumunun (S_M) 2019 yılında kayın ve ladin sahaları arasında değişimi.	126
Şekil 93. Kayın sahasında topraktan solunumun 2019 yılında kök ve mikroorganizma bileşenleri arasında ve dönemsel değişimi (Harfler fark gruplarını gösterir, $p<0,005$).	127
Şekil 94. Kayın sahasında kök ve mikroorganizma bileşenlerinin toplam toprak solunumuna katkı oranlarının 2019 yılında dönemsel değişimi ve ortalaması.	128
Şekil 95. Ladin sahasında topraktan solunumun 2019 yılında kök ve mikroorganizma bileşenleri arasında ve dönemsel değişimi (Harfler fark gruplarını gösterir, $p<0,005$).	129
Şekil 96. Ladin sahasında kök ve mikroorganizma bileşenlerinin toplam toprak solunumuna katkı oranlarının 2019 yılında dönemsel değişimi ve ortalaması.	129
Şekil 97. Kayın sahası kontrol alanında toplam solunum (S_t) kök solunumu (S_k) ve mikroorganizma solunumu (S_m) ile toprak sıcaklığının (TS) ilişkisi.	143
Şekil 98. Kayın sahası uygulama alanında toplam solunum (S_t) ve mikroorganizma solunumu (S_m) ile toprak sıcaklığının (TS) ilişkisi.	143
Şekil 99. Ladin sahası kontrol alanında toplam solunum (S_t) kök solunumu (S_k) ve mikroorganizma solunumu (S_m) ile toprak sıcaklığının (TS) ilişkisi.	144
Şekil 100. Ladin sahası uygulama alanında toplam solunum (S_t) ve mikroorganizma solunumu (S_m) ile toprak sıcaklığının (TS) ilişkisi.	145
Şekil 101. Kayın sahası kontrol alanında toplam solunum (S_t) ve kök solunumu (S_k) ile toprak neminin (TN) ilişkisi	145
Şekil 102. Kayın sahası uygulama alanında toplam solunum (S_t) ile toprak	

neminin (TN) ilişkisi	146
Şekil 103. Ladin sahası kontrol alanında mikroorganizma solunumu (S_m) ile toprak neminin (TN) ilişkisi.	147
Şekil 104. Ladin sahası uygulama alanında toplam solunum (S_t) ile toprak neminin (TN) ilişkisi	147
Şekil 105. Ladin sahası kontrol alanında kök solunumu (S_k) ile mikrobiyal (bazal) solunumun (S_{MB}) ilişkisi	148
Şekil 106. Ladin sahası kontrol alanında toplam solunum (S_t) kök solunumu (S_k) ve mikroorganizma solunumu (S_m) ile mikrobiyal karbonun (C_M) ilişkisi.	149
Şekil 107. Ladin sahası uygulama alanında mikroorganizma solunumu (S_m) ile mikrobiyal karbonun (C_M) ilişkisi.	149
Şekil 108. Kayın sahası kontrol alanında toplam solunum (S_t) ve kök solunumu (S_k) ile mikrobiyal azotun (N_M) ilişkisi	150
Şekil 109. Ladin sahası kontrol alanında toplam solunum (S_t) ve mikroorganizma solunumu (S_m) ile mikrobiyal azotun (N_M) ilişkisi	151
Şekil 110. Kayın sahası kontrol alanında toplam solunum (S_t) kök solunumu (S_k) ve mikroorganizma solunumu (S_m) ile mineral azotun (N_N) ilişkisi.	151
Şekil 111. Kayın sahası uygulama alanında toplam solunum (S_t) ve mikroorganizma solunumu (S_m) ile mineral azotun (N_N) ilişkisi.	152
Şekil 112. Ladin sahası kontrol alanında toplam solunum (S_t) kök solunumu (S_k) ve mikroorganizma solunumu (S_m) ile mineral azotun (N_N) ilişkisi.	153
Şekil 113. Ladin sahası uygulama alanında toplam solunum (S_t) ve mikroorganizma solunumu (S_m) ile mineral azotun (N_N) ilişkisi.	153
Şekil 114. Ladin sahası kontrol alanında toplam solunum (S_t) ve mikroorganizma solunumu (S_m) ile organik karbonun (C_O) ilişkisi.	154
Şekil 115. Ladin sahası kontrol alanında toplam solunum (S_t) ile toprak pH'sının ilişkisi.	155
Şekil 116. Ladin sahası uygulama alanında toplam solunum (S_t) ve mikroorganizma solunumu (S_m) ile toprak pH'sının ilişkisi.	155
Şekil 117. Ladin sahası uygulama alanında toplam solunum (S_t) ve mikroorganizma solunumu (S_m) ile toprakaltı kılcal kök kütlesinin (K_K) ilişkisi	156
Şekil 118. Kayın sahası kontrol alanında mikroorganizma solunumu (S_m) ile	

toplam azotun (N_T) ilişkisi.	157
Şekil 119. Ladin sahası kontrol alanında toplam solunum (St) ve kök solunumu (Sk) ile kil içeriğinin ilişkisi.	157
Şekil 120. ladin sahası kontrol alanında toplam solunum (St) kök solunumu (Sk) ve mikroorganizma solunumu (Sm) ile metabolik katsayının (qCO_2) ilişkisi.	158
Şekil 121. Kayın sahası kontrol alanında toplam solunum (St) kök solunumu (Sk) ve mikroorganizma solunumu (Sm) ile toprak sıcaklığının (TS) ilişkisi.	161
Şekil 122. Kayın sahası uygulama alanında toplam solunum (St) ve mikroorganizma solunumu (Sm) ile toprak sıcaklığının (TS) ilişkisi.	162
Şekil 123. Ladin sahası kontrol alanında toplam solunum (St) kök solunumu (Sk) ve mikroorganizma solunumu (Sm) ile toprak sıcaklığının (TS) ilişkisi.	162
Şekil 124. Ladin sahası uygulama alanında toplam solunum (St) ve mikroorganizma solunumu (Sm) ile toprak sıcaklığının (TS) ilişkisi.	163

KISALTMALAR DİZİNİ

S _T	Toplam Solunum
S _K	Kök Solunumu
S _M	Mikroorganizma Solunumu
C	Karbon
S _{CO₂}	Karbondioksit salınımı
ha	Hektar
TOM	Toprak organik maddesi
C _O	Organik karbon
C _M	Mikrobiyal karbon
C _T	Toplam karbon
N _N	Mineral azot
N _M	Mikrobiyal azot
N _T	Toplam azot
S _{MB}	Mikrobiyal bazal solunum
K _K	Kılcal kök kütlesi
K _i	İnce kök kütlesi
Min.	Minimum
Max.	Maksimum
Ort.	Ortalama
St.H.	Standart hata

1 GİRİŞ

Toprak solunumu, karasal ekosistemlerden çıkan karbon için ana yoldur ve karbonu alıkoyan bitki metabolizmasının ototrofik süreci (Högberg ve ark., 2001) ile toprak sıcaklık veya nemine tepki vererek organik substratları işleyen mikroorganizmaların bir heterotrofik sürecinin (Kicklighter ve ark., 1994; Raich ve Potter, 1995) sonucudur. Zor ayrışan toprak karbon stoklarındaki değişiklikler ise toprağın CO₂ salınımının sadece küçük bir kısmına katkıda bulunurlar (Giardina ve ark., 2004; Trumbore, 2000). Bu süreçlerin ortaya konulması ile toprak solunumunun ekosistem metabolizmasının iyi bir göstergesi olduğu anlaşılmaktadır (Ryan ve Law, 2005). Bu süreçlerin anlaşılmasında orman ekosistemi için ağaç türü, mevsim, yetiştirme ortamı ve bunlara bağlı olarak değişen çevresel koşullar ile biyojeokimyasal faktörler etkilidir.

Genel iklim koşullarına etki etmeyen hatta bağlı olan bitki örtüsü, belli bir düzeyde toprak yüzeyinde bulunduğu yere özgü bir mikro-iklim meydana getirir (Atalay, 2006). Bitki örtüsünün toprak oluşum ve gelişimindeki etkisi nedeniyle ormanın yetiştiği topraklar ile otlakların bulunduğu topraklar birbirinden ayrı özelliklere sahip olurlar. Dolayısıyla aynı iklim etkisi altında ve aynı ana kayadan gelişen toprakların, orman altındaki ile otlak toplumu altındaki özellikleri arasında farklılıklar bulunmaktadır. Hatta doğal ve klimaks bitki toplumu niteliğinde olan ormanlarda ağaç ve çalı türlerinin farklılığı, toprak özelliklerinin değişimine önemli şekilde etki etmektedir (Kantarcı, 2000). Bitki türleri ayrıca ekosistem içerisinde meydana gelen besin elementi döngüsünü, toprakta mikrobiyal biyokütleyi, biyokütlenin yapısını ve toprak enzim aktivitesi gibi faaliyetleri etkilemektedirler (Dornbush, 2007).

Mevsimsel değişiklikler, toprağın nemini ve sıcaklığını, bitkilerin kök faaliyetini ve kök etki alanında biriken veya bitkilerden dökülen ölü materyalin ayrışması neticesinde toprağa karışan organik madde miktarını etkilemektedir ve dolayısıyla toprak içerisinde değişimlere yol açmaktadır (Krämer ve Green, 2000). Bu değişimler aynı zamanda toprak tipi, alandaki bitki örtüsü çeşidi ve miktarı, arazi kullanımı ve yönetimi gibi faktörlerden de etkilenmektedir (Chen ve ark., 2003).

1.1 Toprak Mikroorganizmaları

Biyolojik aktivitenin yoğunlaştığı üst topraktaki canlı bileşenler, toplam toprak hacminin çok küçük bir parçasını (% 0,5) oluşturur ve toplam organik maddenin % 10'undan daha az bir kısmını teşkil ederler. Kökler ve toprak organizmalarının teşkil ettikleri canlı kısmın büyük çoğunluğunu da toprak mikroorganizmaları meydana getirmiştir. Mikroorganizmalar toprağın çok küçük bir kısmını oluşturmalarına rağmen; azot fiksasyonu, mineralizasyon gibi birçok besin maddesinin döngülerinde ve organik kalıntıların ayrıştırılmasındaki işlevleriyle toprağın biyolojik faaliyetinin önemli kısmını gerçekleştiren canlı grubudur (Pankhurst ve ark., 1997). Dolayısıyla, mikroorganizmalar küresel karbon ve besin elementi döngüsündeki kritik rolleriyle karasal ekosistemlerin en önemli bileşeni olmaktadır. Toprak içerisinde çevresel koşullara göre birçok çeşidi bulunan mikroorganizmalar, toprağın normal ve sağlıklı dinamiği için lazım olan pek çok fonksiyonu yerine getirmektedirler. Bunların başında organik maddeyi ayrıştırmaları ve bitki besin maddelerini alınabilir formlara dönüştürmeleri gelir. Bir diğer önemli işlevleri de bitki kökleri ile simbiyotik yaşam birlikteliği kurmalarıdır. Ayrıca, kil vb. minerallerin çözünabilirliğine ve dolayısıyla yıkanmalarına etki ederler, toprağın strüktürüne ve agregatlaşmasına katkıda bulunurlar (Bolat, 2011).

Toprak içerisinde gerçekleşen birçok olayda rol alan toprak mikroorganizmaları, ayrıca toprak organik maddesinde meydana gelen değişimlerin de hassas bir göstergesi olabilmektedir (Powlson ve Jenkinson, 1981; Powlson ve ark., 1987). Aynı zamanda, mikrobiyal metabolizmanın ayrışma hızı canlılar için çok önemlidir. Zira mikrobiyal metabolizmanın toprak içerisindeki devir süresi üç aydan iki yıla kadar değişirken, organik madde için bu süre 20 yıldan fazla olabilmektedir (Jenkinson ve Ladd, 1981; Jenkinson, 1990; O'Brien, 1984; Stout ve ark., 1981).

Toprakta enerji ve besin döngüsü ile organik madde ayrışmasında görev alan bileşen toprak mikroorganizmalarıdır. Organik artıkların biyokütleye geçmesinde ya da karbondioksit (CO_2), su (H_2O) ve mineral besin elementlerine dönüşmesinde bu canlılar rol alır. Bunun yanı sıra, toprak mikroorganizmaları büyüme ve gelişmeleri için çoklukla kullandıkları N, P ve S gibi besin elementleri için de önemli bir havuz oluştururlar. Mikrobiyal biyokütle toprakta organik maddenin mineralleşmesini gerçekleştirerek inorganik besin maddelerinin (NH_4^+ , NO_3^- , H_2PO_4^- , SO_4^{2-}) ve

özellikle CO₂ açığa çıkmasını sağlar. Bitkiler topraktan gerekli besin maddelerini bu inorganik formlarda alabildiği gibi, mikrobiyal biyokütle de yaşama ve büyüme faaliyetleri için ihtiyacı olan besin elementlerini bu inorganik formlarda tutabilir. Dolayısıyla yüksek miktarda mikrobiyal biyokütle içeren ve mikrobiyal aktivite olan topraklar besin maddelerinin döngüsünde ve depolanmasında çok daha etkili olmaktadır (Gregorich ve ark., 1994).

Büyük bir çoğunluğunu bakteri ve mantarların meydana getirdiği ve aynı zamanda aktinomiset, protozoa, alg ve virüslerin de dâhil olduğu toprak mikrobiyal biyokütlesi; karbon depolaması ve salınımı, enerji akışı, ayrıştırma ve kısmen gaz akışı gibi ekosistem süreçlerinin düzenlenmesinde rol alan çok önemli bir canlı bileşendir. Bu canlılar içerisinde bakteri ve mantarlar hem biyokütle hem de metabolik faaliyetler bakımından en fazla olan organizmalardır (Anderson ve Domsch, 1986; Cleveland ve ark., 2004; Parkinson ve Coleman, 1991).

1.2 Toprakaltı Kök Sistemleri

Kökler (kaba kök: 5 < mm, ince kök: 2-5 mm, kılcal kök: <2 mm) yer altı sisteminin temel bir bileşenidir ve toprak organik karbonunun temel kaynağıdır ve toprakta mikrobiyal aktiviteyi ve ayrışma süreçlerini etkilerler (Cheng, 1999; Janssens ve ark., 2002). Kütle bazında kaba kökler, toplam ekosistem biyokütlesine kılcal köklerden daha fazla katkıda bulunurlar ve ekosistem düzeyinde karbon bütçesi ve karbon dağılımı saptanırken, kaba kök biyokütlesi ve üretim verileri derlenmelidir (Vogt ve ark., 1998). Şu var ki, kaba kökler yıllık kök üretiminin sadece küçük bir kısmını oluştururlar (Grier ve ark., 1981). Buna karşılık kılcal kökler, toplam kök biyokütlesinin sadece küçük bir kısmını oluşturdukları halde, yüksek döngü hızına sahiptirler (Chen ve ark., 2004). Metabolik aktivitelerinin yüksek olması nedeniyle kılcal kök üretimi ve döngüsü, orman karbon dinamikleri için kritik bir rol oynamaktadır.

Kılcal kökler, orman ekosistemlerinin önemli bir yapısal ve işlevsel bileşenidir (Grier ve ark., 1981). Orman üretiminin büyük bir kısmı kılcal köklere dağılarak, toprak altı sistemine büyük bir karbon akışıyla sonuçlanır (Kurz ve ark., 1996). Örneğin, titrek kavak ve huş ağacının genç meşcerelerinde artan ince kök biyokütlesinin yanında

toprağın CO₂ salınımında % 27 - % 30 artış olmuştur (King ve ark., 2001). Kılcal köklerin tanımı farklı çalışmalar arasında değişiklik göstermektedir. Örneğin Chen ve ark. (2004), 5 mm'den küçük bütün kökleri kılcal kökler olarak tanımlamıştır. Bununla birlikte, diğer birçok çalışma kılcal köklerin çapının 2 mm'den (Hendrick ve Pregitzer, 1992, 1993; Tufekcioglu ve ark., 2003; Vogt ve Persson, 1991) veya (daha az yaygın olarak) 1 mm'den (Burton ve ark., 1997; Fahey ve Hughes, 1994; Zogg ve ark., 1996) az olduğunu benimsemiştir.

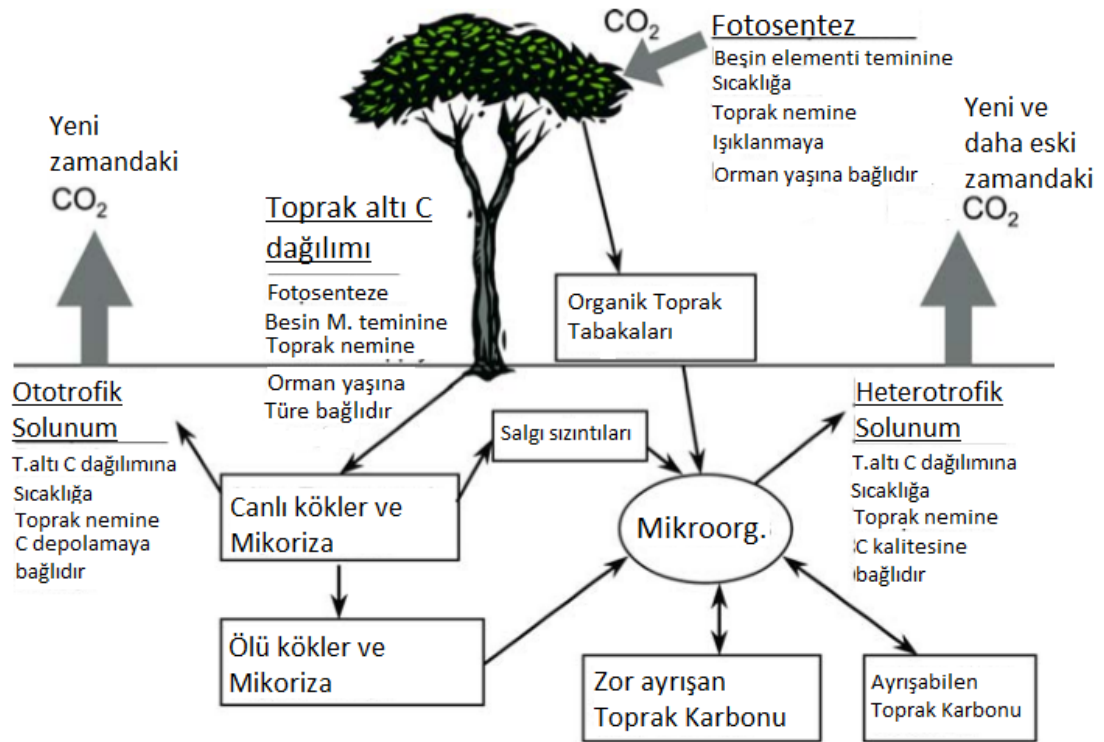
Kılcal kök döngüsü, 1 yılda üretilen kılcal kök miktarı toplamının köklerin canlı biyokütlesi ortalamasına oranı (Aber ve ark., 1985) veya yıllık kılcal kök üretiminin toplam kök biyokütlesine bölünmesi (Gill ve Jackson, 2000) olarak tanımlanır. Kılcal kök döngüsü; ekosistem karbon dengesi ve besin döngüsünün, orman ekosistemlerinde yer altı biyokütle ve besin sermayesinin büyük ve dinamik bir bölümünü temsil eden ve net birincil üretimin önemli bir bölümüne tekabül eden kritik bir bileşenidir (Persson, 1978; Vogt, 1991; Vogt ve ark., 1986). Kılcal köklerden toprağa karbon girişi, toprak üstü ölü örtü üretimine eşit veya fazla olabilir (Grier ve ark., 1981) ve bu onu toprak C döngüsünün ana yollarından biri yapar (Vogt, 1991).

Köklerin dâhil olduğu toprak altı bileşenleri, toplam orman ekosistemi biyokütlesine ve verimliliğine kilit bir katkı araçlarıdır. Genellikle ekolojik çalışmalarda ihmal edilen kökler (ve bunların mikrobiyal ortakları) artık orman topraklarında karbon tutmanın kilit belirleyicileri olarak kabul edilmektedirler. Bunlar, zor ayrışan organik madde üretimi, yavaş veya yarı ayrışma, agregat oluşumu ve karbon bakımından zengin salgıların sızılması sayesinde organik madde yıkımının tetiklenmesi yollarıyla toprağın karbon salımlarını ve havuzlarını etkilerler. Bu önemli roller, kökleri küresel karbon döngüsü için aşırı derecede önemli kılar (Prescott ve ark., 2016).

1.3 Karbon Döngüsü ve Toprak Karbonu

Karbon döngüsü; karasal biyosfer, atmosfer, okyanuslar ve yer kabuğu arasındaki CO₂ değişimini ihtiva eder. Toprak solunumu da küresel ve bölgesel ölçekte karbon döngüsünün düzeninde kritik bir rol oynar. Ekosistemdeki karbon döngüsünün başlaması, bitkilerin havadan CO₂'i alıp bunu fotosentez yoluyla organik karbonlu bileşiklere çevirdikleri zaman olur (Şekil 1). Bitkide organik karbonlu bileşiklerin bir

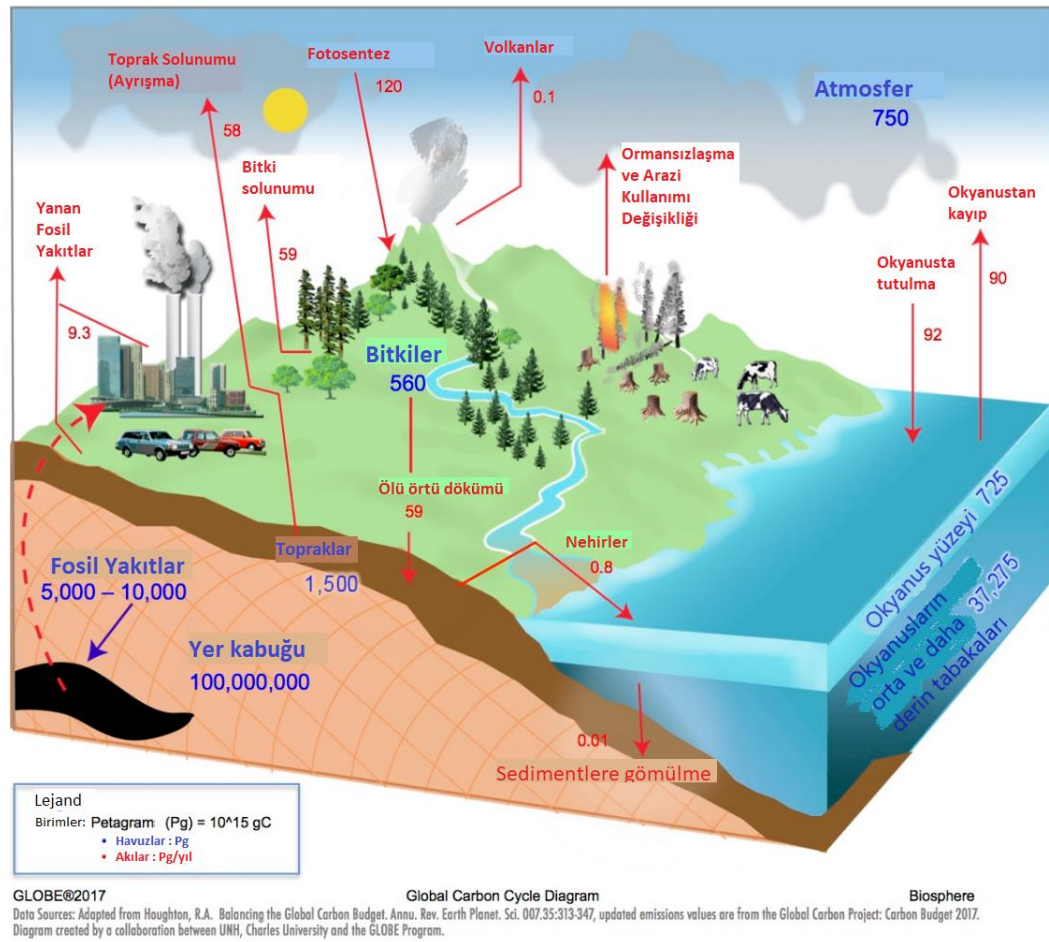
kısmı bitki organlarının gelişiminde kullanılır. Bir kısmı da bitkide enerji sağlamak üzere parçalanır. Bu süreçler boyunca CO₂ bitki solunumu yoluyla atmosfere geri salınır. Teşkil edilen organik kısımlardan yaprak ve kılcal kökler, birkaç aydan ta birkaç yıla kadar canlı kalırken, özellikle ormanlarda odun ve gövde kısımlar yüzlerce yıl gelişimini sürdürebilirler. Ölü bitki kısımları ise toprakta organik horizonun, ölü örtü tabakasını teşkil etmeye başlarlar. Ölü örtü, bazı aktiviteler için enerji temininde ve diğer reaksiyonlar ile ayrıştırılarak organik bileşiklere dönerken bir kısım CO₂'in atmosfere geri salınımı olmaktadır. Toprağa karışan humik maddeler ve organik bileşikler, mikrobiyal biyokütle ve ölü mikroorganizmaların birlikteliği ile toprak organik maddesini (TOM) teşkil ederler. TOM bir kısmı mikroorganizmalarca ayrışmaya uğrarken solunum yoluyla CO₂ atmosfere geçer, önemli bir kısmı da yüzlerce ve binlerce yıl toprağın karbon stoku olarak kalabilir (Luo ve Zhou, 2006).



Şekil 1. Karasal ekosistemde karbonun alıkonulması ve döngüsündeki süreçler ve bunlarda rol alan öğeler (Ryan ve Law (2005)'dan değiştirilerek)

Yıllık fotosentez (kara bitkileri) ile atmosferden alınan karbon (120 Pg C y⁻¹) kadar yaklaşık miktarda atmosfere ekosistem solunumu ile geri salınmaktadır (Sabine ve ark., 2004). Küresel ölçekte karbon, topraklarda 3150 Pg C (sulak alan toprakları: 450 Pg C, daimi donmuş topraklar: 400 Pg C, diğer topraklar: [üst tabaka(0-1m): 1500 Pg

C, alt tabaka(1-3 m): 800 Pg C]) ve bitkilerde 550-650 Pg C olarak tutulmaktadır (Jobbágy ve Jackson, 2000). Bitkilerde tutulan bu miktar atmosferde tutulan karbondan (750-780 Pg C) biraz düşük olsa da, toprak sistemi ve bitkiler beraber düşünüldüğünde, karasal ekosistemde atmosferden kat kat daha fazla karbon tutulmaktadır (Houghton, 2003) (Şekil 2). Toprakta organik olarak tutulan karbon (1500 Pg C) dahi, karasal ekosistemde toprağın karbon döngüsünde başlıca kaynak olması rolünü göstermektedir. Antropojenik salım (7,2 Pg C) ise bunun yanında çok çok daha düşük kalmaktadır (Schlesinger ve Andrews, 2000).



Şekil 2. Küresel karbon döngüsünde karbonun depolanması ve salınması (URL-2, 2020).

İnsan müdahalesi ve iklim değişiminin küresel karbon döngüsüne etkisini anlamak için karbon süreçlerinin farklı yönlerinden biri olan toprak solunumu da anlaşılmalıdır. Zira toplam biyosfer solunumunun büyük bir kısmını teşkil eden toprak solunumu, karasal ekosistemlerden ikinci büyük CO₂ çıkışıdır. 68 Pg C olan toprak solunumu ile

CO₂ salınımının önemli kısmı TOM ve ölü örtü ayrışmasından (50 Pg C) ve diğer kısmı mikoriza ve köklerden (18 Pg C) olmaktadır (Raich ve Schlesinger, 1992). İnsan kaynaklı salınımlardan daha büyük boyutta bir oranda toprak solunumu ile karbon salınımı olması nedeniyle ve kendisinden solunum yolu ile karbon salınımı olan toprakta depolanan karbonun atmosferde tutulandan 4 kat daha fazla olmasından dolayı; toprak solunumunda küçük bir değişim atmosferde CO₂ yoğunluğunun dengesini ciddi anlamda değiştirebilir (Luo ve Zhou, 2006). Vejetasyon tipleri arasında bilhassa ormanlar, toprak üstü karbonun % 80 kadarını, toprakaltı karbonun % 40 kadarını tutmaktadırlar (Dixon ve ark., 1994). Orman ekosistemlerinin karbon tutabilirliğinin tahmin edilmesi ve karbon asimilasyonu kadar önemli olan, bitki solunumunun da bitki kısımları ve kök arasında dağılım oranıdır (Raich ve Nadelhoffer, 1989).

Topraktan karbon salınımı, ormanlarda karbon döngüsünün önemli bir bileşenidir ve ekosistem solunumunun % 30-80 kadarı olduğu düşünülmektedir (Goulden ve ark., 1996; Luo ve Zhou, 2006; Raich ve Schlesinger, 1992; Wofsy ve ark., 1993) ve yıllık solunumun (64-72 Pg C) ise kara ve deniz kaynaklarından atmosfere verilen CO₂ miktarının % 20-40'ı kadar olduğu bilinmektedir (Houghton ve Woodwell, 1989; Raich ve Schlesinger, 1992). Toprak solunumunun yıl içindeki nisbi katkısı da değişmektedir. Kışın çoğunda % 100'e çıkıp, hızlı yaprak büyümesinde % 60'a düşerek, toprağın ısınmasıyla büyüme sezonu boyunca tedricen artmakta ve yaprak dökümü zamanı yaklaşık % 75 olmaktadır. Toprak solunumu, ekosistem solunumunun önemli bir bileşeni olmasından, brüt ve net birincil üretimler ve net ekosistem üretimi ile yakından ilişkilidir. Özellikle, bitki biyokütlesindeki yıllık artımların ölçümleri ile tahmin edilen net birincil üretim ve toprak solunumu ile net ekosistem üretiminin ilişkisi vardır. Dolayısıyla toprak solunumu bileşenleri ölçümünden net ekosistem üretimi tahmin edilebilir (Curtis ve ark., 2005).

1.4 Toprak Solunumu

Toprak solunumu, toprak yüzeyinden atmosfere olan toplam CO₂ akışı olarak tanımlanır ve ölü kökler, kök salgıları ve mikorizal hiflerden (kök kalıntısı C ayrışması) ve toprak üstü ölü örtü ve odunsu kalıntıların ayrışmasından kaynaklanan toprak organik maddesi (TOM)'nin mikrobiyal ayrışmasını ihtiva eden

mikroorganizma solunumu (veya heterotrofik solunum) ve kök solunumundan (veya ototrofik solunum) teşekkül eder (Bond-Lamberty ve ark., 2004; Butnor ve ark., 2003; Coleman ve Crossley Jr, 2003; Davidson ve ark., 2006; Davidson ve ark., 2000; Edwards ve ark., 1973; Ewel ve ark., 1987; Hanson ve ark., 2000; Lavigne ve ark., 1997; Tufekcioglu ve ark., 2001; Vose ve ark., 1997). Özetle, toprak solunumu toprak mikroorganizmaları ve bitki kökleri tarafından CO₂ salınım sürecidir (Davidson ve ark., 2006) ve toprak CO₂ salınımına katkıda bulunan çok fazla kaynak olduğundan, toprağın metabolik aktivitesinin ve TOM'nin CO₂'ye dönüşüm oranının hassas bir göstergesidir (Rochette ve ark., 1997). Yüksek düzeyde birincil ve ikincil verimlilik gösteren ekosistemlerin yüksek toprak CO₂ salınım oranlarına sahip olması beklenebilir (Knapp ve ark., 1998).

Toprak yüzeyinde üretilen CO₂, verilerin modellenmesini ve yorumlanmasını karmaşık hale getiren çeşitli solunum süreçlerinden kaynaklanır. Toprak solunumunun yaklaşık yarısı kökleri ve ilişkili mikorizaları desteklemek ve büyütmek için metabolik aktiviteden türetilir (Hanson ve ark., 2000; Högborg ve ark., 2001). Bu kök solunumu, metabolizmanın sürdürülmesi, büyüme, besinlerin alımı faaliyetinde enerji elde etmek için (George ve ark., 2003) topraktaki ototrofik bileşenler tarafından önemli bir CO₂ salınımını temsil eden köklerin solunumudur (Paul ve Clark, 1996). Kök üretimi ve solunumu, orman ekosistemlerinde büyük miktarda net birincil üretimi tüketebilir (Bowden ve ark., 1993; Grier ve ark., 1981; Hendrick ve Pregitzer, 1993; Keyes ve Grier, 1981; Schimel ve ark., 1994; Vogt ve ark., 1986). Kök solunumuna olan ilgi artmaktadır, çünkü birçok niceliksel tahmin, orman ekosistemlerinin yıllık karbon dengesinin büyük bir bileşenini temsil ettiğini öne sürmektedir (Lee ve ark., 2005). Ağaç köklerinin miktarını veya fizyolojik aktivitesini değiştiren herhangi bir faktörün aynı anda benzer olarak toprak CO₂ salınımı üzerinde de büyük etkisi olacaktır (Boone ve ark., 1998; Hanson ve ark., 2000; Pregitzer ve ark., 1998).

Toprak solunumunun geri kalan CO₂ üretiminin çoğu, yeni üretilen organik maddeyi bir enerji substratı olarak kullanan mikrobiyal topluluklardan gelen heterotrofik solunuma bağlıdır (Giardina ve ark., 2004; Trumbore, 2000). Bu mikrobiyal solunum, organik maddeleri parçalayan heterotrofik mikroorganizmaların solunumudur (Horwath ve ark., 1994). Mikroorganizma solunumu açıkça heterotrofların solunumuna ait olduğundan rizosfer mikroorganizmaları ile avcı-av etkileşimlerine

dâhil olan toprak makro- ve mezofaunasının katkısı dikkate alınmayabilir, zira CO₂ salınımına doğrudan katkıları önemsizdir (Kuzyakov ve Larionova, 2005; Paul ve Clark, 1996).

Toprak solunumunun kaba kök ve zor ayrışan karbon havuzu bileşenlerinin boyutu ile de zayıf bağlantısı vardır. Kaba kökler (> 5 mm) biyokütlenin çoğunu içerir ve kaba köklerden gelen solunum düşüktür (Pregitzer ve ark., 1998; Ryan ve ark., 1996; Vose ve Ryan, 2002). Boyutu büyük, zor ayrışabilen toprak C havuzlarının mineralizasyonu yavaştır (Bond-Lamberty ve ark., 2002; Giardina ve Ryan, 2000; Marra ve Edmonds, 1996). Toprakta solunumun sadece küçük bir kısmı (% 10), daha eski, ayrışmaya dirençli karbon bileşiklerinin ayrışmasından elde edilir (Gaudinski ve ark., 2000; Giardina ve ark., 2004; Trumbore, 2000).

Kök, mikoriza ve rizosfer solunumu ile birlikte yenice üretilen yaprakların ve ince köklerin kalıntılarının mikrobiyal ayrışması, toprağın solunumuna önemli katkıda bulunurlar (Bhupinderpal-Singh ve ark., 2003; Giardina ve ark., 2004). Ototrofik (kök) ve heterotrofik (mikroorganizma) bileşenlerden toprak solunumuna olan katkı oranı mevsimsel olarak ve ekosistemler arasında değişebilir. Bir dizi çalışmada, heterotrofik katkı, % 10 ila % 95 arasında değişmekte olup, ortalama olarak yıllık % 54 ve büyüme mevsimi boyunca % 40 olmaktadır (Hanson ve ark., 2000).

Toprak solunumunun çevresel faktörler içerisinde sıcaklık değişimine hassasiyeti, küresel karbon dengesinin muvazenesinde bir parametre olmaktadır. Sıcaklık ile artan toprak solunumunun küresel ısınmanın tahriki ile karasal ekosistemlerin havuz etkisini azaltması beklenmektedir (Raich ve Schlesinger, 1992). Solunumun bu sıcaklık hassasiyeti deneysel olarak ve modelleme ile çalışılmış (Giardina ve Ryan, 2000; Liski ve ark., 1999) ancak bu tarz çalışmalar toprak solunumunun küresel ve uzun vadede sıcaklığa hassasiyetini bulamamışlardır. Zira kısa dönem verileri sıcaklık artışına solunumsal tepkinin uzun dönemdeki karakteristiklerini saptayamaz. Hem bu gibi çalışmalar küresel ısınma ile organik karbondan solunumsal karbon salınımının artması olan varsayımın karşısına çıkmaktadır. Dolayısıyla sıcaklığın uzun dönem değişimi ile toprak solunumu değişiminin nasıl olduğu sorununun çözmek için, iyi tasarlanmış ve uzun dönemli çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır (Luo ve Zhou, 2006).

Toprakta CO₂ üretimini; toprak sıcaklığı ve nemi (Chen ve Yang, 2011; Epron ve ark., 1999b; Rodeghiero ve Cescatti, 2005), TOM kalite ve miktarı (Coûteaux ve ark., 1995), kök ve mikrobiyal biyokütlesi, kök azot içeriği (Ryan ve ark., 1996), toprağın fiziksel ve kimyasal özellikleri ve alan verimliliği (Subke ve ark., 2011) gibi bazı biyotik ve abiyotik faktörler etkiler. Toprak solunumu bileşenleri de; sıcaklığa (Boone ve ark., 1998; Epron ve ark., 2001; Lee ve ark., 2003) mevsimsel kuraklığa (Scott-Denton ve ark., 2006) ve atmosferik CO₂ yoğunluğuna (Janssens ve ark., 1998) bağlı olarak farklı tepki gösterirler.

CO₂ salınımı yanı sıra besin maddelerinin mineralizasyonunu ve immobilizasyonunu netice veren mikrobiyal ayrışma, toprak solunumunun önemli bir bileşeni olmasıyla (Coleman ve Crossley Jr, 2003), toprak solunumu ile besin elementleri döngüsü arasında önemli ilişkileri göstermektedir. Ayrışmanın ilk fazları boyunca, ölü örtü substratından ayrılan azot, eş zamanlı olarak mikropların kendi gelişimleri için tutulur. Ayrışma boyunca azotun mutlak miktarı ölü örtüde artabilir veya değişmez. Mineralize olan azot miktarı, mikrobiyal gelişim için gerekli olandan daha fazla olana kadar, azot tutulumu ile beraber karbon salınımı olduğundan karbon azot oranını (C:N) tedricen düşürür. Bu noktadan sonra ölü örtü ayrışması bir net azot salınımına yol açar. TOM ayrışması da net azot salımı (C:N < 20) ile neticelenir ve mineralize azot da kısmen mikrobiyal olarak immobilize olur (Paul ve Clark, 1996).

Buraya kadar bahsedilen TOM ve ölü örtünün mikrobiyal ayrışması boyunca, karbon ve azot mineralizasyonu birlikteliğinden dolayı; azot mineralizasyonu oranı ile mikroorganizma solunumunun daima karşılıklı ilişkileri vardır (Eriksen ve Jensen, 2001; Gilmour ve ark., 1985; Vance ve Chapin, 2001; Zak ve ark., 1993).

Toprak solunum ölçümleri tek başına, yeraltındaki karbon havuzlarındaki değişikliklerle veya bu değişiklikler üzerindeki kontrollerle zayıf şekilde bağlantılıdır. Zira üç havuzda değişiklik olduğunda yer altında depolanan karbondaki değişiklikler meydana gelir. Bu havuzlardan birincisi organik tabakalar ve mineral toprakta depolanan toprak karbonudur ki genellikle farklı derecelerde ayrışabilirliği olan bir dizi kaynaklar olarak şekillenmiştir. İkincisi canlı bitki örtüsüdür ki kök biyokütlesi olduğundan bitki örtüsü türü ve miktarına bağlı olarak depolama değişecektir. Üçüncüsü de ölü bitki materyalidir. (Ryan ve Law, 2005).

1.5 Toprak Solunumunun Bileşenlerine Ayrılması

Çevresel değişkenlere ototrofik solunum ve heterotrofik solunum bileşenlerinin verdiği tepki farklı olabildiğinden ve çeşitli zaman ölçeğinde de her bileşenin farklı solunum davranışları olduğundan (Boone ve ark., 1998; Widén ve Majdi, 2001); topraktaki karbon döngüsüne ve salınımına, iklim değişimi, rejimin bozunması ve orman yaşının etkilerini anlamak için toprak solunumunun bileşenlerine ayrılması gereklidir (Melillo ve ark., 2002). Dolayısıyla meşcere çağı yapısını, tür karışımını, biyojeokimyasal döngüyü, net birincil üretimi ve net ekosistem CO₂ değişimini etkileyen bir faktör meşcere gelişimi boyunca toprak solunumu kaynaklarının belirlenmesini önemli kılmaktadır (Bond-Lamberty ve ark., 2004).

Toprak solunumu, sıcaklık (Craine ve ark., 2010; Jassal ve ark., 2008) ve karbon kaynağı kalitesine (Karhu ve ark., 2010; Raich ve Tufekcioglu, 2000) duyarlı olduğu gibi mevcut fotosentez ürünleri oranına da (Högberg ve ark., 2001) duyarlıdır. Burada, TOM ayrışması ile heterotrofik organizmaların aktiviteleri orantılıdır (Högberg ve ark., 2001; Högberg ve Read, 2006) ve ototrofik kısım (kökler, mikoriza ve ilgili bakteriler) mevcut fotosentez ürünlerinin teminine bağlıdır. Bundan dolayı iki bileşen (kök/mikroorganizma) arasındaki ayrım önemlidir. (Díaz-Pinés ve ark., 2010).

Toprak solunumu ölçümleri orman karbon piyasalarını ortaya çıkarmak (Edwards, 1982; Tate ve ark., 1993) ve mineralleşme oranlarını belirlemek için (Kelly ve Strickland, 1984) ve kök solunumunun bir indisi (Raich ve ark., 1990; Vose ve ark., 1995) olarak kullanılır. Biyolojik olarak ilişkili olan toprak solunumu kısımlarının (kök ve mikrobiyal) yalnızca bir toplam toprak solunumu ölçümüne dayanarak ayırımı güç olmaktadır. Bu güçlükten dolayı toprak solunumunun bahsedilen konularda yorumlanması karmaşık olabilmektedir (Kelting ve ark., 1998). Ormanlarda mikroorganizma ve kök solunumun her ikisi ağaç türü, iklim, meşcere yaşı ve planlama çalışmaları gibi faktörlere bağlıdır (Raich ve Schlesinger, 1992).

Toplam toprak solunumuna, heterotrofik ve ototrofik solunumun katkısını değerlendirmek kolay olmamaktadır (Bowden ve ark., 1993; Ekblad ve Högberg, 2001; Lee ve ark., 2003). Ayrıca değişen çevresel koşullara tepkinin nicel olarak ortaya konulması da zordur (Trumbore, 2006).

Ototrofik ve heterotrofik solunumların ayırımında, her ikisinde erişilmesi en zor olanlar; rizo-mikrobiyal solunum, kök salgılarının heterotrofik ayrışması, canlı köklerden substrat girdisi ile TOM ayrışmasına katkı süreçleridir (Ferréa ve ark., 2012). Araştırmacılar genelde, orman topraklarında kök solunumunu mikroorganizma solunumundan ayırırken; rizosfer solunumunu köksüz toprak solunumundan ayırt etmezler. “Kök solunumu/mikroorganizma solunumu” şeklinde ikili model dikkate alınır (Raich ve Nadelhoffer, 1989). Rizosfer ayrışması dikkate alındığında, toprak solunumu, üç kısımlı model olarak nitelendirilen “kök/rizosfer/köksüz toprak” kısımlarına ayrılabilir. Bu şekilde biyolojik olarak üç kısım tanımlanmış olur (Kelting ve ark., 1998). Sonraki çalışmalar rizosferik kısmın bütün toprak solunumuna azımsanmayacak miktarda girdi sağladığını göstermektedir (Heinemeyer ve ark., 2011; Heinemeyer ve ark., 2007; Subke ve ark., 2011). Köklerden ve kökle ilişkili organizmalardan gelen ototrofik solunum, anlamlı şekilde topraktan CO₂ salınımına katılmaktadır (Epron ve ark., 1999b; Högberg ve ark., 2001; Raich ve Schlesinger, 1992).

Bitki örtüsü tipi ve yılın mevsimine bağlı olarak toplam toprak CO₂ salınımına % 10-90 arasında değişen ototrofik katkı, yıllık bazda orman olan alanlarda % 45,8 ve orman olmayan alanlarda ise % 60 civarındadır (Hanson ve ark., 2000). Yıllık toprak solunumuna kök solunumunun katkısı farklılık göstermekle beraber (% 45-50) ılıman ormanlarda ototrofik katkı yıllık açığa çıkan toplam toprak solunumun % 6-71'i arasındadır (Subke ve ark., 2006). Ancak bu katılıma dair tahminler değişken olmakla beraber, miktar hakkında tahmin elde edilmesi zordur (Ferréa ve ark., 2012).

Solunum bileşenlerini ayırmak için çok çeşitli metotlar kullanılmıştır (Högberg ve ark., 2001). Yöntemlere (bileşen ayırımı) dair meta-analizler, metotlar arasında anlamlı bir farklılık olmadığını (Bond-Lamberty ve ark., 2004; Kuzyakov, 2006; Subke ve ark., 2006) göstermekle beraber kesinlikleri ve yararlılıkları hakkında tartışmalar devam etmektedir. Çoğu zaman düşük yoğunluktaki toprak solunumu diğer ekosistemlerin gaz akımına bağlı olduğundan, herhangi bir farklılık önemli olacaktır (Bond-Lamberty ve ark., 2011).

Sınırlı toprak derinliği gözlemleri olduğundan, solunumu kısımlandırma çalışmaları genelde toprak yüzeyine odaklanmıştır. Zira CO₂ salınımının esasen üst toprak

tabakaları tarafından üretildiği varsayılmaktadır (Maier ve Kress, 2000; Rodeghiero ve Cescatti, 2006).

Yerinde ölçümler zordur ve köke erişmek için kazı yapmak kök solunumunu etkiler. Araziden alınan arındırılmış örnek kıyaslaması, işlem ve örnekleme sırasında toprak çok tahrip olduğundan tartışmalıdır (Epron ve ark., 1999a). Anlık ölçümler ise, alan düzeyine göre ayarlamak zordur ve toprak gözenekleri ve CO₂ yoğunluğu derinlik ile değiştiğinden (Ryan ve ark., 1996) yüksek CO₂ yoğunluğunda kök solunumu düşüşü söz konusudur. Arazide toprak halkalarının gömülmesi yüzey köklerini ayırdığından, kök solunumunun katkısının daima düşük tahminine yol açabilir (Heinemeyer ve ark., 2011).

Rizosfer kısmını da bileşen olarak değerlendiren çalışmalar doğrudan ölçüm yaparak bunların farklarından belirlemektedirler. Kök solunumu ölçümü için yerinde ölçüm, kök çıkartma ve bazal yöntem kullanılır (Kelting ve ark., 1998).

Dolaylı yöntem önerilen çalışmalarda; toprak CO₂ salınımından ölü örtü, kök ve organik madde ayrışma oranları düşülerek solunum bileşenleri belirlenmekte (Ewel ve ark., 1987) ya da tıraşlama öncesi ve sonrası kıyaslanarak kök solunumu tahmin edilebilmektedir (Nakane ve ark., 1996; Nakane ve ark., 1983). Bazı kök ve organik madde parametreleri ölçülerek regresyon yolu ile de dolaylı tahmin yapılabilmektedir (Ferréa ve ark., 2012). Bazı çalışmalar da yıllık salınımı kısımlandırmak için, alandan elde edilen verilere ve sonuçlara çoklu modellerin nasıl uyduğunu denemiştir (Khomik ve ark., 2006).

Köklü ve köksüz parsellerin kıyaslamasında epeydir kullanılagelen bir metot “hendek parsel” metodudur (Ewel ve ark., 1987; Haynes ve Gower, 1995). Toprak solunumu kaynaklarına ayrılması amacıyla kurulan hendek parselleri ucuz ve basit olup, parsele fotosentez ürünleri hareketini engellemek için bitki örtüsüz hale getirilmiş ve mevcut kökleri ayırmak için de etrafında hendek kazılmış haldedir (Bond-Lamberty ve ark., 2011).

Yöntemin eleştirisi alan tarafları; hendekte büyük bozunma olması, kalıntı köklerin ayrışmasının belirsizliği (Epron ve ark., 1999a), toprak suyu durumunda ve mikrobiyal komünitede değişimler (Díaz-Pinés ve ark., 2010) ve kazı derinliğinin aşağısından

parsele doğru CO₂ hareketi nedeniyle, CO₂ yoğunluğunda potansiyel değişim olmasıdır (Jassal ve Black, 2006).

Hendek açma uygulaması, ototrof salımların karbon kaynağını en aza indirirken nihayetinde bazı heterotrof salımların kaynağını da azaltır. Bilhassa bazı heterotrofların bağlı olduğu kök salgılarını kaldırmış olur. Bu sonuçtan dolayı bu nevi heterotrofik kaynaklar ototrofik salımla aynı kısımda sayılmıştır (Bond-Lamberty ve ark., 2011). Ancak hendek yöntemi, kullanımının basit ve ucuz olması nedeni ile tercih edilmektedir.

1.6 Literatür Çalışması

Orta Avrupa'daki bir karışık Avrupa kayını (*Fagus sylvatica*) ve Avrupa ladini (*Picea abies*) meşçeresi için topraktan mevsimsel CO₂ çıkışlarının tahmin edildiği bir çalışmada, çoğu dönemde toprak solunumu toprak sıcaklığıyla güçlü bir şekilde ilişkili bulunmuştur. Bununla birlikte, 2003 yılının kuru yazında, toprak solunumu sıcaklıktan ayrı gibi görünerek toprak suyu içeriği ile güçlü bir şekilde ilişkili bulunmuştur (Andersen ve ark., 2005).

Almanya'da Solling bölgesinde bitişik saf ve karışık Avrupa kayını (*Fagus sylvatica* L.) ve Avrupa ladini (*Picea abies* (L.) Karst.) ormanlarında yapılan toprak solunumu ölçümlerinde, saf kayın meşçeresinde en yüksek ve saf ladin meşçeresinde en düşük solunum miktarları belirlenmiş ve orman türünün, toprak solunumunda anlamlı bir etkiye sahip olduğu bulunmuştur. Ayrıca toprak sıcaklığının da kayın sahasında fazla olduğu ve organik horizonlardaki mikrobiyal solunum ve mikrobiyal biyokütlenin saf kayın meşçeresinde saf ladinden daha fazla olduğu bulunmuştur. Sonuç olarak da, ağaç türlerini değiştirmenin toprak organik maddesinin dönüşümünü ve dolayısıyla organik horizonlarında organik karbonun tutulmasını değiştirebileceği belirtilmiştir (Borken ve Beese, 2005).

Borken ve ark. (2002), 2 yıldan uzun süre Almanya'da farklı iklimlere ve topraklara sahip Solling ve Unterlüß yörelerinde yaşlı kayın, ladin ve çam meşçereleri altında toprak solunumunu araştırdıkları çalışmada, bir istisna dışında, toprak solunum oranının altı orman sahası arasında ve aynı orman alanı içindeki yıllar arasında anlamlı

derecede farklı olmadığını bulmuşlardır. Ayrıca toprak sıcaklığının toprak solunumu üzerinde özellikle zamansal değişiminde anlamlı etkisi olduğunu bulmuşlardır.

Danimarka’da kayın (*Fagus sylvatica* L.) ve ladin (*Picea abies* [L.] Karst.) bulunan iki ılıman orman ekosistemlerinde toprak solunum oranları (CO_2 salınımları), toprak sıcaklığı ve toprak su içeriği 15 ay boyunca ölçülmüş ve topraktaki CO_2 salınımlarının, kayın için $0,48\text{--}3,3 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ve ladin için $0,50\text{--}2,92 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ aralığında belirgin bir mevsimsel eğilim gösterdiği ve yüzeye yakın toprak sıcaklıkları ile iyi ilişkide oldukları bulunmuştur. Toprak organik karbon stoku (O-horizonunu içeren üst 1 m’de) ladin meşceresinde ($184 \pm 23 \text{ Mg C ha}^{-1}$) kayın meşceresi ($93 \pm 19 \text{ Mg C ha}^{-1}$) ile karşılaştırıldığında daha yüksek bulunmuştur (Elberling ve Ladegaard-Pedersen, 2005).

Oulehle ve ark. (2016), asimilasyon edilerek tutulan karbonun akıbetini ve organik karbonun döngüsünü çözmek için iki bitişik yaşlı orman ekosistem tipini (ladin ve kayın) karşılaştırdıkları çalışmada, kayın ağacı meşceresinde, hem orman örtüsü hem de mineral toprakta önemli derecede daha yüksek toprak C havuzu belirlemişlerdir. Yıllık kümülatif toprak CO_2 salınımı, meşcereler arasında benzer; yani, $9,87 \text{ ton ha}^{-1} \text{ yıl}^{-1}$ ladin meşceresinde ve $9,01 \text{ ton ha}^{-1} \text{ yıl}^{-1}$ kayın meşceresinde bulmuşlardır. Ayrıca topraktan CO_2 salınımının değişkenliğini ladin ve kayın meşcereleri için toprak ısısının sırasıyla % 78 ($Q_{10} = 3.7$) ve % 72 ($Q_{10} = 4.2$) olarak açıkladığını tespit etmişlerdir.

Bir çalışmada (Priwitzer ve ark., 2013), iki tip genç orman meşceresi (kayın ve ladin) ve çimenli açıklıklar dâhil olmak üzere üç farklı alandaki toprak solunum gözlemlerinin ön sonuçlarına göre toprak solunumu ortalama değerleri tüm ölçüm periyodu boyunca, kayın meşceresinde $0,92$ ila $15,20 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, ladin meşceresinde $1,14$ ila $11,26 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ve çayırli açıklıkta $0,96$ ila $12,92 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ arasında değişmiştir. Ağustos başında tüm alanlarda maksimum solunum değerleri, Kasım başında ise minimum solunum değerleri gözlenmiştir. Ayrıca topraktan CO_2 salınımının, tüm ölçülen alanlar için net bir mevsimsellik sergilediği ve tüm alanlar için toprak solunumunun mevsimsel dalgalanmalarının, toprak sıcaklığı ve toprak nemindeki değişikliklerle yakından ilgili olduğu sonucuna varılmıştır

Orta İrlanda'da, dört yaş sınıfından (10, 15, 31 ve 47 yaş) oluşan ve ilk rotasyondaki Sitka ladininin mevsimsel ve mekânsal toprak solunumu varyasyonlarının nedenlerinin araştırıldığı bir çalışmada (Saiz ve ark., 2006), sıcaklık ve toprak suyu içeriğindeki farklılık, toprak solunumunun mekânsal değişkenliğinde gözlenen mevsimsel eğilimi etkilemiştir. Söz konusu çalışmada, toprak sıcaklığı ve organik tabaka kalınlığı, farklı örnekleme dönemleri için toprak solunumunun varyansının çoğunu açıklarken; toprak su içeriğinin, yılın zamanına bağlı olarak toprak solunumunda farklı fakat zayıf bir etkiye sahip olduğu görülmüştür.

Søe ve Buchmann (2005), büyük ölçüde heterojen bir kayın ormanında 2000 ve 2001 yıllarında yaptıkları mekânsal ve zamansal ölçümlerde, tek başına toprak sıcaklığının toprak solunumundaki zamansal değişimin % 68 ila % 95'ini açıkladığını belirlemişlerdir. Toprağın kimyasal parametreleri arasındaki karbon içeriği (çözünmüş kadar kütle) toprak solunumundaki mekânsal değişimin % 62'sini açıkladığını göstermişler. Ayrıca toprak, kök ve meşcere yapısı parametrelerini (ince kök biyokütle, toprak karbon içeriği, m-dbh4 ve toprak su içeriğini) birleştiren en iyi modelin, hem solunum hem de abiyotik faktörlerin önemini göstererek toprak solunumundaki değişimin % 79'unu açıkladığını belirlemişleridir.

Lee ve Jose (2003), pamuk olan sahalarda ve Loblolly çamının olduğu sahalarda yapmış oldukları çalışmada, toprak solunumunun alanlarda bahar başından yaz başına kadar en yüksek düzeyde olduğunu ve sıcaklıkla doğrusal olarak değiştiğini bulmuşlardır. Ayrıca pamuk bulunan sahalarda kılcal kök miktarının daha fazla olması nedeniyle Loblolly çamı bulunan sahadan daha fazla solunum belirlemişlerdir.

Han ve ark. (2007), ziraat alanlarında bahar başından kış sonuna kadar yaptığı çalışmada, toprak solunum oranının kök biyokütlesiyle doğrusal olarak arttığını ve en fazla solunum oranının Temmuz'da ve Ağustos'ta olduğunu belirtmişlerdir. Tang ve ark. (2005), toprak solunum oranının Mayıs'tan yaz ortasına kadar sıcaklık ile doğrusal olarak arttığını ve sonra düştüğünü belirlemişlerdir. Scott-Denton ve ark. (2003), subalpin bir ormanda toprak solunum oranına etki eden esas faktörün toprak sıcaklığı olduğunu, mevsimsel değişimde oldukça farklılık gösterdiğini belirlemişlerdir.

Vanhala (2002), iğne yapraklı türlerin bulunduğu meşcerelerde, toprak solunum miktarının mevsime bağlı değişmesinde, toprağın sıcaklığı, nemi ve pH'sının etkilerini

incelemiştir. Toprak solunum miktarının, belli sıcaklıkta (14 °C) ölçüldüğünde toprağın pH'sı ve nemine bağlı olarak değişim gösterdiğini bulmuştur. Çalışmasında nem içeriğini, toprakların su tutma kapasitelerinde (~ % 60) sabit olduğunda, toprak solunum oranının, asıl olarak toprağın organik maddesi ve pH'sı ile ilişkisi olduğunu tespit etmiştir.

Martin ve ark. (2007), dişbudak ağaçlarının bulunduğu meşcerede yürüttükleri çalışmada yaşlı meşcerelerde genç meşcereye kıyasla daha yüksek toprak solunum miktarı bulunduğunu ve belirlenen solunum miktarlarına, toprak neminin ve toprağın bazı fiziksel ve kimyasal karakteristiklerinin; diğer kök kütlesi, organik karbon vs. toprak özelliklerden daha yüksek etkileri olduğunu belirlemişlerdir.

Adachi ve ark. (2006), bazı tropikal ekosistemlerin topraklarında yaptıkları incelemede birincil ormanlarda toprak solunum miktarının nem içeriği ile negatif ilişkili, kök biyokütlesi ile pozitif ilişkili olduğunu, ikincil ormanlarda nem miktarıyla ters ilişkili, toprağın karbon içeriğiyle doğrusal ilişkili olduğunu tespit etmişlerdir.

Zhou ve ark. (2006), manolya türünün bulunduğu alanda yürüttükleri çalışmada toprak solunum oranının büyüme döneminden itibaren Temmuz ayının sonuna değin arttığını daha sonra düşüş eğiliminde olduğunu tespit etmiştir. Bu düşüşün toprak sıcaklığının 15°C'den fazla ve nem içeriğinin ise % 12'den düşük olduğunda görüldüğünü belirtmişlerdir.

Luo ve ark. (1996), Kaliforniya'nın kuzey bölgesinde toprak solunum oranının farklı anakaya üzerinde bulunan mera alanlarında ve Panderosa çamı ağaçlandırma sahalarında, toprağın sıcaklığı ile ters orantılı ve toprağın nem içeriği ile doğru orantılı değiştiğini belirlemişlerdir.

Buchmann (2000), Avrupa ladini meşceresinde yaz mevsiminde bilhassa Temmuz'da ve Ağustos'ta toprak solunum miktarının en yüksek düzeyde olduğunu daha sonra bahar başına kadar düştüğünü belirlemiştir.

Schindlbacher ve ark. (2007), alpin kuşağındaki ormanlarda toprak solunumun kış döneminde kar kaplamasından önce yüksek miktarda olduğunu, toprak kar örtüsü ile kaplandığında solunum miktarının azaldığını tespit etmişlerdir.

Khomik ve ark. (2006), karışık meşcerelerin olduğu ve boreal kuşak ormanlarındaki iki yıllık çalışmalarında, yapraklı tür bulunan meşcerelerde, ibrelili tür bulunana kıyasla daha fazla toprak solunum miktarı bulmuşlardır. Çalışmalarında mevsimsel değişimde sıcaklık ile toprak solunumunun ilişkili olduğunu ve kışta toprak solunum değerinin en düşük düzeyde olduğunu belirlemişlerdir. Grogan ve Chapin III (1999), kuzey kutbu bölgesi ekosistemlerinde yaz ve kış mevsimlerinde toprak solunumunun bitki örtüsü türüne göre gayet anlamlı biçimde farklılık gösterdiği tespit etmişlerdir.

Çin'deki Wuyi Dağı ulusal doğa koruma sahasında Jiangxi eyaletindeki farklı rakımlardaki 12 toprakta, toprak solunumunun altında yatan faktörlerin araştırıldığı bir çalışmada, çayır otlak toprağının solunum hızı en düşük ve subalpin ormanının solunum hızı yüksek olarak bulunmuştur (Lu ve ark., 2019). Çalışmada kümülatif emisyonlar, bitki örtüsüne bağlı olağan değişiklikler gösteren rakımla birlikte artmış ve karışık iğne yapraklı ormanda toprak solunumu, çayır otlaklarına ve geniş yapraklı orman toprağına göre önemli ölçüde daha fazla bulunmuştur. Ayrıca toprak solunumu tarafından üretilen karbon emisyonları ile toplam karbon ve C: N oranının pozitif korelasyon gösterdiği ($P < 0.05$) ve toprak toplam karbonu, toplam azotu ve tepe tacı yoğunluğunun etkilerinin toprak solunumunu kısmen kontrol ettikleri belirlenmiştir.

Artan atmosferik CO₂ altında toprak C ve N döngüleri hakkında yayınlanmış 47 rapordan elde edilen verilerin özetlendiği bir çalışmada birkaç istisna dışında, toprak ve mikrobiyal solunum oranlarının, yüksek CO₂ altında daha hızlı olduğu görülmüştür. Bunun gerekçesi olarak yüksek CO₂ altında daha fazla bitki büyümesinin, toprağı giren karbon miktarını arttırdığı ve ilave substratın, toprak mikroorganizmaları tarafından metabolize edildiği gösterilmiştir (Zak ve ark., 2000).

Yang ve ark. (2010) kılcal kök dinamiğini ve net birincil üretimi, Kuzeydoğu Çin'deki Changbai Dağları'nda; kavak ile karışık 80 yaşında bir sekonder huş ağacı meşceresinde, geniş yapraklı ormanla karışık yaşlı bir Kore çamında ve 20 yaşında bir sekonder huş ağacı ve kavak karışımında incelenmişler. Çalışmada kılcal köklerin baskın ağaç türlerinden toplam üretimi, süksesyonel değişim boyunca artmış, yani genç ormandan yaşlı çağına doğru sırasıyla 222,8 g m⁻², 569,1 g m⁻² ve 672,3 g m⁻² olmuştur. Sonuç olarak önemli toprak karbonu kaynakları olarak, kılcal kök

büyümesiyle toplam karbon depolarının orman süksesyonu boyunca arttığını tespit etmişlerdir.

Silver ve ark. (2000) bir amazon orman ekosistemindeki çalışmada killi topraklardaki 101 Mg C ha⁻¹'lık karbon depolamaya karşılık, kumlu topraklarda yaklaşık 113 Mg C ha⁻¹ ile 1 m derinliğe kadar karbon depolandığını göstermişlerdir. Ayrıca kaba kök karbonunun, kumlu alanlar ve killi alanlar üzerindeki yüzey toprağı karbon havuzunun sırasıyla % 62 ve % 48'lik miktarı ve kumlu ve killi alanlarda 1 m derinliğe kadar toprak karbon havuzunun sırasıyla % 34 ve % 22'lik miktarı olan büyük ve önemli bir ekosistem karbon havuzunu temsil ettiğini belirlemişlerdir.

Artvin yöresinde pH değerlerinin ağaç türlerine, ağaç gövdesinden uzaklığa ve mevsime bağlı değişiminin incelendiği bir çalışmada (Sarıyıldız ve Küçük, 2004), en yüksek pH değerleri kızılğaç altındaki topraklarda, en düşük pH ise sarıçam altında belirlenmiş ve sonbahar mevsiminden yaz mevsimine doğru pH değerlerinde bir azalma olduğu bulunmuştur. Çalışmada güz ve baharda, çam ve ladin toprak pH değerlerinde 180 cm mesafe aralığına kadar bir artış, daha sonra ise bir azalma görülmüş, yazın önemli bir değişiklik görülmemiştir. Ayrıca toprak pH değerlerinin bu farklı değişimleri üzerinde humus pH değerlerinin önemli bir etkisinin olduğu tespit edilmiştir.

Sariyildiz ve Küçük (2009) Artvin'de Doğu kayını ve Doğu ladin türlerinin bulunduğu sahalarda yaptıkları çalışmada, meşcere tipinin ölü örtü ayrışması üzerinde en güçlü etkiye sahip olduğunu ve bunu ormangülü ve yamaç konumunun izlediğini bulmuşlardır. Çalışmalarında ölü örtü ayrışmasının karışık kayın / ladin ormanlarında en yüksek seviyede olduğunu ve bunu saf kayın ve ladin ormanının izlediğini belirlemişlerdir. Ayrıca, ormangülünün, kayın ve ladin ölü örtülerinin ayrışmasını önemli ölçüde azalttığını ve kayın ve ladin ölü örtüsünün, üst yamaç konumunda, alt veya orta konuma göre çok daha yavaş ayrıştığını ortaya koymuşlardır.

Sariyildiz (2003), ladin, sarıçam ve kestane türlerine ait yaprakların kimyasal bileşimlerinin ayrışma oranları üzerine olan etkisini incelediği çalışma sonucunda, her örneklemede (6., 12., 18. ve 24. aylarda) bu üç türün ayrışma oranları arasında anlamlı şekilde farklılıklar olduğunu belirlemiştir. Çalışmasında, kestanenin daha hızlı bir kütle kaybı gösterdiğini bunu sarıçamın ve ladinin izlediğini ve bu üç türün içerdikleri

lignin miktarlarının ($r^2 = 0.97$) onların kütle kayıplarını etkileyen en önemli kimyasal bileşim olduğunu bulmuştur.

Sariyildiz ve Küçük (2008), Artvin yöresinde yaptıkları çalışmada; ölü örtü ayrışmasını etkileyen en baskın faktörün, başlangıçtaki lignin içeriği olduğunu ve yaprak ölü örtüsünde daha az lignin içeren meşe ve sarıçam türlerinin, yapısında daha fazla lignin içeren kayın ve göknar türlerine göre daha hızlı ayrıştığını bulmuşlardır. Çalışmalarında en hızlı ayrışmanın bakıya göre kuzey bakıda, yükseltiye göre ise alt yükseltilerde gerçekleştiğini; kuzey bakıda, gerçek evapotranspirasyonun ayrışmayı sınırladığını, güney bakıda ise toprak sıcaklığının etkili olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca her iki bakı da dikkate alındığında lignin içeriği yanı sıra toprak solunum oranının ölü örtü ayrışma oranları üzerinde belirleyici faktörler olduğu ortaya konulmuştur.

Artvin yöresinde bir çalışmada (Sariyildiz ve ark., 2005), saf ve karışık kayın ve ladin meşcerelerinde; ladin ibrelerinin, kayın yapraklarından çok daha hızlı ayrıştığı ve bu iki türün başlangıçta içerdiği lignin miktarının bu türlerin ayrışma oranlarını etkileyen en önemli etken olduğu belirlenmiştir. Çalışmada, ladin ve kayın arasındaki ayrışma oranları farkının, karışık meşcerelerde en fazla, kayın meşceresinde orta derecede, ladin meşceresinde ise en az olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, karışık meşcerelerdeki abiyotik şartlar ve mikroorganizma faaliyetleri saf kayın ve ladin meşcerelerinden daha iyi olabileceğinden, kayın ve ladin karışık meşcerelerinin tesis edilmesinin, saf ladin meşcerelerindeki ölü örtü ayrışması üzerindeki yavaşlatıcı etkileri gidermede rol oynayabileceği sonucuna varılmıştır.

Sariyildiz (2015), Artvin yöresinde; ağaç türlerinin, topografyasının ve toprak derinliğinin kılcal ve ince köklerin ayrışma hızları üzerindeki etkilerini araştırdığı çalışmada, kızılğöbe köklerinin en yüksek ayrışma oranlarını gösterdiğini ve bunu çam ve Doğu ladin köklerinin izlediğini bulmuştur. Çalışmasında, her bir ağaç türü için güney yönüne ve her yönde daha alçak yamaca yerleştirilen kök örneklerinin, kuzey yöndekinden ve daha yüksek yamaçtakinden daha hızlı ayrıştığını ve artan kök kalınlığı ve toprak derinliği ile kök ayrışma oranlarının azaldığını belirtmiştir. Ayrıca, ağaç türleri arasında, ilk kök ölü materyal kalitesi (özellikle C: N oranı), ayrışma oranlarında önemli bir rol oynadığını ve ölü materyal kalite faktörüne ek olarak, açık

alan ve meşcerelerin altındaki hava sıcaklığı, standart kök örneklerinin ayrışma oranlarını etkilemiş olabileceğini ileri sürmüştür.

Akburak ve ark. (2013), kök biyokütlesini ve kökteki karbon konsantrasyonu ve miktarını kök çap sınıflarına (<2mm, 2-5mm ve 5mm<) ve mevsimsel değişimlere göre, dört bitişik iğne yapraklı dikim alanında değerlendirdikleri çalışmada; diğer ağaç türlerine yakın olarak yıllık ortalama kök biyokütlesini, Doğu ladini için 604 g/m² olarak bulmuşlardır. Yine bu çalışmada kılcal kök sınıfının, diğer kök çapı sınıfları arasında, % 42 değeri ile en düşük karbon içeriğine sahip olduğu ve kök karbonunun zamansal varyasyonlarının istatistiksel olarak anlamlılık göstermediği sonucuna varılmıştır.

Tufekcioglu ve ark. (2004) yaptıkları çalışmada, yamaç konumunun (güneye bakan - kuzeye bakan), tür çeşidi ve örnekleme zamanının, iki türde kök biyokütle ve karbon depolanması üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Doğu ladini ortalama toplam kök biyokütlesini güney yamaçlarda 20160 kg ha⁻¹ ve kuzeye bakan yamaçlarda 17140 kg ha⁻¹ bulmuşlardır. Doğu ladini ortalama toprak altı karbon depolamasını ise güneye bakan yamaçlarda 7861 kg ha⁻¹ ve kuzeye bakan yamaçlarda 6840 kg ha⁻¹ bulmuşlardır. Benzer şekilde, Doğu kayınının kök biyokütle ve kök C depolamasını güneye bakan yamaçlarda sırasıyla 17190 ve 6690 kg ha⁻¹, kuzeye bakan yamaçlarda sırasıyla 13260 ve 5200 kg ha⁻¹ bulmuşlardır. Ayrıca doğu ladininin, güneye bakan yamaçlarda doğu kayınından çok daha yüksek kılcal kök biyokütlesine sahip olduğunu ve kılcal kök biyokütlesinin, güneye bakan yamaçlarda sonbaharda, ilkbahardan anlamlı olarak daha yüksek olduğunu belirlemişlerdir.

Tüfekçioglu ve Küçük (2010)'ün farklı yaşlardaki sarıçam meşcerelerindeki kök kütlesi, kök üretimi ve kök karbon depolama miktarlarını araştırdıkları çalışmada, kılcal kök miktarının 449,3 g/m² ile 622,3 g/m², ince kök miktarının 137,3 g/m² ile 240,1 g/m², kaba kök miktarının 229,8 g/m² ile 706,1 g/m²; toplam kök miktarının ise 868,5 g/m² ile 1485,6 g/m² arasında değişim gösterdiğini belirlemişlerdir. Çalışmada net kök üretimi açısından, kılcal kökte ve ince kökte en fazla net üretim ikinci yaş sınıfında belirlenmiş ve sırasıyla 133,2 g/m² ve 88,5 g/m² olarak bulunmuştur. Net kaba kök ve net toplam kök üretimi miktarları ise en fazla beşinci yaş sınıflarında belirlenmiş ve sırasıyla 351,7 g/m² ile 462,7 g/m² olarak bulunmuştur. Kökte karbon

depolama oranlarına göre en yüksek kök karbon depolaması ince köklerde ve kılcal köklerde ikinci yaş sınıflarında, kaba kökler için de beşinci yaş sınıfında belirlenmiştir.

Tüfekçioğlu ve ark. (2010) 0-30 cm toprak derinliği dikkate alarak saf ve karışık sarıçam meşcerelerinde yaptıkları çalışma sonucunda kalın kök kütlesinin önemli kısmının 0-15 cm derinlik kademesinde olduğunu, kalın kök kütlesinin derinlikle azaldığını ve meşcere yaşı arttıkça kalın kök kütlesinin de arttığını belirlemişlerdir.

Tüfekçioğlu ve Küçük (2004), genç ve yaşlı ladin meşcereleri ve bitişindeki çayırılık alanlarda yaptıkları çalışmada, ortalama toprak solunumunun $0,26-2,66 \text{ gr C m}^{-2} \text{ gün}^{-1}$ olarak değiştiğini ve yaşlı ladin alanı ile çayırılık alan arasında anlamlı farklılık olduğunu bulmuşlardır. Solunumundaki mevsimsel değişimlerin toprak sıcaklığındaki mevsimsel değişimlere paralel olarak gerçekleştiğini belirtmişlerdir. Toprak sıcaklığı ve toprak neminin, toprak solunumundaki varyasyonun %75'ini açıkladığını ve ortalama toprak solunumunun kılcal kök kütlesi ile anlamlı olarak değiştiğini belirlemişlerdir.

Raich ve Tufekcioglu (2000) toprak solunum oranlarının iki veya daha fazla bitki topluluğunda aynı anda ölçüldüğü yayınları derledikleri çalışmada, işlenmiş topraklar ve diğer arazi kullanımları arasında toprak solunumu bakımından öngörülebilir bir fark bulamamışlardır. Bununla birlikte, iğne yapraklı ormanların, aynı toprak türünde yetişen bitişik geniş yapraklı ormanlara göre ~% 10 daha düşük toprak solunum oranlarına sahip olduğunu belirlemişlerdir.

Özbayram (2006) üç farklı arazi kullanımı olan alanlarda yaptığı çalışmada ortalama toprak solunumunun $0,47-3,59 \text{ g C m}^{-2} \text{ gün}^{-1}$ olarak değişim gösterdiğini ve en fazla elma bahçesinde olduğunu bulmuştur. Çalışmada toprak solunumu vejetasyon tipine göre anlamlı farklılık göstermiştir. Toprak solunumundaki mevsimsel değişimlerin, toprak neminin mevsimsel değişimlerine bağımlı olarak değiştiğini ve toprak sıcaklığıyla toprak solunumu arasında negatif yönde ilişki olduğunu bulmuştur. Ayrıca toprak solunumu ile üst toprağın (0-15 cm) özellikleri ve toprak altı biyokütle arasında istatistiki olarak anlamlı ilişki bulamamıştır.

Küçük (2006) yangın görmüş karaçam meşcerelerinde yaptığı çalışmada genç meşcerelerde toprak solunumunun, yaşlı meşcerelere oranla daha fazla olduğunu ve

yangın sahasında, toprak nem içeriği ve sıcaklığını daha yüksek, kılcal kök kütle ve toplam kök kütle miktarını daha düşük bulmuştur.

Akburak (2008) farklı ağaç türleri altında yaptığı çalışma sonucu ladinde solunum değerini 0,56 g/m²/gün, ortalama toprak nem değerini % 6,32, ortalama toprak sıcaklığını 13,17 °C olarak ölçmüştür. İnce kök miktarını ladinde 2,56 g olarak belirlemiştir. Ayrıca yıllık ortalama solunum değerinin diğer türlere göre en düşük Doğu ladini (*Picea orientalis* L. Karst) türünün bulunduğu alanda olduğunu belirlemiş ve solunum miktarının, toprağın nem içeriği ve ince kök kütlesi ile doğrusal şekilde etkilendiğini öne sürmüştür.

Gülenay (2009) yalancı akasya (*Robinia pseudoacacia*) ağaçlandırma sahasında ve bitişindeki çayırılık alanda yaptığı çalışmada toprak solunumunu ortalama olarak, akasyalık ağaçlandırma alanında 0,73 g C m⁻² gün, çayırılık alanda 1,02 g C m⁻² gün olarak bulmuştur ve sıcaklıkla birlikte toprak solunumunda bir artış belirlemiştir.

Curtis ve ark. (2005) Michigan ormanlarında yaptıkları çalışmaya göre toprak solunumunun, brüt üretimin yaklaşık % 63'ü olduğunu ortaya koymuşlardır. Lambers ve ark. (1996), yapmış oldukları bir çalışmada kök solunumunun bir günde fotosentezle üretilen toplam karbonun yaklaşık olarak % 10 ile % 90'ını tükettiğini bulmuşlardır. Subke ve ark. (2006) kök solunumunun genellikle toplam toprak solunumunun yaklaşık olarak yarısını temsil ettiğini belirtmişler. Fakat Hanson ve ark. (2000), yaptıkları çalışmaya göre % 10 ile % 90 arasında değişim gösterdiğini ifade etmişlerdir.

Lee ve ark. (2005) yapraklı türlerin meşcereleri bulunan ılıman ormanda kök solunum oranının toplam toprak solunum miktarının hemen hemen yarısı olduğunu gözlemlemişlerdir. Çalışmalarında, Mayıs ayından Temmuz ayına kadarki süreçte solunumun toprak sıcaklığı ile doğru orantılı şekilde arttığını daha sonra solunum miktarının azaldığını gözlemlemişlerdir.

Hanson ve ark. (2000) yaptıkları derlemede; soğuk ılıman yapraklı ormanlarda toplam toprak solunumuna kök solunumu katkısının, toplam solunumunun % 27'sinden % 71'ine kadar belirgin mevsimsel değişim gösterdiğini gözlemlemişlerdir.

Ferr a ve ark. (2012) yarı doğal ormanda yaptıkları çalışmada, organik karbon ve kök yoğunluğunu bularak ve aylık bir yıl boyunca CO₂ salımı ölçümleri yaparak, dolaylı regresyon yöntemi ile heterotrofik ve ototrofik solunumun ayırımını yapmışlardır. Yıllık ortalama salımı 3,4 ( 2,3)  mol CO₂ m⁻¹ s⁻¹, kümülatifi 1,1 kg C m⁻² y⁻¹ buldukları çalışmada heterotrofik solunumun katkısını yıllık toprak solunumunun % 66'sı olarak saptamışlar ve bu bileşeni toprak sıcaklığının önemli oranda kontrol ettiğini (R²=0,93) belirlemişlerdir.

Luo ve ark. (2014) doğal yaşlı göknar ve huş plantasyon sahalarında  l  örtüsüz kontrol parselini de değişken olarak değerlendirdikleri hendek yöntemli çalışmada, huş sahasında 2,84  0,42  mol CO₂ m⁻² s⁻¹ ve göknar sahasında 2,04  0,07  mol CO₂ m⁻² s⁻¹ ortalama toprak solunumu bulmuşlar. Ayrıca toprak solunumu varyasyonunu toprak sıcaklığının huş için % 69,5; göknar için % 34,9 oranında izah ettiğini belirlemişlerdir. Ototrofik, TOM ve  l  örtü bileşenlerinin toprak solunumuna katkılarını huş için sırası ile %16, %67, %17; göknar için sırası ile % 23, % 57, %20 olarak tespit etmişlerdir.

D az-Pin s ve ark. (2010) Avusturya dağ ormanında ladin meşceresinde, hendek a manın öncesi, 5 ve 15 ay sonrasında iki büyüme mevsimini kapsayan ve 2 haftada bir; kök varlığı ve morfolojisi parametreleri ve mikrobiyal kominite ve solunum ölçümleriyle yaptıkları çalışmada, ortalama olarak hendek parsellerinde (344 g C m⁻²), kontrol parsellerinden (429 g C m⁻²) % 25 daha düşük solunum değeri bulmuşlardır. 5. ayın sonunda çok anlamlı değişmeyen kılcal kök ayrışmasını 15. ayın sonunda anlamlı şekilde % 30 oranında düşük belirlemişlerdir.

ArchMiller ve Samuelson (2016) 26 yaşındaki *Pinus palustris* alanlarında, 60 cm'lik kök ayırma tüpü ve iki kontrol halkası kullanarak ve bunların uygulandığı noktalardan kök biyokütlesini alarak 102-104 günlük inkubasyon ve kök ayrışması hesabı ile yaptıkları çalışmada mikroorganizma solunumunu (kök ayrışması düzeltmesi ile 2,1  mol CO₂ m⁻² s⁻¹) kontrol noktalarından (3,3  mol CO₂ m⁻² s⁻¹) daha düşük bulmuşlardır. Bu farklılıktan mikroorganizma bileşeninin katkısını % 60 civarı belirlemişler ve ayrıca çalışmanın nispeten hızlı (uygulamanın 40 gün sonrası) değerlendirme sağladığını önermişlerdir.

Andrews ve ark. (1999) *Pinus taeda* L. sahasında FACE (Free-Air Carbon-dioxide Enrichment) tesisi ile yaptıkları çalışmada, kılcal köklerin toplam toprak solunumuna katılımını % 55 olarak tespit etmişlerdir.

Bond-Lamberty ve ark. (2011), *Picea mariana* plantasyon sahasında iki büyüme mevsiminde hendek parselleri yöntemi ile yaptıkları çalışmada bütün yılın toprak solunumunu 293 g C/m^2 bulmuşlar ve canlı köklerin toprak solunumuna katılımını % 64 olarak belirlemişlerdir. Toprak solunumundaki farklılığı 2 cm derinlikteki toprak sıcaklığının izah ettiğini ve kontrol parsellerine göre düşük bulunan hendek parsellerinde 100 gün sonrasında farklılık görülmeye başlandığını tespit etmişlerdir.

Bond-Lamberty ve ark. (2004), bir dizi yangına maruz kalmış *Picea mariana* sahasında hendek yöntemi ile ve toprak sıcaklığı ölçümlerinden solunumu modellemek için farklı eşitlikleri denemek ve yıllık toprak solunumunu da modellemek amacı ile yaptıkları çalışmada; yıllık toprak solunumunun modellenen değerlerinin 2 cm'deki toprak sıcaklığı ile korelasyonu çıkmıştır. Yıllık kök solunumunun toplam toprak solunumundaki oranı ise genç meşcerede yaklaşık % 40 yaşlı meşcerede ise % 5-15 civarı bulunmuştur.

Epron ve ark. (1999a) genç kayın meşceresinde hendek yöntemi kullanarak 2-4 haftada bir elde ettikleri toprak CO_2 salım verilerini bir deneysel model ile uyarlamışlar ve toprak sıcaklığı ve hacimsel su içeriğinden yıllık salınımı hesaplamışlardır. Yıllık toprak karbon salınımını ana parselde $0,66 \text{ kg C m}^{-2}$ ve hendek parselde $0,42 \text{ kg C m}^{-2}$ olarak bulmuşlar ve toplam solunuma mikroorganizma solunumunun % 40, kök solunumunun ise % 60 oranında katıldığını belirlemişlerdir.

Högberg ve ark. (2009) yaşlı bir *Picea abies* sahasında, ağaçların kabuğunu soyma ile fotosentez ürünlerinin toprakaltına gidişini durdurarak ototrofik toprak faaliyetini engellemek suretiyle yaptıkları çalışmada; uygulamadan 2 ay sonra (yazın sonunda) solunumun % 53 oranında düştüğünü bulmuşlar ve ototrofik katkıyı yaklaşık olarak % 44 olarak ifade etmişlerdir.

Li ve ark. (2013) Çin ormanlarında yapılmış birçok çalışmadaki verileri (59 noktadan yapılmış ölçümleri) kullanarak yaptıkları çalışmada, kök ve heterotrofik (mikroorganizma) solunumun farklı orman tipine göre çeşitlilik gösterdiğini ve her

dem yeşil ormanların heterotrofik solunumunda diğerlerinden anlamlı olarak farklı olduğunu bulmuşlardır. Ayrıca kök ve heterotrofik solunumun, yağış, topraktaki organik karbon ve vejetasyon gelişiminin (uydu göstergesi) değişim eğrileri ile benzer eğilim gösterdiğini belirlemişler.

Wu ve ark. (2013) *Ficus elastica* türünün farklı yaşlardaki plantasyonlarında ölü örtü ve mineral toprak kısımlarını da bileşen olarak değerlendirerek yaptıkları çalışmada, toprak solunumunun mevsimsel farklılık gösterdiğini ve meşcere yaşı artışı ile yıllık karbon salımı miktarının yükseldiğini bulmuşlardır. 0-10 cm toprak sıcaklığının toprak solunumu ile anlamlı korelasyonu olduğunu ve nemli sıcak dönemde solunumun yüksek olduğunu bulmuşlardır. Ayrıca toplam solunuma heterotrofik solunumun % 35,28-52,75, köklerin solunumunun % 21,73-39,91, ölü örtünün solunumunun %17,13-19,63, mineral toprak solunumunun % 6,61-10,27 oranlarında katıldığını belirlemişlerdir.

Kelting ve ark. (1998) *Quercus rubra* alanında yaz sezonunda modifiye edilmiş hendek parseli yöntemiyle bazal solunumu ve kök biyokütlesi, kök ve toprak solunumu belirledikleri çalışmada; bazal yöntemle kök kütlesinin, kök ayırım yöntemi ile bulunandan üçte biri oranında daha fazla ($\% 52 > \% 32$) olduğunu ve kökteki karbon fraksiyonlarının ayrışabilir olanlarının bazal solunum ölçümünden itibaren 3 ay sonra kaybolduğunu bulmuşlardır. Ayrıca toplam toprak solunumuna kök solunumunun % 32, rizosferik mikrobiyal solunumun % 20 ve köksüz toprak solunumunun % 48 oranında katkısı olduğunu belirlemişlerdir.

Wei ve ark. (2010) orman ekosistemlerindeki pek çok çalışmanın küresel veri tabanını kullanarak toprak solunumu ile mikroorganizma ve kök bileşenlerinin sıcaklık ve yağış değişimlerine tepkisini belirledikleri çalışmada, toprak solunumunun ortalama yıllık sıcaklık ile arttığını ve ortalama yıllık yağış ile doğrusal olmayan bir ilişkisini bulmuşlardır. Doğal gençleştirilmiş ormanlarda yıllık ortalama sıcaklığın kök solunumundaki varyasyonda, mikroorganizma solunumundakinden daha açıklayıcı olduğunu belirlemişlerdir.

Yan ve ark. (2015) farklı yaşlardaki (3, 8, 15) kavak plantasyonlarında gelişme mevsiminde ayda bir defa toprak solunumu ölçümleri yaptıkları çalışmada, mikroorganizma solunumunu en fazla 15 yaşındaki sahada, kök solunumunu ise en

fazla 3 yaşındaki sahada belirlemişler ve meşcere yaşının etkisini anlamlı olarak bulmuşlardır. Ototrofik (kök) ve heterotrofik (mikroorganizma) toprak solunumların mevsimsel farklılıklarını toprak sıcaklığı iyi açıklamış, mikroorganizma solunumunun kılcal kök kütlesi ve yüzey l örtü kütlesiyle; kök solunumunun ise canlı kılcal kök kütlesi ile pozitif korelasyonları belirlenmiştir. Ayrıca üç meşcere bazında kök solunumunun toprak solunumuna katılımını ortalama % 57 olarak bulmuşlardır.

Tang ve ark. (2016) yarı tropikal Çin'de alt tabakayı uzaklaştırma gibi bir meşcere yönetiminin toprak solunumu üzerindeki etkilerinin anlaşılması amacıyla, herbisit (AH) ve geleneksel elle ot temizliği (HW) uygulamasıyla yönetilen iki Moso bambu ormanında toprak solunumunun kaynak bileşenlerini bölümlere ayırmak için hendek açma ve l örtü çıkarma kullandıkları bir çalışmada; her iki meşcerede 5 cm derinliğindeki toprak sıcaklığı ve toprak neminin, toprak solunumun mevsimselliğinde ana etken olduklarını belirlemişlerdir. Çalışmada yıllık toprak solunumunu, herbisit ve elle ot temizliği uygulaması yapılan meşcereeler için sırasıyla 31,6 t CO₂ ha⁻¹ ve 33,9 t CO₂ ha⁻¹ olarak bulmuşlardır. Ayrıca kök karbon kullanım etkenliğini herbisit uygulanan meşcere için % 30,6 olarak elle ot temizliği yapılan meşcereden anlamlı şekilde daha düşük (% 58,8) bulmuşlardır.

Çin'de yarı tropikal bölgede üç farklı yaşlı ormanda toprak solunumunu mikroorganizma solunumu ve kök solunumu olarak ayırmak için bir hendek açma yöntemi kullanılan bir çalışmada, kurak mevsimde  orman arasında anlamlı bir fark bulunmayıp orman sksesyonunun mikroorganizma solunumu üzerindeki etkisinde net bir mevsimsellik olduğu ancak yaşlı ormanda yağışlı mevsimde diğer iki ormandan daha yüksek bir mikroorganizma solunumu olduğu belirlenmiştir (Huang ve ark., 2016). Çalışmada yaşlı ormandaki kök solunumunun  orman arasında en yüksek olma eğiliminde olduğu belirtilmiştir.

Kukumği ve ark. (2017) Avrupa ladinin farklı yaşlardaki ormanlarında toprak solunumunu kısımlandırmak için hendek açma yöntemi kullanarak yaptıkları çalışmada, toprak solunumunun, gelişim evresine doğrusal olmayan tepkisi ile farklı yaştaki meşcereelerde değişiklik gösterdiğini bulmuşlardır. alışmalarında toprak solunumunun varyasyonunu, toprak mikro iklimindeki değişikliklerden ziyade biyotik faktörlerdeki değişikliklerle açıklamışlardır. Ayrıca mikroorganizma solunumunun

toprak sıcaklığına toplam solunum veya kök solunumundan daha duyarlı olduğunu belirlemişlerdir.

Picea obovata ve *Carpinus betulus* dikilmiş topraklarda kökten türetilen solunumu ve ölü örtü kaynaklı solunumu ayırt etmek için hendek uygulaması ve ölü örtü dışlama yöntemleri kullanılan bir çalışmada, üst toprakta (0-10 cm) toprak solunumunu etkileyen ana faktörler yıl boyunca toprak sıcaklığı ve yazın toprak nemi içeriği olarak belirlenmiştir (Goncharova ve ark., 2020). Bu çalışmanın sonucunda, büyüme mevsimi boyunca kök solunumunun toplam solunuma katkısının ortalama olarak ladin plantasyonu için % 34 ve gürgen plantasyonunda % 38 olduğu görülmüştür. Ayrıca bir yıl boyunca ortalama olarak ölü örtü kaynaklı solunumun toplam solunuma katkısı ladin plantasyonu için % 27, gürgen plantasyonu için ise % 18 olmuştur.

İklimsel, edafik ve bitki örtüsü değişkenlerinin küresel ototrofik solunum üzerindeki doğrudan ve dolaylı etkilerinin; regresyon analizi ve ayrıca 499 gözlemle en güncel Küresel Toprak Solunum Veri Kümesine dayalı bir yapısal eşitlik modeli kullanarak değerlendirildiği bir çalışmada, ortalama ototrofik (kök solunumu) solunumun küresel karasal ekosistemlerde $358 \pm 283 \text{ g C m}^{-2} \text{ yıl}^{-1}$ olduğu ve orman ekosistemleri, tarım alanları ve otlaklar arasında anlamlı ölçüde farklılık ($p < 0.01$) olduğu bulunmuştur (Tang ve ark., 2020). Çalışmada ortalama ototrofik solunum, en yüksek yaprak dökmeyen geniş yapraklı ormanlarda ($633 \pm 397 \text{ g C m}^{-2} \text{ yıl}^{-1}$) ve en düşük yaprak döken iğne yapraklı ormanlarda ($226 \pm 170 \text{ g C m}^{-2} \text{ yıl}^{-1}$) bulunmuştur. Ayrıca çalışmada ototrofik solunumun, ortalama yıllık sıcaklık ve yağış, brüt birincil üretim, ekosistem solunumu ve toplam yer altı karbon tahsisi ile pozitif korelasyonu görülmüş, silt ve kil içerikleri ile negatif korelasyonu belirlenmiş ve kum içeriği ile maksimum % 68 oranında tek modlu bir ilişki gözlenmiştir.

Literatüre bakıldığında orman ekosistemlerinde toprak solunumu ve bunun çeşitli çevresel koşullarda ve vejetasyona göre değişimi hakkında oldukça fazla çalışma yapılmıştır. Ülkemizde de bu konu hakkında çalışmalar son yıllarda artmıştır. Ancak ekosistem karbon döngüsünü değerlendirmede önemli bir adım olan toprak solunumunun, kök ve mikroorganizma bileşenlerinin ayrımı yapılarak belirlenmesi dünyada uzun yıllardır çalışıldığı halde ülkemizde henüz yapılmamıştır. Bu çalışmada amacımız Artvin yöresinde bazı Doğu kayını (*Fagus orientalis* L.) ve Doğu ladini

(*Picea orientalis*) meşcerelerinde toprak solunumunu ve kök ve mikroorganizma bileşenlerini belirlemektir. Ayrıca bazı biyokimyasal toprak özellikleri ve kök kütlesini de belirleyerek toprak solunumu ve bileşenlerinin değişiminde diğer faktörler ile ilişkisini ortaya koymaktır.

Diğer yandan küresel ısınmayı önleme açısından orman alanlarının depoladıkları ve havaya bıraktıkları karbon miktarları günümüzün önemli konuları arasında bulunmaktadır. Karbon miktarları, toprak üstü biyokütle kadar toprak altı biyokütle ile doğrudan ilişkilidir. Bu bağlamda ormanların sahip oldukları toprak altı biyokütle miktarları buna bağlı olarak karbon depolama miktarları, toprak solunumu ile havaya bırakılan karbon miktarları gün geçtikçe önem kazanmaktadır ve bu depolanan ve salınan miktarın tespiti öncelikli konular arasındadır. Bundan dolayı bir amacımız da Artvin’de bazı ladin ve kayın meşcerelerinde; topraktaki kökler ve mikroorganizmaların, karbon depolama ve salınımlarındaki etkinliklerinin belirlenmesi ile bu durumun türe ve zamana göre değişiminin incelenmesidir.

Bunun yanı sıra Artvin yöresinde kayın ve ladin türlerinin bulunduğu ormanlarda uzun zamandan beri toprakların önemli fiziksel ve kimyasal özellikleri, ölü örtü ayrışması, kök kütlesi gibi toprakaltı ve toprak yüzeyi ile ilgili önemli ölçütleri hakkında oldukça fazla çalışmalar yapıldığı halde; topraktan salınan karbonun kök ve mikroorganizma kaynaklarına göre değerlendirilmesi henüz çalışılmamıştır. Bu bakımından çalışmamız, bu yöre ve bu türlerin bulunduğu meşcereler için yeni bir parametreyi ortaya koymasından dolayı ülkemiz için önemli olan bu türlerin yayılış alanlarında bilimsel verilere ve uygulayıcılara katkı sağlanması amaçlanmaktadır.

Bu amaçlarla sonraki bölümde tarif edilen alanlarda ve belirtilen yöntemle bu çalışma yürütülmüştür.

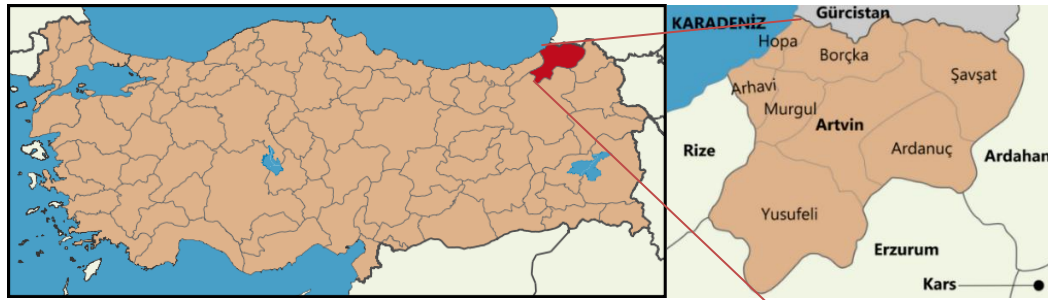
2 MATERYAL VE YÖNTEM

2.1 Materyal

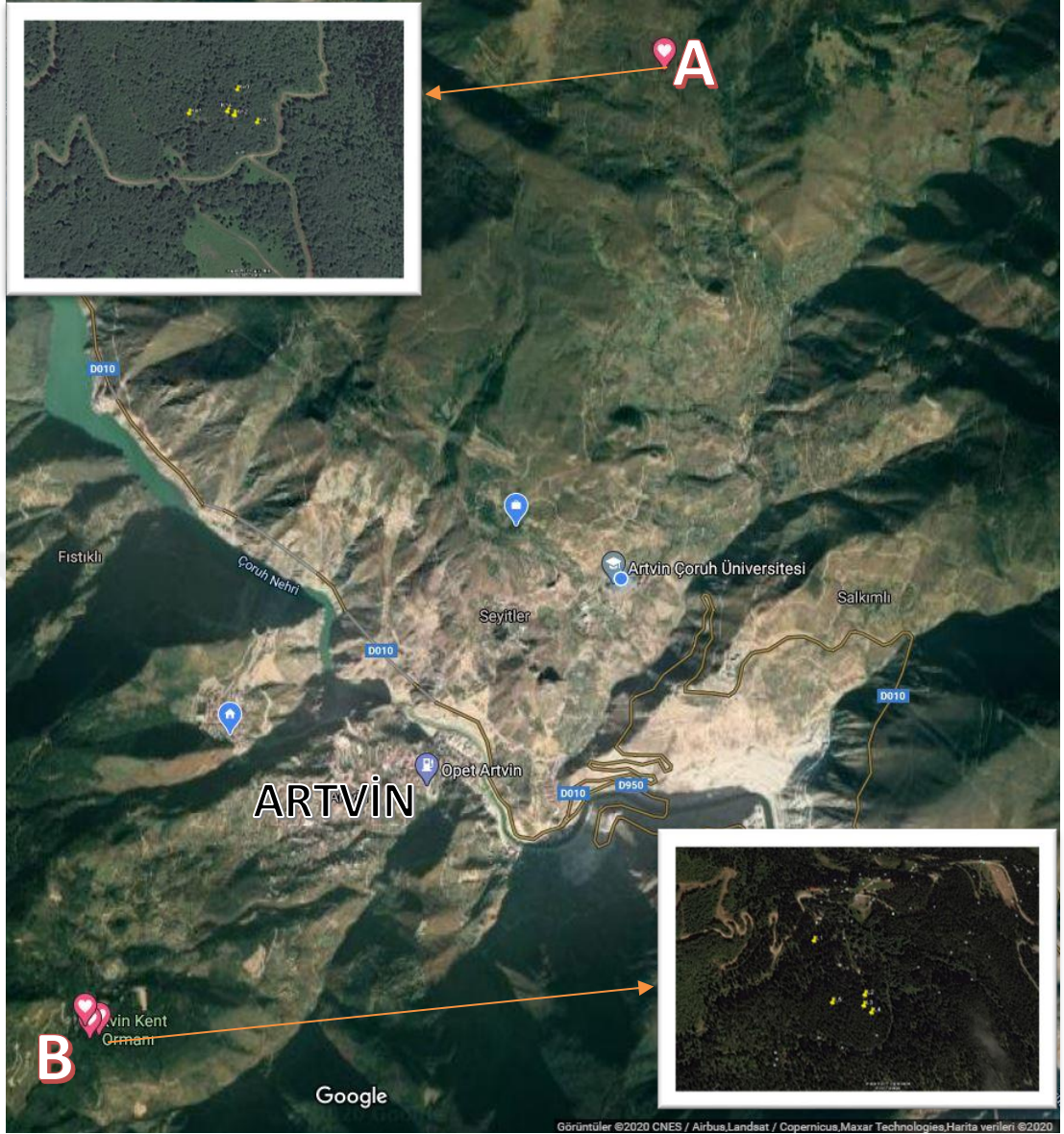
Çalışmanın araştırma materyalini Artvin ili Merkez sınırlarında Vezirköy mevkiinde yer alan kayın meşceresi altındaki topraklar ve kökler ile yine Artvin Merkez Kafkasör mevkiindeki ladin meşceresi toprakları ve kökleri teşkil etmektedir. Ayrıca arazide kullanılan Li-cor toprak CO₂ salınım ölçüm cihazı, çapa, kürek, balyoz, çelik sonda, örnek poşetleri ve laboratuvarında kullanılan sarf ve diğer malzemeler çalışmanın esas materyalleridir. Toprak ve kök örneklemelerinin yapıldığı araştırma alanlarının özellikleri aşağıdaki başlıklarda verilmektedir.

2.1.1 Mevki

Çalışma alanları, coğrafi yönden Doğu Karadeniz Bölgesi, Artvin İli sınırları içerisinde kalmakta (Şekil 3) ve ladin sahası Kafkasör mevkiinde; kayın sahası ise Vezirköy mevkiindedir (Şekil 4). Ladin meşceresi idari yönden Artvin Orman Bölge Müdürlüğüne bağlı, Artvin Orman İşletme Müdürlüğü'nün Artvin Orman İşletme Şefliğindeki 49 no'lu bölmededir. Ladin meşceresindeki çalışma alanı, Artvin şehir merkezine 15 km mesafededir ve 41° 09' 43" kuzey enlemleri ile 41° 47' 20" doğu boylamları arasındadır. Kayın meşceresi ise idari yönden yine Artvin Orman Bölge Müdürlüğüne bağlı, Artvin Orman İşletme Müdürlüğü'nün Saçinka Orman İşletme Şefliğindeki 123 no'lu bölmededir. Kayın meşceresindeki çalışma alanı, Artvin şehir merkezine 20 km mesafededir ve 41° 14' 28" kuzey enlemleri ile 41° 51' 17" doğu boylamları arasındadır. Kayın ve ladin sahaları arasındaki yatay mesafe ise 10 km'dir.



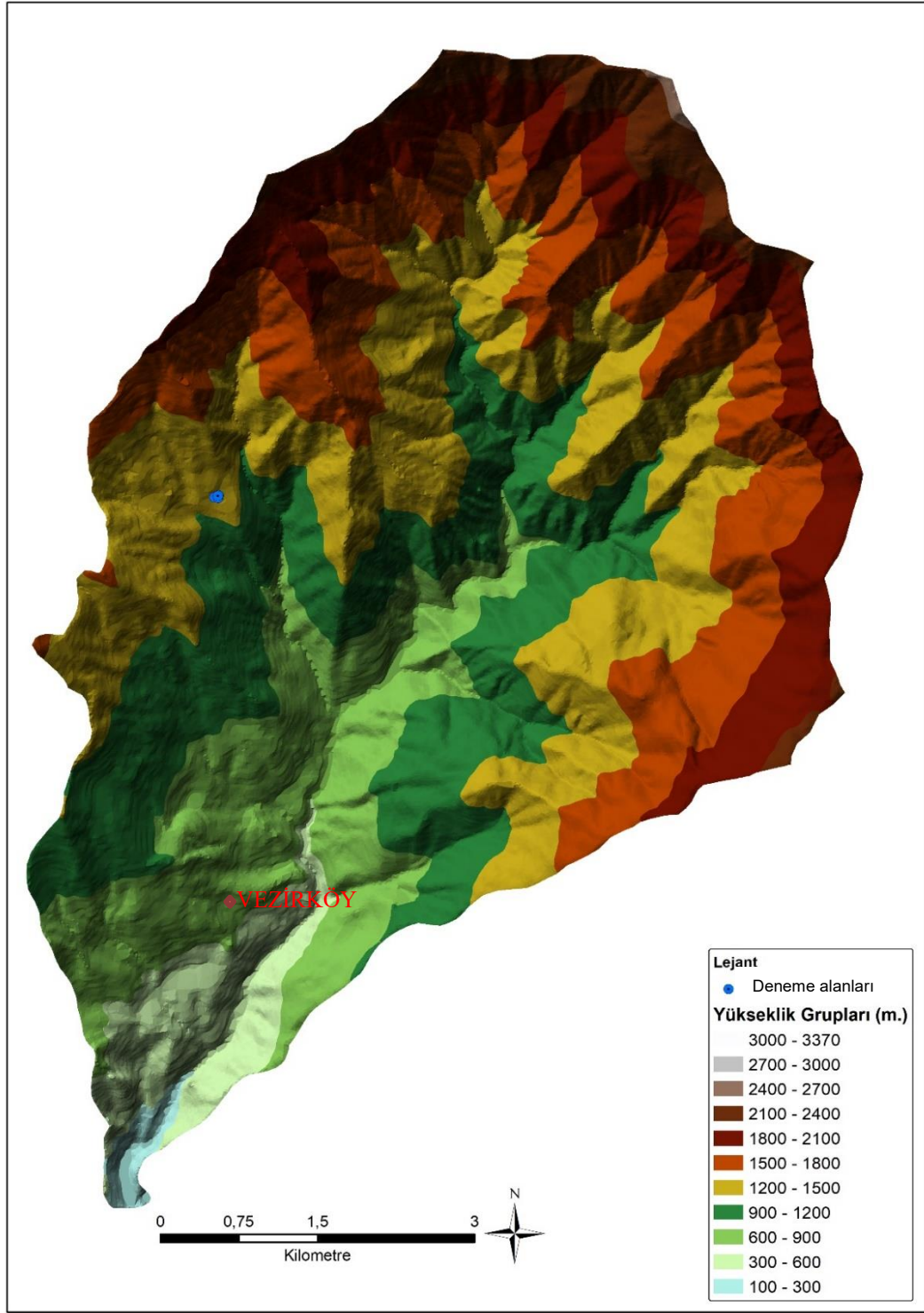
Şekil 3. Artvin ili ve ülkedeki konumu



Şekil 4. Kayın (A) ve ladin (B) sahalarının mevkileri ve Artvin il merkezine göre konumları

2.1.2 Topoğrafya

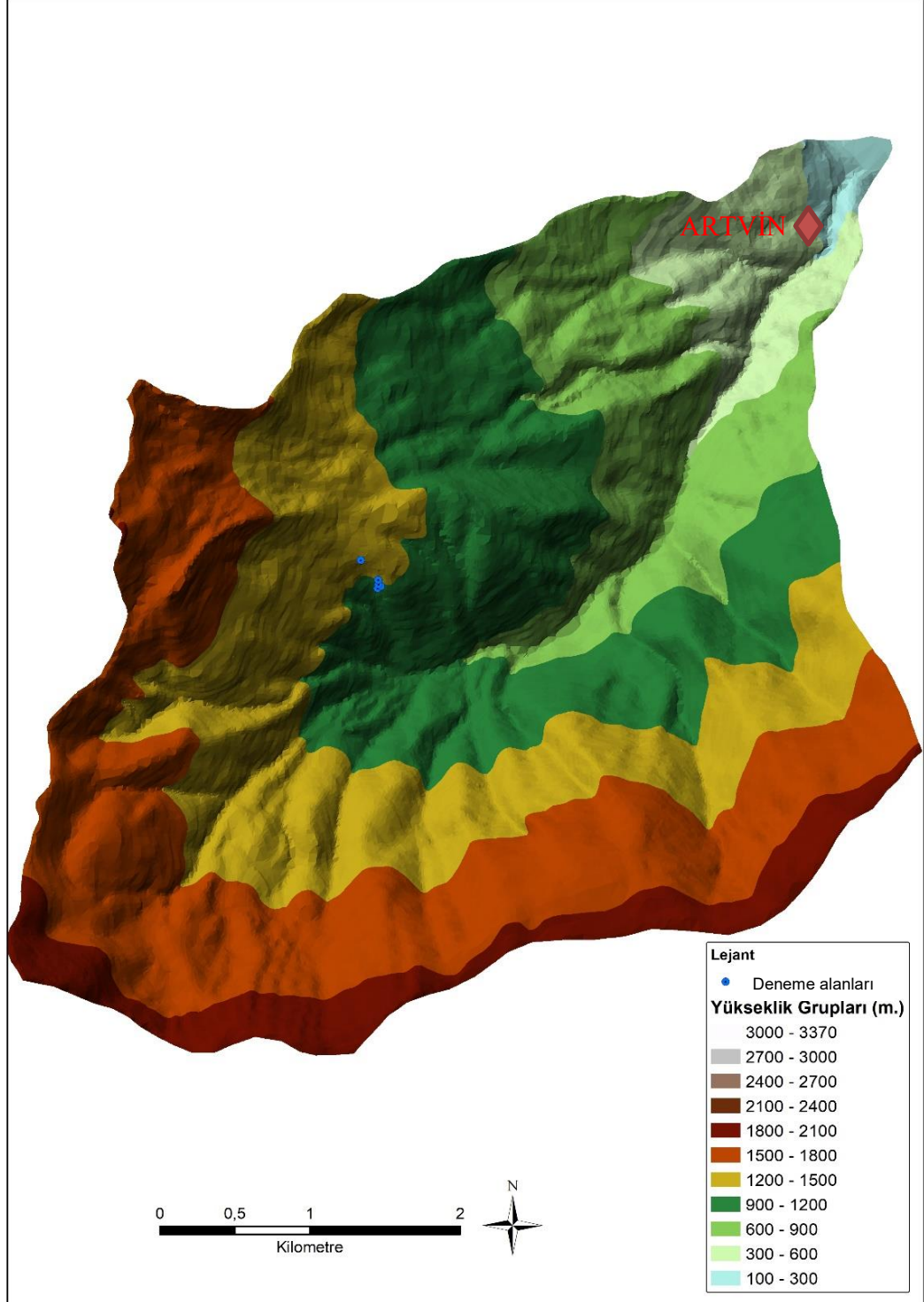
Kayın meşceresinin bulunduğu araştırma alanı Godrahav Deresi Havzası içerisinde olup ve bu havza yapısı itibarıyla genelde orta ve yüksek dağlık bir arazi yapısına sahiptir (Şekil 5). Havzanın başlangıç kısmında kısmen az eğimli alanlar bulunmakla birlikte yüksek rakımlarda arazi şekli artan bir eğimle (% 60 ila 70) değişebilmektedir. Kayın meşceresinin bulunduğu araştırma sahası ise havzanın geneline nispeten daha az eğimlidir (% 5-10). Havzanın en yüksek noktası 2469 m. ile Kesik Tepe, en alçak noktası ise 250 m. ile Aydoğan Mahallesi'dir. Kayın meşceresi ise güneydoğu bakıda ve 1250- 1300 m yükseltiler arasındadır.



Şekil 5. Kayın sahasının bulunduğu havzanın topoğrafik haritası

Ladin meşceresinin bulunduğu araştırma alanı ise ana kolu Fabrika deresi olan havzada kalmaktadır (Şekil 6). Havzanın en yüksek noktası güneybatısında Keçi Dağı (2047 m.) ve en alçak noktası mansabında Korzul mahallesidir. Havzada dik ve özellikle sarp alanlar çoğunluktadır. Ladin sahasının bulunduğu araştırma alanının

eğimi % 10-20 arasındadır. Araştırma alanı yukarı orta yamaçlarda bulunmakta, güney doğu bakıda ve 1200-1300 m yükseltiler arasındadır.



Şekil 6. Ladin sahasının bulunduğu havzanın topoğrafik haritası

2.1.3 İklim

Birçok yönden geçiş alanı niteliği olan Artvin yöresi, iklim karakteristikleri itibariyle de bir geçiş bölgesi özelliğine sahiptir. Artvin ve civar yörelerinde; Karadeniz kıyısı olan kesiminde oseyanik (kurak mevsim bulunmayan) iklim kuşağı, Karadeniz ardında yarı karasal bir iklim ve daha iç kesimlerde karasal bir Doğu Anadolu iklim kuşağı bulunmaktadır (Anonim, 2005; Yüksek ve Ölmez, 2002).

Doğu Karadeniz bölgesinde kuzeydoğu-güneybatı istikametinde uzanan dağlar nemli hava kütlelerinin iç kesimlere doğru ilerlemesine mani olmakta ve buna mukabil Yalnızçam Dağları, Doğu Anadolu karasal ikliminin etkisiyle gelen soğuk hava kütlelerinin sahil kesimine ilerlemesine set olmaktadır. Çoruh nehrinin Karadeniz’e ulaştığı vadinin sahile yakın kısımlarından itibaren Artvin’in yakın kesimlerine doğru ılıman deniz kıyısı ikliminin belirtileri görülürken, iç kesimlere gidildikçe bu etki ortadan kalkmakta ve kademeli bir biçimde karasal iklime geçiş söz konusudur (Ceylan, 1995).

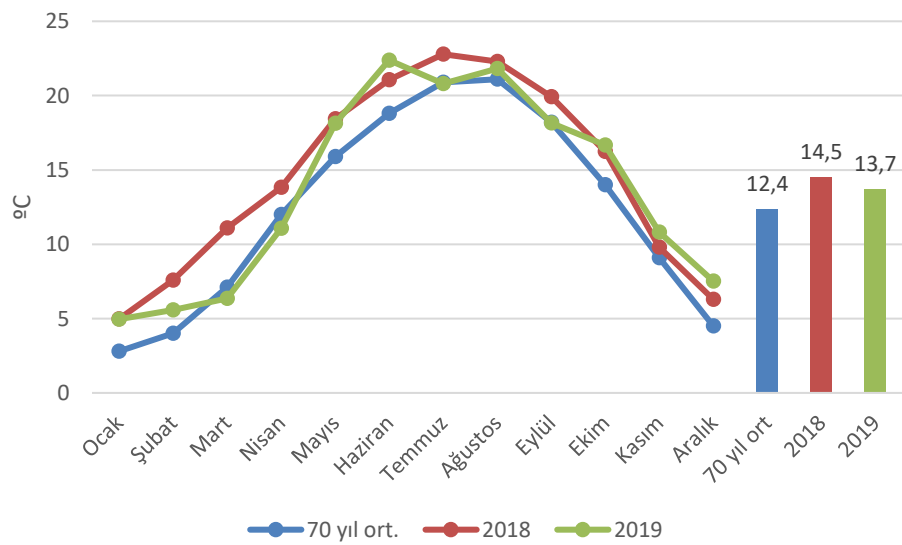
Doğu Karadeniz bölgesinde bulunan Artvin ilinin iklim özelliği, kışların özellikle iç kesimlerin vadi tabanlarında ve sahil kesiminde ılık olduğu, yazların sıcak olduğu ve sahil kesiminde aşırı yağışların sıkça görüldüğü tiptedir. Çoruh Nehri’nin ve vadi boyunca kıyıda gelen nemli havanın etkisiyle hem denizin etkisi görülmekte hem de arazi şekli yüksek olduğundan yağışlar sık görülmekte ve sis oluşmaktadır (Yüksek ve Ölmez, 2002). Araştırma alanımızın iklim verileriyle ilgili yağış ve sıcaklık değerleri Artvin Meteoroloji İstasyonu’nun 70 yıllık (1949-2018) verilerinden elde edilmiştir (URL-1, 2019).

2.1.3.1 Sıcaklık

Çoruh nehrinin ve bağlı kollarının dağılımı nedeniyle bölge derin vadilerle yarılmış vaziyettedir. Artvin yöresinde bu havza yapıları, bakı ve yükselti faktörleri ile beraber engebeli yapının etkisi nedeniyle sıcaklığın kısa mesafelerde değişerek dağılımına sebep olmaktadır. Çoruh Vadisi boyunca doğuda olan yamaçlar ve dağlık araziler, batıda kalanlara nispeten akarsuların etkisiyle daha derin ve daha sık yarılmış haldedir. Dolayısıyla kısa mesafede bakı durumunun değişmesi sıcaklığın da aynı oranda değişmesine sebep olmaktadır. Çoruh Nehrinin bulunduğu seviye ile dağlık arazilerin

zirveleri arasında 2750 ila 3000 m civarı yükselti farkı olması ortalama sıcaklığın düşmesi ile kendini göstermektedir (Ceylan, 1995).

Artvin Meteoroloji İstasyonu'nun (yükselti 610 m) 70 yıllık (1949-2018) sıcaklık ölçümü verilerine göre, Artvin ilinin yıllık ortalama sıcaklığı 12.4 °C'dir. Bu gözlem verilerine göre yılın en sıcak ayı Ağustos (21.1 °C) ayı, en soğuk ayı ise Ocak (2.8 °C) ayı olmaktadır (Şekil 7 ve Tablo 1). Yıllık maksimum sıcaklıklar ortalaması en yüksek 26.3 °C ile Ağustos ayında, minimum sıcaklıklar ortalaması ise – 0.2 °C ile Ocak ayında görülmektedir. 70 yıllık sıcaklık gözlemlerine göre kaydedilmiş en yüksek sıcaklık 43 °C (1961), en düşük sıcaklık -16.1 °C (1950)'dir (URL-1, 2019). Ortalama sıcaklık değerleri çalışma alanımızın yükseltisine (1210 m) göre enterpole edildiği takdirde ortalama sıcaklıklar 3 °C kadar düşük olacak ve dolayısıyla çalışma alanlarımızda yıllık ortalama sıcaklık 9,4 °C olarak bulunacaktır. Artvin meteoroloji istasyonunun çalışma dönemlerimize ait sıcaklık verilerine göre ise ortalama yıllık sıcaklık 2018 yılında 14,2 °C, 2019 yılında ise 13,7 °C'dir (Şekil 7).



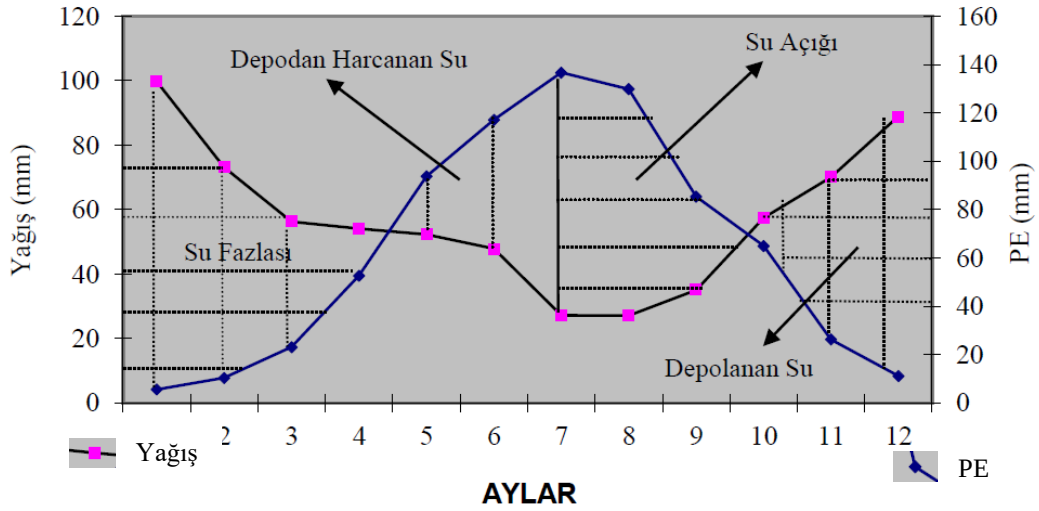
Şekil 7. Artvin Meteoroloji İstasyonu'ndan 70 yılın ortalaması, 2018 ve 2019 yılları için aylık ve yıllık ortalama sıcaklık değerleri

2.1.3.2 Yağış

Artvin'in yağış düzeni; yaz kuraklığının Akdeniz iklimindeki kadar şiddetli derecede olmadığı, bununla beraber en çok yağışın olduğu periyodun kış mevsiminde görüldüğü bir rejimdir. Ayrıca bahar ve güz yağış miktarları arasındaki farkın Akdeniz

Bölgesi’nde olandan az olduğu, Akdeniz’in yağış rejimi ile Karadeniz rejimleri arasında bir geçiş iklimi tipine sahiptir. Yılın çoğu yağışlı olan Karadeniz iklimi ile karasal iklim arası bir geçiş bölgesi özelliği göstermektedir (Ceylan, 1995).

Thornthwaite metoduyla yapılan analiz sonucunda Artvin ili için nemli, sıcaklığı düşük, Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında su noksanı pek az görülen bir iklim tipi (Şekil 8) olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca denizselliğin etkisinin de kısmen görüldüğü bir iklim tipidir (Yüksek ve Ölmez, 2002). Artvin meteoroloji istasyonunun yükseltisini (610 m) ve çalışma alanlarımızın ortalama yükseltisini (1210 m) dikkate aldığımızda, çalışma alanlarımız için buharlaşma daha düşük ve yağış miktarı daha fazla olacaktır ve su noksanı görülmeyecektir.



Şekil 8. Thornthwaite yöntemine göre Artvin’in su bilançosu grafiği

Çoruh Vadisi aşağı kısmının kuzeybatı-güneydoğu şeklinde olan doğrultusu nedeniyle sahilden gelen nemli hava iç taraflara doğru taşınsa da, bu nemli hava kütleleri içe doğru taşınmakta iken dağların etkisiyle yükselirken yoğunlaştığından yağışın çoğu sahil ile sahile yakın mevkilerde olmaktadır. Vadi tabanından yamaçlara doğru ve yükselti arttıkça artan yağışlar bakı durumuna da bağlıdır. Artvin’den kıyıya doğru Çoruh Vadisi’nin uzanışı, gelen nemli havanın da etkisiyle, yağış miktarlarının yer yer kısa aralıkta değişimine neden olmaktadır (Ceylan, 1995).

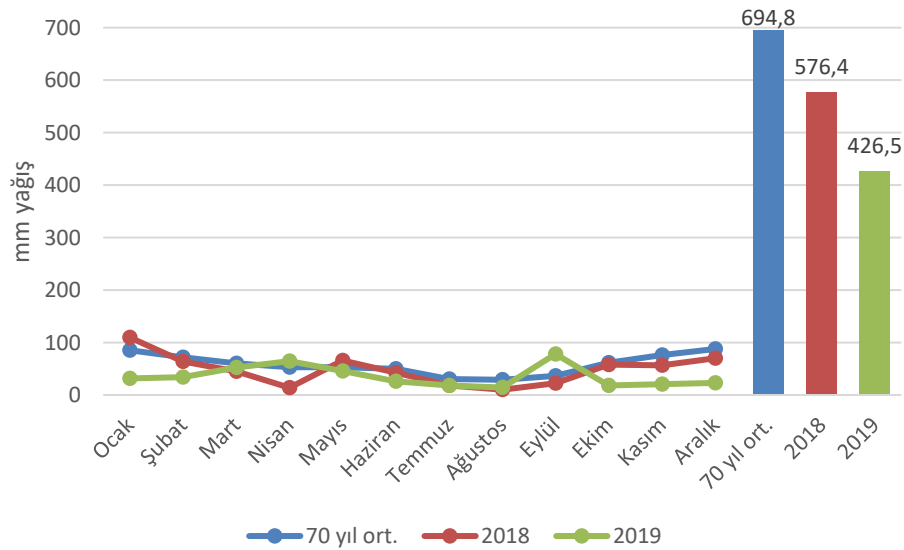
70 yıllık gözlem verilerinin ortalamasına göre Artvin ili için yıllık ortalama yağış miktarı 694,8 mm’dir. Ortalama yağış miktarı en düşük Ağustos ayında (29 mm), en

fazla Aralık ayındadır (87 mm) (Tablo 1). Ortalama yağış değerleri çalışma alanımızın yükseltisine (1210 m) göre enterpole edildiği takdirde ortalama yıllık yağış miktarı 300 mm kadar fazla olacak ve dolayısıyla çalışma alanlarımızda yıllık ortalama toplam yağış 994,8 mm olarak bulunacaktır.

Tablo 1. Artvin Meteoroloji İstasyonu'nun 1949-2018 (70 yıllık) yılları arasındaki bazı iklim verileri

	AYLAR												
İklim Elemanları	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Yıllık
Ort. Sıcaklık (°C)	2,8	4,0	7,1	12,0	15,9	18,8	20,9	21,1	18,2	14,0	9,1	4,5	12,4
Ort. Max. Sıc.(°C)	6,2	8,3	12,4	17,9	21,9	24,2	25,8	26,3	23,9	19,6	13,3	7,8	17,3
Ort. Min Sıc. (°C)	-0,2	0,4	2,9	7,2	11,2	14,3	16,9	17,1	14,2	10,2	5,7	1,7	8,5
Ort. Yağış (mm)	85,5	71,9	60	53,2	53,2	49,7	30,6	29	36,4	61,6	76	87,7	694,8

Kış ayları için ortalama yağış miktarı 81,7 mm, ilkbahar mevsimine ait ayların yağış ortalaması 55,46 mm, yaz ayları için ortalama yağış miktarı 36.43 mm, sonbahar mevsimine ait ayların ortalama yağış miktarı 58 mm'dir. 70 yıllık gözlem verileri ortalamasına göre kış mevsimi (% 35) en yağışlı iken yaz mevsimi (% 15) en kurak mevsimdir. Yağışın çoğu (% 85) bahar, güz ve kışta; az kısmı (15) ise yaz mevsiminde olmaktadır. Artvin meteoroloji istasyonunun çalışma dönemlerimize ait yağış verilerine göre ise ortalama yıllık toplam yağış 2018 yılında 576,4 mm, 2019 yılında ise 426,5 mm'dir (Şekil 9).

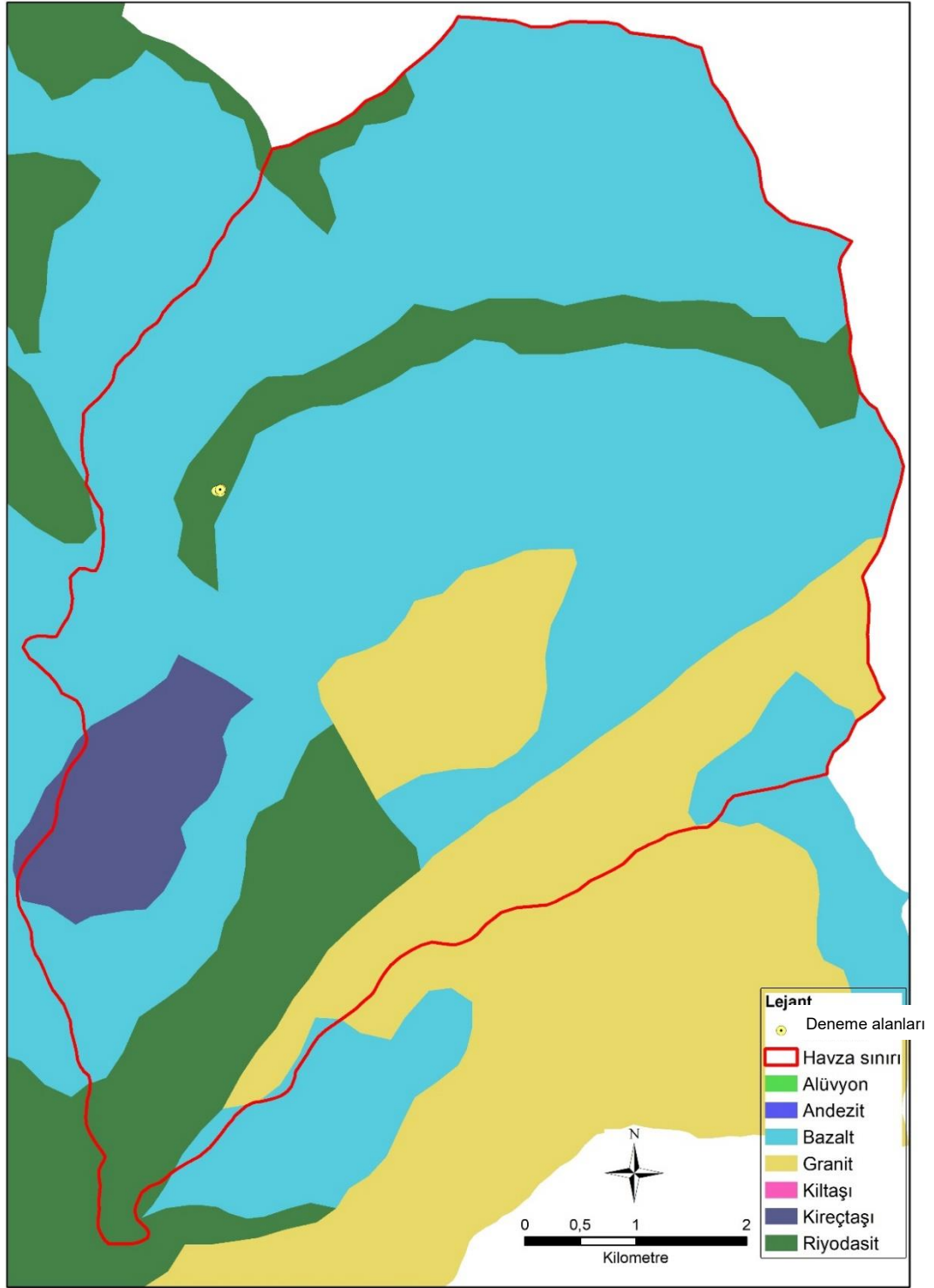


Şekil 9. Artvin Meteoroloji İstasyonu'ndan 70 yılın ortalaması, 2018 ve 2019 yılları için aylık ve yıllık toplam yağış değerleri

2.1.4 Jeolojik Yapı ve Genel Toprak Özellikleri

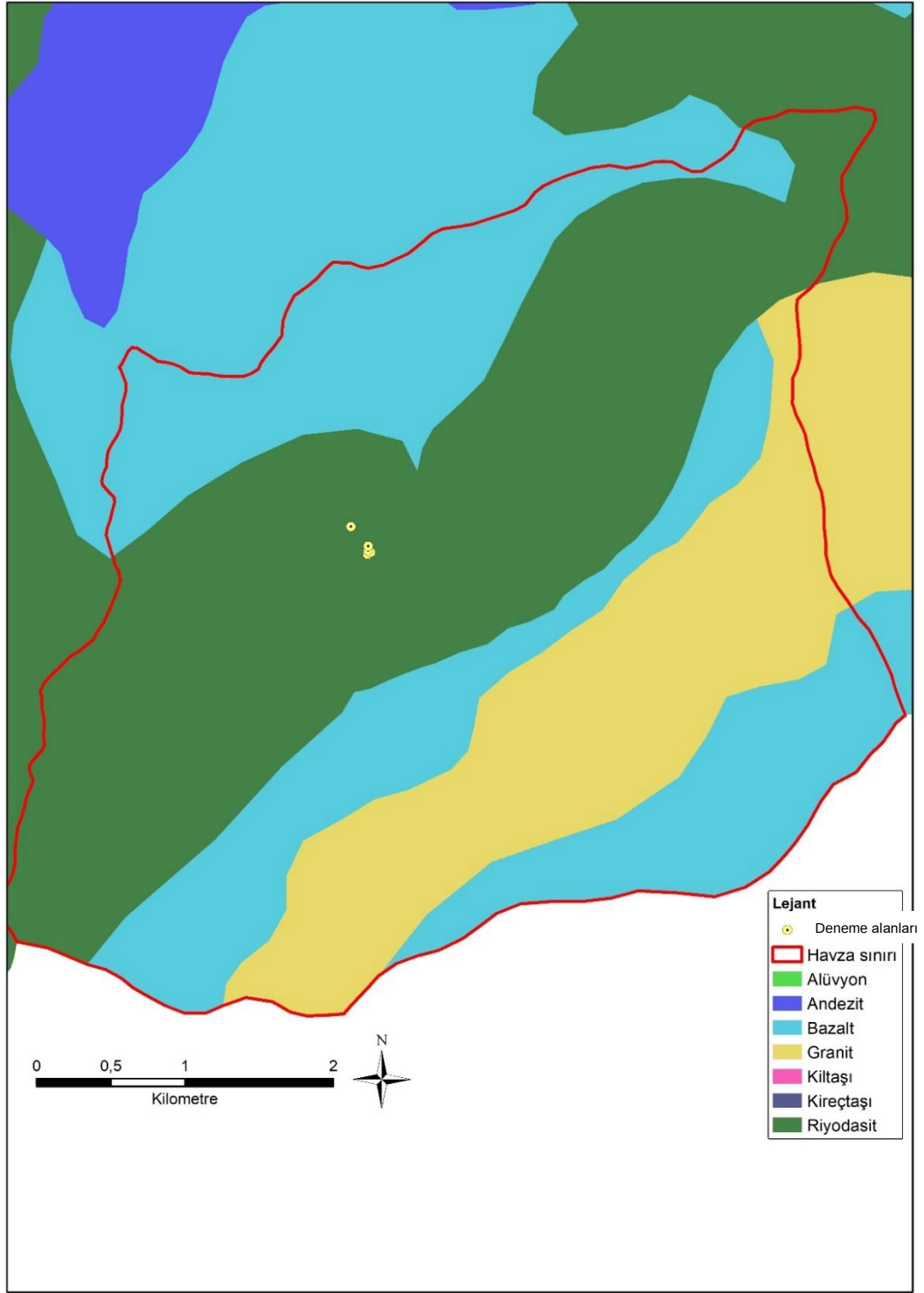
Artvin, jeolojik olarak Kuzey Anadolu orojenik kuşağı üzerinde bulunmaktadır. Bölgenin en eski arazisini teşkil eden başkalaşım serisi, Çoruh vadisinin aşağı kısımlarından başlayıp Sirya üzerinden kuzeydoğu doğrultusunda uzanmaktadır (Gattinger, 1962). Seri içinde kuvars yanı sıra başkalaşmış lavlar yer alır. Ayrıca şistlerin, pirit içeren siyah şist, mikaşist ve feldispat içeren formları bulunur. Şistler yanı sıra gnaysların da klorit biyotit içeren formları görülmektedir. Bu minerallerin içine doğru girmiş büyük taneler halinde ve pembe renkte granit ve granodioritler yer almaktadır (Gattinger, 1962; Ketin, 1949). Başkalaşmış serinin üst tarafında Jura alt kretase serisi gelmiş durumdadır. Bu serinin altlarında koyu renkte diabaz, serpantin, andezit ve ayrıca marn ve tuf içeren kalkerler bulunmaktadır (Ketin, 1949). Artvin ve civarının en büyük jeolojik yapısı üst kretase volkanik serisi ve volkano-sedimanter serisidir. Bu seri, asit ve nötr lavlarla bunlardan meydana gelen anglomera ve tüflerden, bunlar arasında ince yataklar halinde yer alan ve çoğunluğu kırmızı renkli olan marn ve kalker tabakalarından oluşmaktadır. Lav serisi içerisinde dasit, andezit, kiparit, kuvarsporfirler bulunmaktadır (Gattinger, 1962; Ketin, 1949). Jura-Kretase kuzeydoğuda Çoruh vadisindeki başkalaşım dizi üzerindedir ve kırmızı konglomera çakılları koyu renkli bazik lavlar, kırmızı radyolorit ve marn parçaları mikaşist, kuvars, serpantin renkli şist parçaları bulunur. Üst kretase genel olarak andezitik ve bazaltik lavlardan ve tüflerden ve anglomeralardan meydana gelmektedir. Üst Kretase-Paleosen serisi, Çoruh nehrinin kuzeydoğusundaki Bakırköy, Ahlat, Varlık ve Sümbüllü köylerinin bulunduğu alanlarda görülebilmektedir. Artvin'in kuzeybatısında, Kuvarshan (Bakırköy) yakınında Üst Kretase-Paleosen Serisi'nin üzerinde kaide konglomerası ile başlayan bir seri gelmektedir (Ketin, 1949). Bölgenin tektonik yapısı karmaşık ve müşkül bir durum gösterdiğinden, blok faylanmaların da ortaya çıkmasına ve farklı büyüklükte horst ve grabenlerin meydana gelmesine neden olmuştur. Blok tektonikler diye isimlendirilen bu yapılardan grabenli bölgeyi Sümbüllü Köyü ve Seyitler Köyü çevreleri meydana getirirken, yükselmiş bloğu (horst) ise Bakırköy, Erenler ve Beşagıl köylerinin bulunduğu mevki teşkil etmektedir (Ceylan, 1995).

Kayın sahasının bulunduğu havza alanının jeolojik yapısı incelendiğinde, alanda bazalt, kireç taşı, granit ve riyodasit olmak üzere dört farklı anakaya grubunun olduğu belirlenmiştir ve deneme alanları da riyodasit anakayasası üzerindedir (Şekil 10).



Şekil 10. Kayın sahasının bulunduğu havzanın jeolojik haritası

Ladin sahasının bulunduğu havza alanının jeolojik yapısı incelendiğinde, alanda yine bazalt, granit ve riyodasit olmak üzere üç farklı anakaya grubunun olduğu belirlenmiştir ve deneme alanları da riyodasit anakayasına üzerindedir (Şekil 11).



Şekil 11. Ladin sahasının bulunduğu havzanın jeolojik haritası

Andezit-bazalt anakayasası (oluşan topraklar) : Genelde; meta andezit, meta bazaltlardan oluşmaktadır. Koyu yeşil ve siyah renklidir. Bu karmaşık diziyi çeşitli istikametlerde kesen kuvars damarları bulunmaktadır. Dizinin petrografik incelemesinde andezit-bazalt olmak üzere iki değişik kayaç türü tespit edilmiştir. Aynı volkanizmanın ürünü

olduğu ve kronolojik ve kimyasal olarak aralarında çok az fark bulunduğu için bazalt ve andezit aynı birim altında gösterilmiştir (Günlü, 2003).

Bazalt andezit dış püskürük kayalar olup nötr veya bazik karakterdedir. Balçık veya killi balçık türünde topraklar verirler. Granit topraklarına göre daha verimli olup, ayrışmaları iyi olduğundan derin ve orta derin topraklar verirler. Araştırma alanındaki anakayaların iyi bir şekilde ayrışarak havalanma geçirgenlik koşulları iyi olan derin topraklar meydana getirdiği gözlenmiştir. Topraklar, oluştukları anakayanın özelliğini yansıttıklarından, granitten olan topraklar kırmızımsı, andezit bazalt kaynaklı topraklar ise boz-esmer renkli görünümündedir (Güner, 2000). Bazalt ve K bakımından zengin andezitler çabuk ayrışan kalsiyum mineralleri içerdiklerinden kolay ayrışarak, oldukça derin topraklar vermişlerdir.

Granit anakayası: Granitlerde % 70 kadar feldspatlar ve % 20 kadar kuvars bulunur. Koyu renkli biotit gibi mineraller % 10 kadardır. Granitler derinlik kayaları olup iri kristallidirler. İri taneli oldukları için genellikle fiziksel ayrışmaları hızlıdır. Ayrışma sonunda bileşimindeki minerallerde kendini meydana getiren elementlere ayrışır. Böylece genellikle kumlu balçık ve balçık türünde topraklar meydana getirirler. Çıplak ve çok eğimli yerlerde sıg topraklar verirler. Üzeri bitki örtüsü ile kaplı düz ve az eğimli yerlerde derin topraklar verirler. Bu kayaç; genellikle gevşemiş bir C_v horizonuna sahip olup bu katmanın su tutma kapasitesi nispeten yüksek ve köklerin kolayca girebileceği kadar gevşek olduğundan yaz kuraklığı olan ülkemizde orman ağaçları için iyi bir yetiştirme ortamı olur. Granit anataşından kaba, bazen de orta tekstürlü topraklar meydana gelir. Bunların drenaj ve havalanma koşulları iyidir. Birçok orman alanında iğne yapraklı ve yapraklı meşcereler bu anataştan gelişmiş topraklarda iyi bir gelişim yapmaktadırlar (Günlü, 2003). .

Riyodasit anakayası: Bu kayalar plütonik kayalardan granit ve granodiyarit-tonalitin volkanik karşıtlarıdır. Kuvars miktarının % 20'nin üzerinde bulunduğu kayalardır. Beyaza yakın renkler gösteren kayalardır. Ancak kırmızımsı, kahverengimsi, morumsu, yeşilimsi, grimsi gibi değişik renk tonlarına da sahip olabilirler. Araştırma alanında bu kayacın bulunduğu örnek alanlarda genellikle kumlu killi balçık ve killi balçık türünde topraklar meydana getirdiği görülmüştür. Bu toprakların taşlılığı çok

olup, genellikle derin (75-100) ve pek derin (100<) sınıfında yer almaktadırlar. (Günlü, 2003).

Artvin İlinde altı grupta toprak tipleri görülmektedir. Bunlar, kahverengi ve kireçsiz kahverengi orman toprağı, kırmızı topraklar, sarı podzolik topraklar, yüksek dağ çayır toprakları, alüviyal ve koluviyal topraklardır (Anonim, 1987; Yüksek ve Ölmez, 2002).

Çalışma sahalarımızda kahverengi orman toprağı ile kireçsiz kahverengi orman toprak tipleri görülmektedir. Kahverengi orman toprakları genellikle Paleozik başkalaşım kayaçları ve Jura-Kretase kalkerleri üzerinde meydana gelmiştir. Toprak profilinde horizonların sıralanışı A/B/C şeklinde olmaktadır. Bazen toprak profilinde B horizonu bulunmayabilir. Genel olarak A horizonu iyi derecede gelişmiştir, koyu kahve renkte ve kırıntılı bir strüktür yapısı vardır. Horizonların arasında geçiş kademelidir. B horizonu açık kahve renkte, bazı yerde kırmızımsı kahverengi renkte, strüktürel yapısı yuvarlağımsı ya da köşeli blok şeklindedir. B horizonunun alt kısmına doğru bazen kireç birikmesi görülebilir. Toprak reaksiyonu hafif asit derecede ya da nötr karakterdedir. Üzerinde bulunan orman katmanı esasen ladin, kayın ve göknar türleridir ve genelde geniş yapraklı türler altında bulunur. Bu toprakların olduğu alanlarda yıllık ortalama yağış 400 ila 1000 mm arasında değişim gösterir. Bu tip toprakların meydana gelmesinde fazla miktarda kalsiyum kolloidleri içermeleri ve yaşlarının genç olması etkilidir. Ayrıca etkili olan toprak gelişim olayları kireçleşme ve bir miktar da podzolleşmedir. Bu tip toprakların yukarı enlemlerde veya yüksek kesimlerde genellikle iğne yapraklı türlerin olduğu alanlarda olanlarına subarktik kahverengi orman toprakları da denilmektedir (Anonim, 1987; Yüksek ve Ölmez, 2002).

Çalışma alanımızda yer alan Kireçsiz Kahverengi Orman toprakları ise değişik ana kayalar üzerinde gelişmişlerdir. Ana kaya ve organik madde içeriğine göre rengi ve baz miktarı değişim gösterir. Toprak profilinde horizonların sıralanışı A/B/C şeklinde olmaktadır. Eğim derecesinin nispeten yüksek olduğu yerlerde, genelde A ve C horizonlarının gelişim gösterdiği bilinmektedir. A horizonunda, toprak türü killi-kumludur, organik madde içerikleri yüksektir ve koyu kahve renktedir. Bazen toprak profilinde B horizonu görülmeyebilir. A horizonu iyi gelişmiştir. A horizonu

gözenekliliği iyi olan ve kırıntılı bir strüktürel yapıya sahiptir. B horizonunda, A horizonundaki derecesinde belirgin olmayan bir gelişim görülür. B horizonunda silikat mineralleri bakımından zengin yapı elemanları da bulunabilir. Genelde B horizonunda kil birikmesi gayet az olmaktadır veya yoktur. Bu horizonun teşekkülü, yıkanmadan ziyade ayrışma neticesinde meydana gelen değişimler ile alakalıdır. Bu katman çoğu zaman bulunmayabilir ve Al'den hemen sonra C horizonu gelebilmektedir. Horizonların arasında geçiş kademelidir (Yüksek ve Ölmez, 2002).

Bu toprakların bulunduğu alanların arazi yüzü şekli çoğunlukla sarp veya engebeli olmasından dolayı genellikle bunlar sıgıdırlar ve gelişmesi iyi bir profili pek nadir bulunur. Bu toprakların bulunduğu alanlarda yıllık ortalama yağış 400 ila 1250 mm arasında değişim göstermektedir. Artvin yöresindeki Kireçsiz Kahverengi Orman toprakları genelde ladin, kayın ve göknar türlerinin bulunduğu orman ekosistemleri altındadır. Bu toprak tipi Üst Kretase bazaltik, andezitik ve dasitik lav, tuf ve aglomeraları ile Eosen yaşlı andezit, trakit ve bazaltlardan meydana gelmiştir (Anonim, 1984).

Çalışma alanlarımızın toprak yüzeyinde humus tipi, çürüntülü mul tipi humus olarak görülmektedir. Bu humus tipi kayın sahasında daha belirgin ve kalın şekilde bulunmakta ve 2 cm döküntü yaprak tabakası (O_L), 1 cm yarı ayrışmış çürüntü tabakası (O_F) ve 2 cm kadar ayrışmış humus tabakası yer almaktadır. Ladin sahasında ise bu humus tipi, daha ince şekilde yer almakta ve 1 cm'den daha az ve ince döküntü yaprak tabakası (O_L), 1 cm kadar yarı ayrışmış çürüntü tabakası (O_F) ve 1 cm'den az ayrışmış humus tabakası yer almaktadır.

Çalışma alanlarımızın toprak profilini incelediğimizde yukarıda bu yöre için bahsettiğimiz karakteristik yapıyı göstermektedir. Kayın sahasında eğim az olduğu için A/B/C horizon yapısı belirgin şekilde görülmektedir ve toprak profiline bakıldığında en üstteki organik katmanın altında humusun etkisi altında 20 cm kadar (0-20 cm) yıkanma horizonu (A_H) yer almaktadır. Bu horizon organik madde ve köklerin etkisi ile granüler ve gevşek yapıdadır. Bunun altında kilin yoğunlaştığı nispeten topaklı 40 cm kadar kalınlıkta (20-40 cm) oluşum aşamasında bir birikme horizonu (B_w) yer almaktadır. En altta ise kireç taşlarının nispeten görüldüğü ana materyal ayrışması olan C horizon görülmektedir (Şekil 12).



Şekil 12. Kayın sahasında açılmış bir toprak profili.

Ladin sahasında ise yine organik katmanın altında 10-15 cm yıkanma horizonundan sonra birikme tam gelişmeden taşların bulunduğu ayrışma horizonuna (Cv) geçiş görülmektedir. Ayrışma ve yıkanma bir arada olan bu horizonta indirgenme ve ayrışmanın etkisi ile koyu renklemeler göze çarpmaktadır (Şekil 13).



Şekil 13. Ladin sahasında açılmış bir toprak profili

2.1.5 Bitki örtüsü

2006-2026 Amenajman planlarına göre Saçinka Orman İşletme Şefliği sınırları içinde bulunan ağaç, ağaççık ve çalı ile otsu bitkiler aşağıda verilmiştir.

Asli ağaç türleri; Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.), Doğu Karadeniz göknarı (*Abies nordmanniana* (Stev.) Mattf.), Doğu ladini (*Picea orientalis* L.), Fıstık çamı (*Pinus pinea* L.), Doğu kayını (*Fagus orientalis* Lipsky), Saplı meşe (*Quercus pedunculata*), Doğu gürgeni (*Carpinus orientalis* Miller), Kızılağaçtır (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.). Diğer ağaç türleri, Titrek Kavak (*Populus tremula* L.), Kestane (*Castanea sativa* Miller), Kafkas ıhlamuru (*Tilia rubra* DC.), Akçaağaç (*Acer* L.), Karaağaç (*Ulmus glabra* Huds.), Kayacık (*Ostrya carpinifolia* Scop.), Üvez (*Sorbus torminalis* (L.)), Söğüttür (*Salix* L.). Ağaççık ve çalı türleri ise Porsuk (*Taxus baccata* L.), Ormangülü (*Rhododendron ponticum* L., *Rhododendron caucasicum* Pallas, *Rhododendron flavum* (L.) Sweet), Huş (*Betula pendula* Roth.), Ayı üzümü (*Vaccinium arctostaphylos* L.), Karayemiş (*Prunus laurocerasus* L.), Fındık (*Corylus avellana* L.), Çoban püskülü

(*Ilex aquifolium* L.), Orman sarmaşığı (*Hedera helix* L.), Ahlat (*Pyrus elaeagnifolia* Pall.), Yabani armut (*Pyrus amygdaliformis* Vill.), Yabani elma (*Malus silvestris* Mill.), Küçük Trabzon hurması (*Diospyros kaki* Thunb.), Kızılcık (*Cornus mas* L.), Muşmula (*Mespilus germanica* L.) ve Alıç (*Crataegus monogyna* Jacq.) şeklinde belirtilmiştir. Ayrıca; Çınar ağacı türü ve Akçakesme, Kadın Tuzluğu gibi ağaççık türlerinden de olabileceği bahsedilmiştir (Anonim, 2006a) Otsu bitkilerden ise Böğürtlen, Laden, Eğrelti otu ve dağ çileği bulunur.

Çalışma sahasının ise genelde baskın ağaç türü Doğu kayınıdır. Kısmen karışıma katılan Ladin bireyleri yanında diri örtü olarak yer yer böğürtlen, eğrelti ve orman sarmaşığı mevcuttur (Anonim, 2006a).

2006-2026 Amenajman planlarına göre Artvin Orman İşletme Şefliği sınırları içinde bulunan ağaç, ağaççık ve çalı ile otsu bitkiler aşağıda verilmiştir

Asli ağaç türleri Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.), Doğu Karadeniz göknarı (*Abies nordmanniana* (Stev.) Mattf.), Doğu ladini (*Picea orientalis* L.), Fıstık çamı (*Pinus pinea* L.), Doğu kayını (*Fagus orientalis* Lipsky.), Saplı meşe (*Quercus pedunculata*), Doğu gürgeni (*Carpinus orientalis* Miller), Kızılağaçtır (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.). Diğer ağaç türleri Titrek Kavak (*Populus tremula* L.), Kestane (*Castanea sativa* Miller), Kafkas ıhlamuru (*Tilia rubra* DC.), Akçaağaç (*Acer* L.), Karaağaç (*Ulmus glabra* Huds.), Kayacık (*Ostrya carpinifolia* Scop.), Üvez (*Sorbus torminalis* (L.) Söğüttür (*Salix* L.). Ağaççık ve çalı türleri ise Porsuk (*Taxus baccata* L.), Ormangülü (*Rhododendron ponticum* L., *Rhododendron caucasicum* Pallas, *Rhododendron flavum* (L.) Sweet, Huş (*Betula pendula* Roth.), Ayı üzümü (*Vaccinium arctostaphylos* L.), Karayemiş (*Prunus laurocerasus* L.), Fındık (*Corylus avellana* L.), Çoban püskülü (*Ilex aquifolium* L.), Orman sarmaşığı (*Hedera helix* L.), Ahlat (*Pyrus elaeagnifolia* Pall.), Yabani armut (*Pyrus amygdaliformis* Vill.), Yabani elma (*Malus silvestris* Mill.), Küçük Trabzon hurması (*Diospyros kaki* Thunb.), Kızılcık (*Cornus mas* L.), Muşmula (*Mespilus germanica* L.) ve Alıç (*Crataegus monogyna* Jacq.) şeklinde bildirilmiştir.

Ladin türünün bulunduğu araştırma alanında Ladin hâkim ağaç türü olmakta münferit göknar ve sarıçam bireyleri de meşcerede bulunmaktadır. Diri örtü olarak yer yer böğürtlen, eğrelti ve orman sarmaşığı mevcuttur (Anonim, 2006b).

2.2 Yöntem

2.2.1 Hazırlık Çalışmaları

2.2.1.1 Deneme Alanlarının Belirlenmesi

Çalışma konusu için kapsam ve amacına uygun olan araştırma alanları belirlemek için 2017 yılı Haziran ayında önce Vezirköy mevkiinde 1250-1500 m rakımlarda gözlem yapılmıştır. Bu bölgede çalışma için uygun saf kayın meşcereleri tespit edilebilmiş ancak Ladin meşcereleri dik eğimli sıg topraklı görüldüklerinden uygun bulunmamıştır ve Yumrisinorop tepesinin bataklık mevki tarafında 1 ha'lık alandaki kayın meşceresinde 5 adet deneme alanı belirlenmiştir (Şekil 14). Daha sonra Kafkasör mevkiinde aynı bakı ve yükseltideki Ladin meşcerelerinde gözlem yapılmıştır ve Kafkasör mevki kent ormanında 1 ha kadar alandaki ladin meşceresinde 5 adet deneme alanı belirlenmiştir (Şekil 15). Dolayısıyla çalışma başlangıcında önerdiğimiz Kayın-Ladin karışık meşceresi çalışmadan çıkarılmıştır.



Şekil 14. Kayın sahasında deneme alanlarının belirlenmesi



Şekil 15. Ladin sahasında deneme alanlarının belirlenmesi

Kayın meşçeresi, OGM e-harita verilerine göre Knbc3 meşçere tipindedir ve 70-80 yaşında tam kapalı bir meşçeredir (Şekil 16). Ancak kayın sahasında yerinde gözleme göre kalın olan yani orta ağaçlık çağında bireylerin de önemli miktarda varlığı söz konusudur. Ladin meşçeresi OGM e-harita verilerine göre Lcd3 meşçere tipindedir (Şekil 17). Yani ince ve orta ağaçlık çağında 80-90 yaşlı kapalılığı tam olan bir meşçeredir. Bununla beraber orta ağaçlık çağı bireyler oldukça fazladır. Her iki sahada deneme alanlarının her biri yaklaşık 250 m² büyüklüktedir ve 1 ha'lık alanda rastgele dağılmıştır. Kayın meşçeresinde ağaçların çapları 10-40 cm arasında değişim göstermektedir ve her bir deneme alanındaki ağaç sayısı yaklaşık 60-70 adettir. Kayın meşçeresinde ağaçların boyları, alt tabaka ve genç fidanlar hariç 10-20 m arasında değişim göstermektedir (Şekil 18). Ladin meşçeresinde ağaçların çapları 20-50 cm arasında değişim göstermektedir ve her bir deneme alanındaki ağaç sayısı yaklaşık 50-60 adettir. Ladin meşçeresinde ağaçların boyları, alt tabaka ve genç fidanlar hariç 15-25 m arasında değişim göstermektedir (Şekil 19).



Şekil 16. Meşcere ve bölme katmanlı e-haritada kayın sahası deneme alanları



Şekil 17. Meşcere ve bölme katmanlı e-haritada ladin sahası deneme alanları



Şekil 18. Kayın meşçeresinde tepe kapallılığı ve meşcere yapısı



Şekil 19. Ladin meşçeresinde tepe kapallılığı ve meşcere yapısı

2.2.1.2 Hendek Açma Uygulaması

Belirlenen deneme alanlarında çalışma konusu olan toprak solunum bileşenlerinin ayrılmasında kullanılan bir yöntem olan “hendek açma” uygulaması yapılmıştır (Goncharova ve ark., 2020; Ngao ve ark., 2007; Sancho ve ark., 2017). Uygulama için her bir deneme alanında 3m x 3m parseller belirlenmiş ve parselin kenarları 20-25 cm genişliğinde ve 60 cm derinliğinde kazılmış ve parseller baştan sona hendek ile çevrelenmiş hale gelmiştir (Şekil 20). Bu şekilde parsel içinde kalan kökler kesilmiş ve dışlanmış yani tecrit edilmiştir. Yöntemin esası köklerin kesilmesiyle parseldeki toprak altında fotosentez ürünlerinin geçişi durdurulmuş olması ve parsel içerisinde köklerin ölü olup sadece mikroorganizmaların aktif olduğu bir alan teşkil edilmiş olmasıdır. Parselin dış tarafı yani bitişiği de köklerin hayatîyetinin devam ettiği alanlar olmasıyla kontrol alanı olarak değerlendirmesi yöntemin diğer esasıdır. Dolayısıyla deneme alanları uygulama ve kontrol şeklinde alt parsellere ayrıldığından her bir türün (kayın ve ladin sahasında) 5 çift yani 5 “uygulama alanı” 5 de her birinin “kontrol alanı” olmak üzere 10’ar adet deneme alanı olmuştur (Şekil 21).



Şekil 20. Hendek uygulaması için parsellenen alan ve kazılmış hendek

Hendek açma uygulamasına 2017 yılı Temmuz ayında başlanılmış ve 30 cm kadar derinlikte kazıldıktan sonra ağustos ve eylül aylarında 60 cm derinliğe kadar indirilmiştir. Ekim ayında ise kazılan hendek çukurların yan duvarları polietilen naylon ile kaplanarak hendekler kazıda çıkan toprak ile kapatılmıştır (Şekil 21). Aynı zamanda parsel içerisinde kalan çalı ve ot vejetasyonu kökleri ile beraber koparılarak uygulama alanından uzaklaştırılmıştır.



Şekil 21. Hendeğin kapatılması ve hazırlanmış uygulama alanı

2.2.2 Arazi Çalışmaları

Toprak solunumu ölçümleri için 2018 yılında Nisan ayından Kasım ayına kadar, 2019 yılında Mayıs ayından Kasım ayına kadar (Eylül ve Ekim hariç) ayda bir olacak şekilde yerinde ölçüm için alanlara gidilerek IRGA cihazı ile ölçüm yapılmıştır. Licor cihazı (LI-8100A), ölçüm başlığı ile toprak üzerine yerleştirilen halkalara bağlanarak topraktan salınan CO₂, cihaz sensörü ile belirlenmiştir ve otomatik kaydedilmiştir (Liu ve ark., 2019; Oulehle ve ark., 2016). Ölçümler her deneme

alanında 3 tekrarlı olacak şekilde yapılmış, IRGA cihazı ölçümleri ertesi günde yapılarak 6 tekrarlı olmuştur (Şekil 22).



Şekil 22. Arazide Li-Cor 8100A cihazı ile solunum ölçümü

Toprak nemi ölçümleri içinde 50-100 gr üst toprak örnekleri poşetlenerek laboratuvara götürülmüştür. Toprak sıcaklığı ölçümleri de Li-cor cihazının probu üst toprağa sokularak eş zamanlı ölçülmüştür. Toprak nemi ve toprak sıcaklığı ölçümleri toprak solunumu ölçümleri ile eşzamanda aynı tekrarda ölçülmüştür. Kök örneklerinin alımı için, 6,4 cm çapında ve 30 cm boyunda çelik boru, balyoz yardımıyla toprağa çakılarak silindire giren toprak örneği etiketlenip poşete koyulmuştur (Şekil 23). Kök örnekleri vejetasyon periyodunun başı ve sonu kabul edilebilecek Nisan ve Kasım aylarında alınmıştır. Her bir dönemde (Nisan ve Kasım) her bir deneme alanında 6 tekrarlı ve 0-30 cm'lik kademedan olacak şekilde örnekleme yapılmıştır.



Şekil 23. Çelik silindir ile alınmış ve poşetlenmiş toprak örneği

Toprak örnekleri 2018 yılı Nisan, Temmuz ve Ekim aylarında yani üç mevsimi temsil edecek şekilde örnek alma silindiri (10x10 cm) yardımıyla üst topraktan (0-10 cm) alınarak poşetlere konulup etiketlenmiştir. Mikrobiyal analizler için taze toprak örnekleri arazide 2 mm'lik elekten geçirildikten sonra poşetlenmiştir. Mineral azot analizleri için de 4 mm'lik elekten geçirilmiştir. Ayrıca silindir den çıkan toprak örneği elenmeden önce arazide hassas terazi ile tartılmıştır.

2.2.3 Laboratuvar Çalışmaları

2.2.3.1 Toprak Tekstürünün Belirlenmesi

Tekstür tayini 2 mm'lik elekten geçirilmiş toprak örneklerinde Bouyoucos'un hidrometre yöntemi kullanılarak yapılmış (Şekil 24) ve kum, toz ve kil yüzdeleri bulunmuştur (Gülçur, 1974). Toprak türü ise uluslararası tekstür üçgenine göre belirlenmiştir.



Şekil 24. Toprak tekstürünün belirlenmesinde kullanılan hidrometre silindirleri ve analiz işlemi.

2.2.3.2 Toprak Reaksiyonunun (pH) Belirlenmesi

Toprakların reaksiyonunu belirlemek için toprak örneklerinin pH değerleri, “pH metre cihazı” yardımıyla cam elektrot probuyla ölçülmüştür. Aktüel asitliğin analizi 1:2,5 oranında toprak/saf su ortamında yapılmıştır (Gülçur, 1974).

2.2.3.3 Toprak Organik Maddesi ve Organik Karbonunun Belirlenmesi

Toprak organik karbonu ve organik madde içeriklerinin belirlenmesi, Walkley-Black'ın ıslak yakma metodu esas alınarak yapılmıştır (Gülçur, 1974; Kacar, 2009). Bunun için, 0,250 mm'lik elekten geçirilmiş 1 g toprak örnekleri erlenlere koyularak üzerine 10 ml potasyum dikromat ($K_2Cr_2O_7$), 20 ml sülfürik asit (H_2SO_4), 10 ml ortofosforik asit (H_3PO_4) ile 200 ml saf su ilave edilmiştir. Örneklerin soğumasının ardından bu karışıma 10 damla difenilamin indikatörü damlatıldıktan sonra renk çivit mavisinden yeşile dönünceye kadar demir sülfat ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$) ile titre edilip harcanan sarfiyat kaydedilmiştir (Şekil 2.15 c). Aşağıdaki formül (eşitlik 1) ile örneklerin organik C içeriği hesap edilmiştir.

$$\% \text{ Organik C} = [(N_1 \times A) - (N_2 \times B)] \times 0,003 \times 100 \times f_1 \quad (1)$$

Burada;

N_1 = Potasyum dikromat ($K_2Cr_2O_7$) çözeltisinin gerçek normalitesi

A = Analizde kullanılan potasyum dikromat ($K_2Cr_2O_7$) çözeltisinin miktarı (ml)

N_2 = Demir sülfat ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$) çözeltisinin gerçek normalitesi

B = Titrasyonda harcanan demir sülfat ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$) çözeltisinin miktarı (ml)

0,003 = 3 karbonun (C) ekivalen ağırlığı

100 = 100 g toprağa yükseltme çarpanı

$f_1 = 100/77 = 1,30$ (bu yöntem ile toprak örneğinde bulunan organik C'un % 77'sinin yükseltgenebildiği varsayılır)

Daha sonra bulunan organik karbon değeri 1,72 katsayısı ile çarpılarak organik madde içeriği belirlenmiştir.

2.2.3.4 Toplam Karbon ve Toplam Azotun Belirlenmesi

Toprak örneklerinin toplam karbon ve toplam azot içerikleri Dumas yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Analiz için elementel analiz ile CHNS ölçümü yapan variomacrocube marka cihaz kullanılmıştır (Dhaliwal ve ark., 2011).

2.2.3.5 Toprakta Mikrobiyal Biyokütle Karbon ve Azotun Belirlenmesi

Toprakların mikrobiyal karbon ve mikrobiyal azot içeriklerinin belirlenmesinde kloroform-fumigasyon-ekstraksiyon metodu esas alınmıştır (Brookes ve ark., 1985). 2 mm'lik elekten geçmiş (<2 mm) % 40–50 su tutma kapasitesinde 30 g taze toprak

örneği 100 ml'lik beherler içerisine tartılmıştır. Fumigasyon işlemi yapılmayacak 30 g yaş toprak örnekleri 250 ml'lik erlenlere konulmuştur. Alt kısmında bir miktar nemli kâğıt bulunan ve içerisinde 100 ml'lik beherde en az 50 ml kloroform içeren vakumlu bir desikatörün içerisine fumigasyon işlemi yapılacak toprak örneklerinin bulunduğu 100 ml'lik beherler yerleştirilmiştir. Kloroformun hızlı bir şekilde buharlaşabilmesi için bir miktar (10–15 adet) pomza taşı kloroformun içerisine atılmıştır. Kloroform (CHCl_3) kuvvetli bir şekilde kaynayıncaya kadar vakum pompası kullanarak desikatörün içerisindeki hava 2 dk. kadar sürede boşaltılmıştır. Desikatörün musluğu kapatıldıktan sonra pompadan desikatör ayrılmış ve parafilm ile desikatörün kapağı sarılmıştır. Bu işlemden sonra desikatör 25 °C sabit sıcaklıktaki karanlık bir odaya yerleştirilmiş ve 24 saat beklenilmiştir. Fumigasyonun ardından beherler desikatörün içerisinden çıkarılıp toprak örnekleri 250 ml'lik erlenlere boşaltılarak üzerine 4:1 (yani 30 g taze toprak 120 ml 0.5 M K_2SO_4 ile ekstrakt edilir) oranında 0.5 M potasyum sülfat (K_2SO_4) ilavesi yapılmıştır. Hazırlanan toprak örnekleri dairesel yönde hareket eden bir çalkalayıcı üzerinde 30 dakika 90 rpm hızında çalkalandıktan sonra erlenler çalkalayıcıdan alınmış ve erlenlerin içerisindeki karışım 42 no'lu whatman filtre kâğıdı ile süzölmüştür. Bu şekilde yaklaşık olarak 70–80 ml'lik ekstrakt elde edilmiş ve bu ekstraktlar 250 ml'lik koyu renkli saklama kaplarına koyulmuştur. Fumigasyon yapılmayan erlenlerdeki örneklere de aynı şekilde potasyum sülfat (K_2SO_4) ilavesi, çalkalama ve süzdürme işlemleri yapılmıştır (Şekil 25). Ekstraktlar analizler yapılincaya kadar buzdolabında saklanmış ve daha sonra analize geçilmiştir.

Mikrobiyal biyokütle karbon tayini için; elde edilen ekstraktan 8 ml bir pipet vasıtasıyla yakma tüpünün içerisine boşaltılmış ve tüpe 2 ml 0.4 N potasyum dikromat ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) ve 70 mg (0.07 g) cıva oksit (HgO) ve 2:1 oranında 15 ml sülfürik asit-ortofosforik asit karışımı ilave edilmiştir (Şekil 25). Elde edilen bu karışım 30 dakika 150 °C'de UDK 20 yakma ünitesinde yakıldıktan sonra soğuyan tüplerin içerisine 20–25 ml saf su ilave edilmiş ve örnekler titrasyon için 250 ml'lik erlenlere boşaltılmıştır. Erlenlerdeki örneklerin üzerine 1.10 phenanthroline indikatöründen 10 damla kadar ilave edilmiş (renk mavimsi yeşile döner) ve 0.4 N demir amonyum sülfat çözeltisi ($\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) ile titre edilerek arta kalan dikromat bulunmuştur. Örneklerin rengi kırmızımsı kahverengine dönünce titrasyona son verilmiş ve harcanan demir

amonyum sülfat miktarı (ml) kaydedilmiştir. Aşağıdaki formüller (Eşitlik 2, 3 ve 4) kullanılarak mikrobiyal biyokütle karbonu, µg olarak hesaplanmıştır.

$$BiyokütleC (\mu g g^{-1}) = (B - V) \times N \times 0.003 \times \frac{120 + \theta}{W_t} \times \frac{1000}{V_1} \times 1000 \quad (2)$$

$$Ec = (biyokütleC_{fumigasyonlu} - biyokütleC_{fumigasyonsuz}) \quad (3)$$

$$MikrobiyalBiyokütleC = Ec \times 2.64 \quad (4)$$

B=Kör için harcanan demir amonyum sülfatın (Fe(NH₄)₂(SO₄)₂.6H₂O) hacmi (ml)

V=Örnek için harcanan demir amonyum sülfatın (Fe(NH₄)₂(SO₄)₂.6H₂O) hacmi (ml)

N=Harcanan demir amonyum sülfatın (Fe(NH₄)₂(SO₄)₂.6H₂O) normalitesi (0.3950 N)

0.003= 3x10⁻³, buradaki 3 karbonun (C) ekivalen ağırlığı

θ= Kullanılan 30 g toprağın higroskopik nemi

W_t= Taze toprak ağırlığı (30 g)

V₁= Yakma için kullanılan ekstrakt (8 ml)

2.64= Karbon (C) için dönüştürme katsayısı

Mikrobiyal biyokütle azot tayini için; elde edilen ekstrakttan 50 ml bir pipet vasıtasıyla yakma tüpünün içerisine boşaltıldıktan sonra yakma tüpünün içerisine 0.2 M bakır sülfat (CuSO₄) ve 10 ml % 96'lık sülfürik asit (H₂SO₄) ilave edilmiştir. Elde edilen bu çözelti 380 °C'de 180 dakika yakıldıktan sonra soğuyan tüplerin içerisine 40–50 ml saf su ilave edilmiş ve yine soğuması beklenmiştir. Tüplerin içerisindeki örnekler 250 ml'lik erlenlere boşaltılmış ve 250 ml'ye saf su ile tamamlanmıştır. Hazırlanan bu örnekten 50 ml alınarak tekrar tüplere boşaltılmış ve destilasyon işlemine geçilmiştir. Hazırlanan tüpler UDK destilasyon ünitesine yerleştirildikten sonra 10 M 15 ml sodyum hidroksit (NaOH) ve % 2'lik 5 ml borik asit (H₃BO₃) kullanarak 2 dakika destilasyon yapılarak amonyum (NH₄) alkali ortamda amonyak (NH₃) halinde uçurulup ve hafif asit ortamda bağlanmıştır. Elde edilen bu distillata 10 damla brome-kroze indikatöründen damlatılmış ve distillatın rengi mavimsi yeşil olmuştur. Distillatın son rengi leylak oluncaya kadar 0.00714 N sülfürik asit (H₂SO₄) ile titre edilmiş ve rengin döndüğü anda harcanan sarfiyat kaydedilmiştir. Aşağıdaki formüller (Eşitlik 5, 6 ve 7) kullanılarak mikrobiyal biyokütle azotu, µg olarak hesaplanmıştır.

$$BiyokütleN (\mu g g^{-1}) = (V - B) \times N \times 14.01 \times \frac{120 + \theta}{W_t} \times \frac{250}{V_1} \times \frac{1000}{V_2} \quad (5)$$

$$F_N = (\text{biyokütle}N_{\text{fumigasyonlu}} - \text{biyokütle}N_{\text{fumigasyonsuz}}) \quad (6)$$

$$\text{MikrobiyalBiyokütle}N = \frac{F_N}{kN} \quad (7)$$

V= Örnek için titrasyonda harcanan sülfürik asidin (H₂SO₄) hacmi (ml)

B= Kör için titrasyonda harcanan sülfürik asidin (H₂SO₄) hacmi (ml)

N= Harcanan sülfürik asidin (H₂SO₄) normalitesi (0.00714 N)

14.01= Azotun atomik ağırlığı

θ= Kullanılan 30 g toprağın higroskopik nemi

W_t= Taze toprak ağırlığı (30 g)

V₁= Yakma için kullanılan ekstrakt (50 ml)

V₂= Destilasyon için kullanılan ekstrakt (50 ml)

kN= Mineralize olabilen mikrobiyal biyokütle azotunun katsayısıdır (0.54)



Şekil 25. Mikrobiyal karbon analizi için ekstrakt eldesi ve ekstraktların yakma için tüplere koyulması

2.2.3.6 Toprak Mikrobiyal Bazal Solunumunun Belirlenmesi

Bu yöntemin esası, toprakta mikrobiyal faaliyetin (solunum) sonucunda kapalı bir sistem içerisinde inkübasyon boyunca topraktan yayılan CO₂'in; sodyum hidroksit (NaOH) çözeltisi tarafından yakalanıp, daha sonra çözeltinin hidroklorik asit ile titre edilerek belirlenmesidir (Alef, 1995; Rowell, 1994).

Bunun için öncelikle 2 mm'lik elekten geçmiş (<2 mm) % 50–55 su tutma kapasitesinde 30 g taze toprak örneği 500 ml'lik cam kavanoz içerisine tartılmıştır. 25

ml'lik beher içerisine 10 ml 1 M sodyum hidroksit ilave edildikten sonra beher, cam kavanozun tam ortasına altında toprak kalmayacak şekilde yerleştirilmiştir. Cam kavanozun ağzı sıkı bir şekilde kapatılarak parafilm ile sarılmıştır. İçerisinde toprak olmayan (kontrol=kör) ve sadece 10 ml 1 M sodyum hidroksit olan 2 adet cam şişe de aynı şekilde hazırlanmıştır. Kavanozlar etüve dikkatli bir şekilde yerleştirilerek etüvde 25 °C'de, 7 gün süreyle inkübasyona tabi tutulmuştur. Sürenin sonunda cam şişeler etüvden çıkarıldıktan sonra içerisindeki beherde bulunan sodyum hidroksit 100 ml'lik erlene dökülmüş ve üzerine 0,5 M baryum kloritten (BaCl₂) 5 ml eklenmiştir. Elde edilen çözeltiye 10 damla fenol fitaleyin indikatöründen damlatılmış ve çözeltinin rengi mavimsi pembe olmuştur. Çözeltinin son rengi renksiz oluncaya kadar 1 N hidroklorik asit ile dijital büret yardımıyla titrasyon yapılmış ve rengin döndüğü anda harcanan sarfiyat kaydedilmiştir. Topraktaki solunum aşağıdaki formül (Eşitlik 8) yardımıyla µg CO₂-C g⁻¹ (toprak) h⁻¹ olarak hesaplanmıştır (Alef 1995).

$$CO_2(\mu g)SW^{-1}t^{-1} = \frac{(V_0 - V) \times N \times 2,2 \times 1000}{d_{wt} \times h} \quad (8)$$

Burada;

SW = Fırın kurusu toprak ağırlığı (g)

t = inkübasyon süresi (saat = h)

V₀ = Titrasyonda kör için harcanan hidroklorik asidin (HCl) hacmi (ml)

V = Titrasyonda örnek için harcanan hidroklorik asidin (HCl) hacmi (ml)

2,2 = Çevirme katsayısı (1 ml 0,1 M NaOH = 2,2 mg CO₂)

N = Hidroklorik asidin (HCl) gerçek normalitesi

1000 = miligramı mikrograma çevirme katsayısı

d_{wt} = nemli toprağın kuru ağırlığı (g)

h = inkübasyon süresi (saat)

2.2.3.7 Metabolik Katsayının (qCO₂) Belirlenmesi

Metabolik katsayı (qCO₂) bazal solunumun mikrobiyal biyokütle karbona oranı olarak ifade edilir. Diğer bir ifade ile metabolik katsayı mikrobiyal biyokütledeki toprak solunumunun hızını açıklamaya ya da belirtmeye yarayan bir orandır. Metabolik katsayıya spesifik solunum hızı da denilmektedir. Bu oran aşağıdaki formül (Eşitlik 9) kullanılarak hesaplanmaktadır (Anderson ve Domsch, 1990; Anderson ve Domsch, 1993; Coleman ve Crossley Jr, 2003; Sparling, 1997).

$$qCO_2 = \frac{\text{Bazal Solunum}}{\text{Mikrobiyal Karbon}} \times 1000 \quad (9)$$

2.2.3.8 Toprakta Mineral Azotun Belirlenmesi

Toprağın mineral azot miktarının belirlenmesi Mikrodestilasyon metodu (Bremner ve Keeney, 1965; Gerlach, 1973; Güleriyüz, 1992) ile yapılmıştır. Mineral azotun analizi iki safhada olmuştur; ilk safhada toprağın amonyumu (NH_4^+-N), ikinci safhada da nitrat ($NO_3^- -N$) belirlenmiştir (Öztürk, 1997). Önce 40 gr taze toprak 500 ml erlende 100 ml % 1'lik $KAl(SO_4)_2$ çözeltisi eklendikten sonra çalkalanmıştır Daha sonra bu karışımın filtre kâğıdından süzülmesiyle elde edilen ekstrakttan 20'şer ml ağızlı cam balona aktarılmış ve balonlar destilasyon ünitesine yerleştirilmiştir. Çözelti ortamının bazik hale gelmesi için balonların içine 0,2 gr MgO eklenmiştir. Sonrasında çözeltinin olduğu balonun içerisine buhar verilmiş ve çözelti içindeki amonyumun amonyağa dönmesi, sonra amonyum borat formunda tutulması sağlanmıştır. 50 ml biriktirilen amonyum borat çözeltisi titrasyon yapılarak NH_4^+-N belirlenmiştir. Daha sonra önceki çözelti içerisine 0,2 gr metal tuzu (% 50 Bakır, % 45 Alüminyum, % 5 Çinko) ilave edilmiştir. Bazik hale gelen bu ortama yine buhar verilmesiyle nitrit ve nitrat formundaki azot bileşiklerinin amonyağa dönüşümü sağlanmıştır. Daha sonra damıtma işlemi ile altlıkta amonyum borat şeklinde tutulması sağlanmıştır. Titrasyon için 0,005 N H_2SO_4 çözeltisi kullanılmış ve titrasyonda harcanmış olan miktara göre mineral azotun belirlenmesi için hesaplamalar yapılmıştır (mg $N_{\text{min}}/100$ g kuru toprak). Toprak örneklerinin mineral azot miktarının hesaplanmasında aşağıdaki formül (Eşitlik 10) kullanılmıştır (Gerlach, 1973; Öztürk, 1997).

$$X = A \times f \quad (10)$$

$$f = 1,2251 \times (S-K) : K + 0,8751$$

X= Mineral azot (mg $N_{\text{mineral}}/100$ g kuru toprak)

A= Titrasyon ile harcanan 0,005 N H_2SO_4 (ml)

S= Nemli toprağın kütlesi

K= Kuru toprağın kütlesi

f: Değişken faktörü

Mineral azotun kg/ha cinsinden hesaplanması için aşağıdaki formül (Eşitlik 11) kullanılmıştır.

$$\text{Kg ha}^{-1} N_{\text{mineral}} = A \times B \times 1,2731/100 \quad (11)$$

A: =10 cm çapındaki silindir ile alınan toprak için birim hacimdeki kuru ağırlık

B= mg N_{mineral} / 100 g kuru toprak

1,273 = g / cm²'lik alanı olan silindir kalıbının ihtiva ettiği toprağın kütlesinin biriminin kg / ha'a dönüşümü için hesap edilen katsayıdır

2.2.3.9 Toprakaltı Kök Biyokütle ve Kök Kütle Karbonunun Bulunması

İnce (2-5 mm) kök ve kılcal (<2 mm) kök biyokütlesi ladin ve kayın sahalarından getirilen örneklerde belirlenmiştir. Araştırmalara göre 0-30 cm derinlik kademesi mevcut kök kütlesinin % 70-85'lik bir kısmını temsil edebilmektedir (Eissenstat ve Yanai, 1997; Tüfekçioğlu ve ark., 2002). Örnekler bir gün suda bekletildikten sonra leğenlerde yıkanıp 0.2 mm'lik elek üzerinden süzölmüştür (Şekil 26). Böylece topraktan arındırılan kökler <2 mm ve 2-5 mm çap sınıflarına göre ayrılarak 70 °C de 48 saat süre ile kurutulmuştur. Daha sonra örneklerin az bir kısmı muhtemel nem içeriğini belirlemek için 105°C'de 48 saat tekrar kurutulmuştur. Kurutulmuş olan kök örnekleri 0,001 gr hassasiyetindeki terazi ile tartılıp gereken dönüşümler yapılmasıyla birim alandaki kök biyokütlesi (g/m²) hesap edilmiştir. Daha sonra 105°C'deki kuru ağırlıklar 70°'deki kuru ağırlıklarından çıkarılarak örneklerde kalan nem miktarı belirlenmiş, çıkan miktar 70°C'deki ağırlığa oranlanarak muhtemel nem içeriği yüzdesi belirlenmiştir. Bu oran düşölerek kök kütleleri yeniden hesaplanmıştır.



Şekil 26. Kök analizi için yıkanmış örneğın ayıklanması

Belirlenen kök örneklerinin ağırlıklarına göre, kök biyoküttelede tutulan karbon için literatürde belirlenen (Tufekcioglu ve ark., 2004) yüzdelere kullanılarak kökte tutulan karbon miktarı tayini yapılmıştır. Buna göre ladin türü için kılcal kök kütlesinin % 36

ve ince kök kütlesinin % 41 karbon içerdiği kabul edilmiştir. Kayın türü için ise kılcal kök kütlesinin % 34 ve ince kök kütlesinin % 43 karbon içerdiği kabul edilmiştir.

2.2.4 Verilerin Değerlendirilmesi ve Analizi

2.2.4.1 İstatistik Yöntemler

Çalışmada elde edilen toprak özellikleri, kök kütle ve toprak solunumu bulgularına ilişkin verilerde normal dağılım ortaya koyulduktan sonra; kayın ve ladin sahaları kontrol alanları arasındaki yani tür bakımından farklılığı ortaya koymak ve ayrıca her bir türde uygulama alanı ile kontrol alanı arasındaki farklılığı belirlemek için bağımsız değişken T-testi analizleri uygulanmıştır. Nisan, Temmuz ve Ekim dönemlerinde yapılan analizlerdeki ve vejetasyon dönemi boyunca solunum ölçümlerindeki verilerin dönemler arası yani mevsim bakımından farklılığını ortaya koymak için tek yönlü varyans analizi yapılmıştır. Daha sonra fark gruplarını belirlemek için Tukey HSD testi yapılmıştır. Ayrıca elde edilen tüm toprak özelliği, kök kütlesi ve toprak solunumu verilerinin arasındaki karşılıklı ilişkileri ortaya koymak için de Pearson korelasyon analizi yapılmıştır. Daha sonra toplam toprak solunumu ve her bir bileşenin diğer toprak özellikleri ile etkileşimini ortaya koymak için regresyon analizleri yapılmıştır. Solunum değerleri ile her bir toprak özelliği ile tekli regresyonu yapıldığı gibi, solunum değerlerinin bazı önemli toprak özellikleri bir arada olarak çoklu regresyonu yapılmıştır.

2.2.4.2 Uygulama Alanı İlave CO₂ İçin Düzeltmeler

Hendek açma uygulaması metabolik kök solunumunu ortadan kaldırmış olsa da mutlak mikroorganizma solunumunu belirlemede bazı metodolojik hataları içermeye potansiyeline sahiptir. Yani müdahale sonucu iki yapaylık etkisi (artefact) ortaya çıkar. Birincisi kalan artık köklerin ayrışması sonucu CO₂'in coşkun salınımı ile olduğundan fazla solunum gerçekleşmesidir. İkincisi canlı kök olmadığından ve drenaj hendekteki naylon yalıtımı ile kısmen engellendiğinden uygulama alanında artan nem miktarı ile fazladan CO₂ salınım durumunun ortaya çıkmasıdır. Dolayısıyla uygulama alanında ölçülen solunum miktarları mikroorganizma solunumuna atfedilmeden önce düzeltilerek düşürülmesi gerekir, aksi takdirde olduğundan fazla tahmin edilmiş olur.

Bu düzeltmelerden biri kök ayrışmasından kaynaklı ilave CO₂ salınımı için düzeltmenin yapılmasıdır. Bunun için öncelikle aşağıdaki formül (Eşitlik 12) ile hendek alanında kök ayrışmasından kaynaklanan ilave CO₂ salınımı (S_A) hesaplanmıştır:

$$S_A = (1 - \alpha_R)(K_1 - K_2) \quad (12)$$

Burada α_R = mikrobiyal etkinlik (toplam kök C kaybı boyunca ayrışmanın C fraksiyonu ve TOM içine dahil olan kısım, dolayısı ile «1- α_R » ise CO₂ olarak kaybolan fraksiyon), K_1 = baştaki kök karbonu kütlesi (g C m⁻²) (Nisan kök örnekleme) K_2 = sondaki kök karbonu kütlesidir (g C m⁻²) (Kasım kök örnekleme) (Ngao ve ark., 2007). Dolayısıyla kök dışlanmış hendek uygulaması yapılan alandaki toplam salınımdan (S_{TH}) ilave CO₂ salınımı (S_A) da hariç tutularak yarı düzeltilmiş mikroorganizma solunumu (S'_M) belirlenmiştir.

$$S'_M = S_{TH} - S_A \quad (13)$$

Daha sonra artan nem içeriğinden kaynaklı CO₂ salınımı için düzeltme yapılmıştır (Kukumägi ve ark., 2017). Hendek alanlarında artan toprak nem içeriği için düzeltme yapılırken hendek uygulanan alanların içinde belirlenen mikroorganizma kaynaklı solunum (S'_M) değerleri için toprak sıcaklığı (TS) ve toprak nemi (TN) ile ilişkili bir regresyon modeli geliştirilmiştir (Eşitlik 14).

$$S'_M = a + bTS + cTN_{\text{hendek}} \quad (14)$$

Burada a, b ve c katsayılarıdır. Daha sonra uygulama alanı içindeki TN değerleri, kontrol alanı TN değerleri ile değiştirilerek düzeltilmiş mikroorganizma solunum (S_M) değerleri elde edilmiştir.

$$S_M = a + bTS + cTN_{\text{kontrol}} \quad (15)$$

Daha sonra kontrol alanlarında belirlenen salınım (kontrol alanı SCO₂) kök faaliyeti de dâhil olduğundan toplam solunuma (S_T) atfedildiğinde, düzeltilmiş kök solunumu (S_K) şu şekilde belirlenir:

$$S_K = S_T - S_M \quad (16)$$

3 BULGULAR

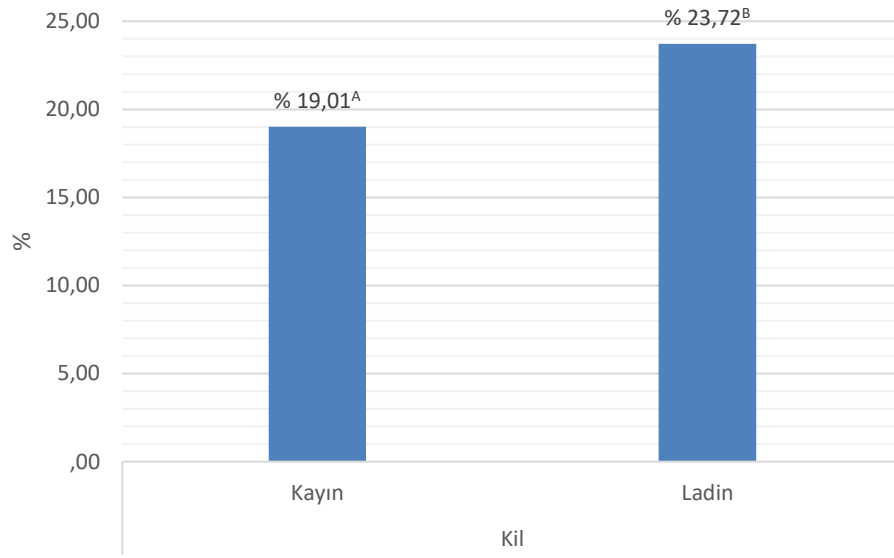
3.1 Toprak Tekstürüne İlişkin Bulgular

Tekstür analizinde elde edilen verilere göre ortalama kum içeriği en fazla kayın sahası uygulama alanında (% 66,67) en düşük ladin sahası uygulama alanında (% 55,74) bulunmuştur. Ortalama kil içeriği en fazla ladin sahası uygulama alanında (% 24,67) en düşük kayın sahası uygulama alanında (% 16,70) bulunmuştur. Ortalama toz içeriği de benzer şekilde en fazla ladin sahası uygulama alanında (% 19,79) en düşük kayın sahası uygulama alanında (% 16,63) bulunmuştur. Her iki kayın ve ladin sahalarında kum, kil ve toz içeriklerinin belirlenen ortalama, maksimum, minimum ve standart hata değerleri Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Her iki türün sahalarında deneme alanlarındaki toprakların tane boyutu bakımından içeriklerinin tanımlayıcı değerleri.

Tür	Alan	Tane boyutu (%)	N	Minimum	Maksimum	Ortalama	Std. Hata
Kayın	Kontrol	Kum	15	55,1	70,1	63,0	1,1
		Kil	15	12,0	23,7	19,0	0,8
		Toz	15	14,1	22,5	18,0	0,7
	Uygulama	Kum	15	49,2	74,4	66,7	1,8
		Kil	15	10,7	28,3	16,7	1,3
		Toz	15	13,1	22,4	16,6	0,7
Ladin	Kontrol	Kum	15	50,2	73,5	58,8	1,9
		Kil	15	11,2	32,7	23,7	1,7
		Toz	15	14,1	26,3	17,5	0,8
	Uygulama	Kum	15	44,7	65,7	55,5	1,5
		Kil	15	19,0	30,2	24,7	1,0
		Toz	15	8,1	26,8	19,8	1,1

Toprağın kum, kil ve toz içeriklerinin kayın ve ladin sahaları arasındaki farklılıklarını analiz etmek için yapılan t testi sonucunda kontrol alanları için ladin ve kayın sahaları arasında sadece kil içeriği için (Şekil 27) anlamlı farklılık bulunmuştur ($P < 0,05$). Kayın ve ladin her iki sahada da toprağın kum, kil ve toz içeriklerinin kontrol ve uygulama alanları arasındaki farklılıklarını analiz etmek için yapılan t testi sonucunda anlamlı farklılık bulunmamıştır.



Şekil 27. Kontrol alanları için kayın ve ladin sahaları arasında toprakların kil içeriği değişimi (Harfler fark gruplarını gösterir, $p < 0,005$).

3.2 Toprak Reaksiyonuna (pH) İlişkin Bulgular

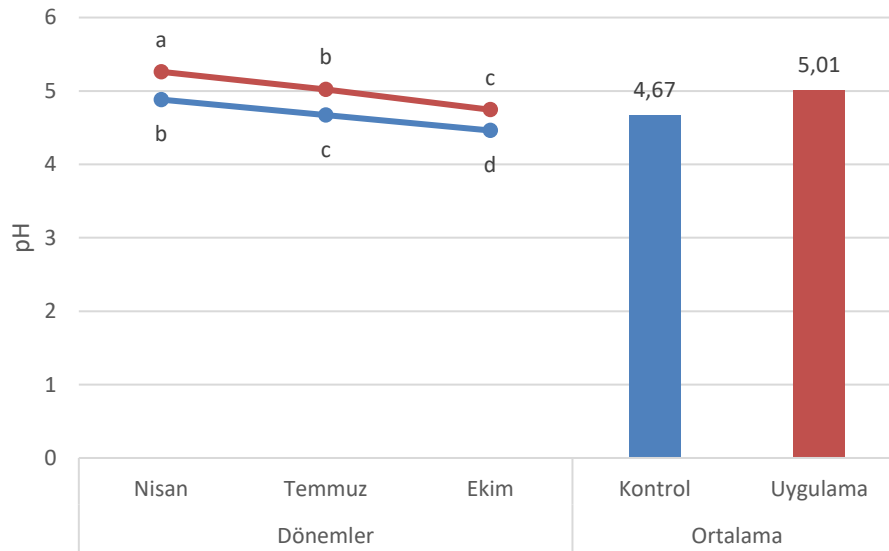
Toprakların pH analizinde elde edilen verilere göre ortalama pH en fazla kayın sahası uygulama alanında Nisan’da (5,26), en düşük ladin sahası kontrol alanında Ekim’de (4,29) bulunmuştur. Her iki kayın ve ladin sahalarında pH değerlerinin belirlenen ortalama, maksimum, minimum ve standart hata değerleri Tablo 3’te verilmiştir.

Toprağın pH değerlerinin kayın ve ladin sahaları arasındaki farklılıklarını analiz etmek için yapılan t testi sonucunda her üç dönemde ve dönemlerin ortalamasında kontrol alanları için istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulunmamıştır.

Kayın sahasında toprağın pH’sının kontrol ve uygulama alanları arasındaki farklılıklarını analiz etmek için yapılan t testi sonucunda Nisan ve Ekim aylarında ve üç dönemin ortalamasında anlamlı farklılık ($P < 0,05$) olduğu belirlenmiştir (Şekil 28). Kayın sahasında kontrol ve uygulama alanlarındaki toprakların pH değerlerinin mevsimsel değişimi için yapılan varyans analizi sonucunda hem kontrol hem de uygulama alanında dönemler arasında anlamlı farklılık bulunmuş ($P < 0,05$) ve Tukey HSD testi sonucunda en yüksek grup Nisan dönemi en düşük grup Ekim dönemi olarak belirlenmiştir (Şekil 28).

Tablo 3. Her iki türün sahaslarında deneme alanlarındaki toprakların pH'sının tanımlayıcı değerleri

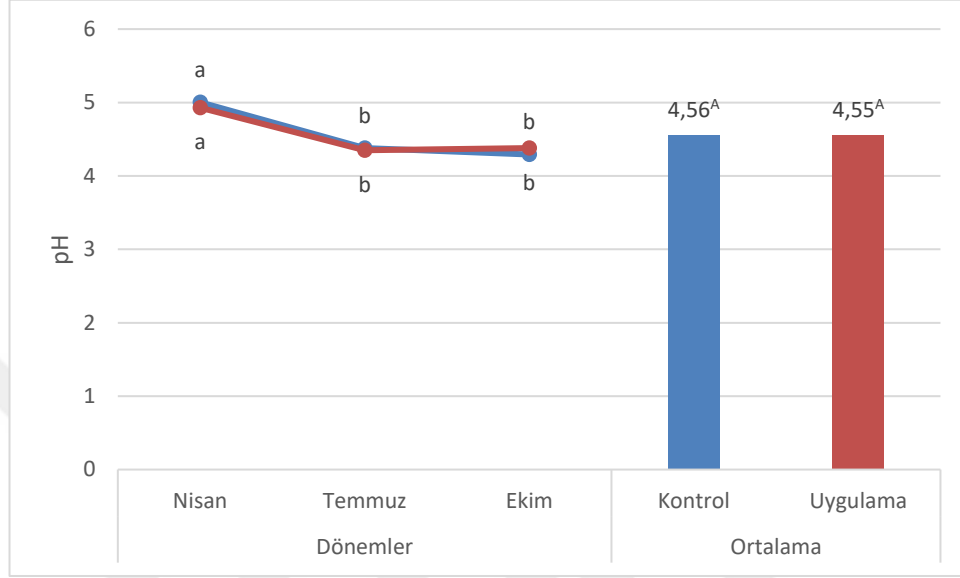
Tür	Alan	Belirtici değerler	Dönemler		
			Nisan	Temmuz	Ekim
			Toprak pH'sı		
Kayın	Kontrol	Min.	4,52	3,70	3,73
		Maks.	5,30	5,39	5,16
		Ort.	4,88	4,67	4,46
		St.H.	0,07	0,15	0,11
	Uygulama	Min.	4,72	4,03	4,11
		Maks.	5,85	5,96	5,35
		Ort.	5,26	5,02	4,74
		St.H.	0,09	0,15	0,11
Ladin	Kontrol	Min.	4,40	3,68	3,66
		Maks.	5,91	5,46	5,02
		Ort.	5,00	4,38	4,29
		St.H.	0,12	0,12	0,10
	Uygulama	Min.	4,51	3,69	3,68
		Maks.	5,59	4,95	5,45
		Ort.	4,93	4,35	4,38
		St.H.	0,08	0,10	0,12



Şekil 28. Kayın sahasında toprak pH'sının kontrol ve uygulama alanları arasında ve dönemsel değişimi (Harfler fark gruplarını gösterir, $p<0,005$).

Ladin sahasında toprağın pH'sının kontrol ve uygulama alanları arasındaki farklılıklarını analiz etmek için yapılan t testi sonucunda anlamlı farklılık göstermediği belirlenmiştir. Ladin sahasında kontrol ve uygulama alanlarındaki toprakların pH

değerlerinin mevsimsel değişimi için yapılan varyans analizi sonucunda hem kontrol hem de uygulama alanında dönemler arasında anlamlı farklılık bulunmuş ($P<0,05$) ve Tukey HSD testi sonucunda en yüksek grup Nisan dönemi olarak belirlenmiştir (Şekil 29).



Şekil 29. Ladin sahasında toprak pH'sının kontrol ve uygulama alanları arasında ve dönemsel değişimi (Harfler fark gruplarını gösterir, $p<0,005$).

3.3 Toprak Organik Maddesine İlişkin Bulgular

Toprakların organik madde (TOM) analizinde elde edilen verilere göre ortalama TOM içeriği en fazla ladin sahası kontrol alanında Nisan'da (% 6,76), en düşük kayın sahası uygulama alanında Ekim'de (% 5,74) bulunmuştur. Her iki kayın ve ladin sahalarında TOM içeriği değerlerinin belirlenen ortalama, maksimum, minimum ve standart hata değerleri Tablo 4'te verilmiştir.

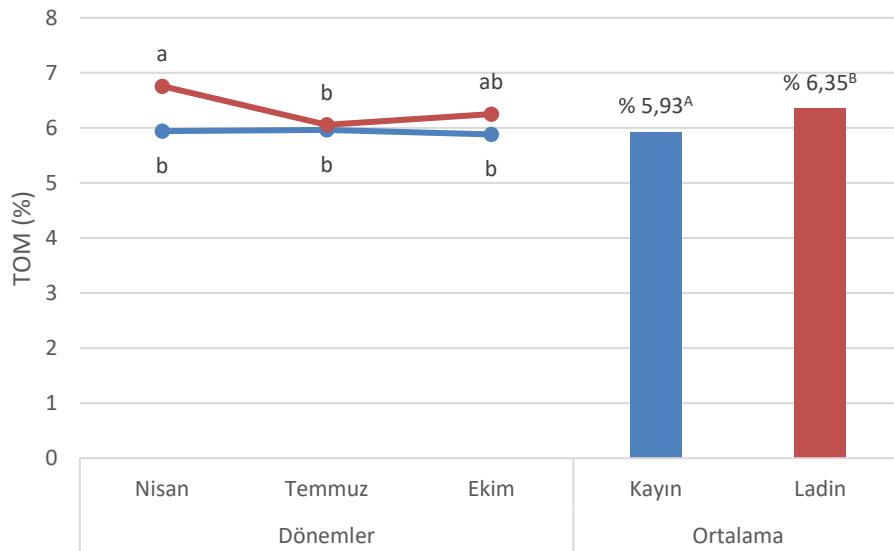
TOM içeriğinin kayın ve ladin sahaları arasındaki değişimi analiz etmek için yapılan t testi sonucunda kayın ve ladin türleri arasında Nisan ve Ekim dönemlerinde ve dönem ortalamalarında anlamlı farklılık ($P<0,05$) olduğu bulunmuştur (Şekil 30).

Kayın sahasında TOM içeriğinin kontrol ve uygulama alanları arasındaki değişimini analiz etmek için yapılan t testi sonucunda anlamlı farklılık göstermediği belirlenmiştir. Ayrıca kayın sahasında kontrol ve uygulama alanlarındaki toprakların TOM içeriği değerlerinin mevsimsel değişimi için yapılan varyans analizi sonucunda

hem kontrol hem de uygulama alanları için dönemler arasında anlamlı farklılık bulunmamıştır.

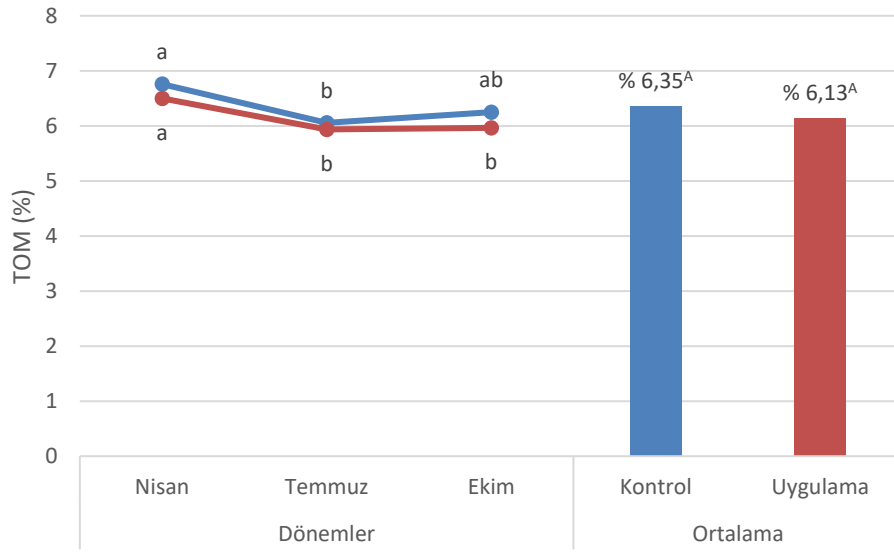
Tablo 4. Her iki türün sahalarında deneme alanlarındaki toprakların organik madde içeriğinin tanımlayıcı değerleri.

Tür	Alan	Belirtici değerler	Dönemler		
			Nisan	Temmuz	Ekim
			Toprak organik maddesi (%)		
Kayın	Kontrol	Min.	4,93	4,70	4,36
		Maks.	6,90	6,54	6,46
		Ort.	5,94	5,96	5,88
		St.H.	0,70	0,56	0,15
	Uygulama	Min.	3,39	4,46	4,26
		Maks.	6,99	6,36	6,25
		Ort.	6,21	6,03	5,74
		St.H.	0,92	0,49	0,15
Ladin	Kontrol	Min.	5,05	4,59	5,70
		Maks.	7,05	6,40	6,62
		Ort.	6,76	6,06	6,25
		St.H.	0,50	0,49	0,06
	Uygulama	Min.	5,49	4,99	4,89
		Maks.	7,09	6,45	6,39
		Ort.	6,50	5,94	5,97
		St.H.	0,59	0,43	0,12



Şekil 30. Kontrol alanları için kayın ve ladin sahaları arasında toprakların organik madde içeriği değişimi (Harfler fark gruplarını gösterir, $p < 0,005$).

Ladin sahasında TOM içeriğinin kontrol ve uygulama alanları arasındaki değişimini analiz etmek için yapılan t testi sonucunda sadece Ekim ayında anlamlı farklılık ($P<0,05$) gösterdiği belirlenmiştir (Şekil 31). Ladin sahasında kontrol ve uygulama alanlarındaki toprakların TOM içeriği değerlerinin mevsimsel değişimi için yapılan varyans analizi sonucunda hem kontrol hem de uygulama alanında dönemler arasında anlamlı farklılık bulunmuş ($P<0,05$) ve Tukey HSD testi sonucunda en yüksek grup Nisan dönemi olarak belirlenmiştir (Şekil 31).



Şekil 31. Ladin sahasında toprak organik madde içeriğinin kontrol ve uygulama alanları arasında ve dönemsel değişimi (Harfler fark gruplarını gösterir, $p<0,005$).

3.4 Kök Biyokütlesine İlişkin Bulgular

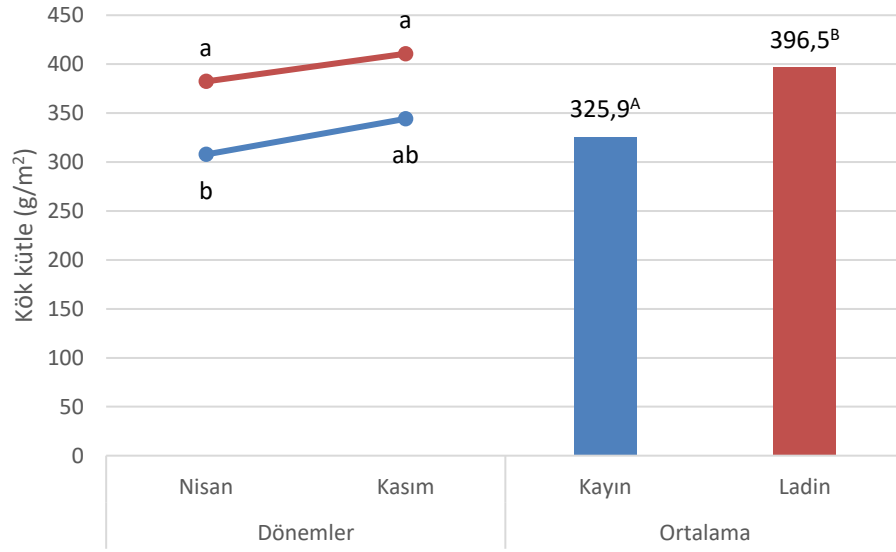
3.4.1 2018 Yılına İlişkin Bulgular

Toprakaltı kök kütlesi analizinde elde edilen verilere göre ortalama kılcal kök (<2 mm) miktarı en fazla ladin sahası kontrol alanında Kasım'da ($410,7 \text{ g/m}^2$), en düşük ladin sahası uygulama alanında Kasım'da ($152,3 \text{ g/m}^2$) bulunmuştur. Ortalama ince kök (2-5 mm) miktarı da en fazla ladin sahası kontrol alanında Kasım'da ($341,5 \text{ g/m}^2$), en düşük ladin sahası uygulama alanında Kasım'da ($209,0 \text{ g/m}^2$) bulunmuştur. Her iki kayın ve ladin sahalarında kılcal ve ince kök kütlesi değerlerinin belirlenen ortalama, maksimum, minimum ve standart hata değerleri Tablo 5'te verilmiştir.

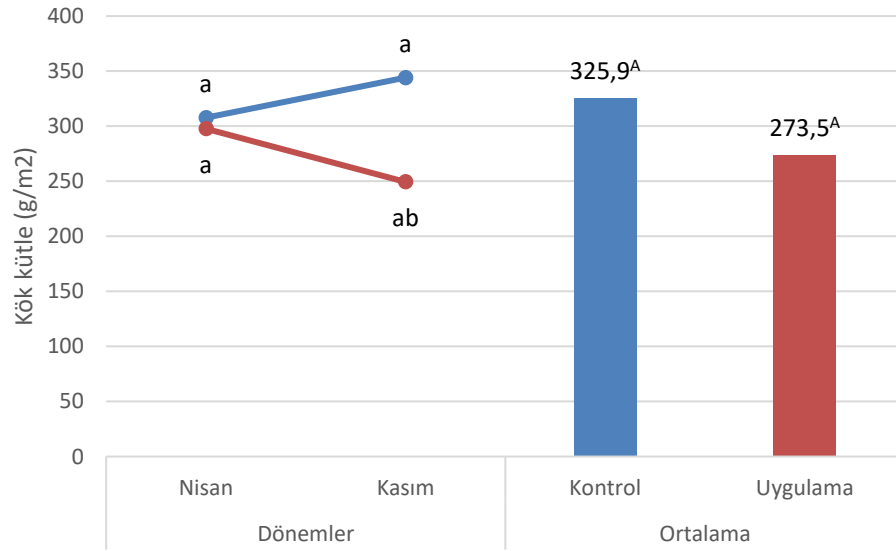
Tablo 5. Her iki türün sahalarda deneme alanlarındaki toprakaltı kılcal (<2 mm) ve ince (2-5 mm) kök kütle miktarının tanımlayıcı değerleri

Tür	Alan	Belirtici değerler	Nisan		Kasım	
			Kılcal Kök	İnce Kök	Kılcal Kök	İnce Kök
			Kütle (g/m ²)			
Kayın	Kontrol	Min.	228,3	168,8	218,4	248,2
		Maks.	426,9	516,2	466,6	446,7
		Ort.	307,7	315,0	344,1	339,5
		St.H.	17,5	25,9	19,6	15,6
	Uygulama	Min.	188,5	198,5	129,0	138,9
		Maks.	466,4	357,2	387,0	496,2
		Ort.	297,7	271,9	249,4	284,5
		St.H.	23,0	13,5	17,9	23,9
Ladin	Kontrol	Min.	207,6	158,2	237,3	217,5
		Maks.	494,4	445,0	800,9	593,3
		Ort.	382,3	316,4	410,7	341,5
		St.H.	18,2	27,0	35,0	26,8
	Uygulama	Min.	148,4	98,9	49,5	89,0
		Maks.	425,3	455,0	247,3	306,6
		Ort.	247,9	237,4	152,3	209,0
		St.H.	20,3	24,5	14,5	20,0

Kök kütlelerinin kayın ve ladin sahaları arasındaki değişimi analiz etmek için yapılan t testi sonucunda kontrol alanları için kılcal kök kütle bakımından kayın ve ladin türleri arasında Nisan döneminde ve dönem ortalamalarında anlamlı farklılık ($P<0,05$) olduğu bulunmuştur (Şekil 32). İnce kök kütle bakımından ise kontrol alanları için kayın ve ladin türleri arasında anlamlı farklılık bulunmadığı belirlenmiştir. Kayın sahasında kök kütlelerinin kontrol ve uygulama alanları arasındaki değişimini analiz etmek için yapılan t testi sonucunda kılcal kök kütlelerinde sadece Kasım ayında anlamlı farklılık ($P<0,05$) gösterdiği belirlenmiştir (Şekil 33). İnce kök kütlelerinde ise kontrol ve uygulama alanları arasında anlamlı farklılık bulunmadığı belirlenmiştir. Ayrıca kayın sahasında kontrol ve uygulama alanlarındaki hem ince hem de kılcal kök kütle değerlerinin mevsimsel değişimi için yapılan t testi analizi sonucunda hem kontrol hem de uygulama alanları için dönemler arasında anlamlı farklılık bulunmamıştır.



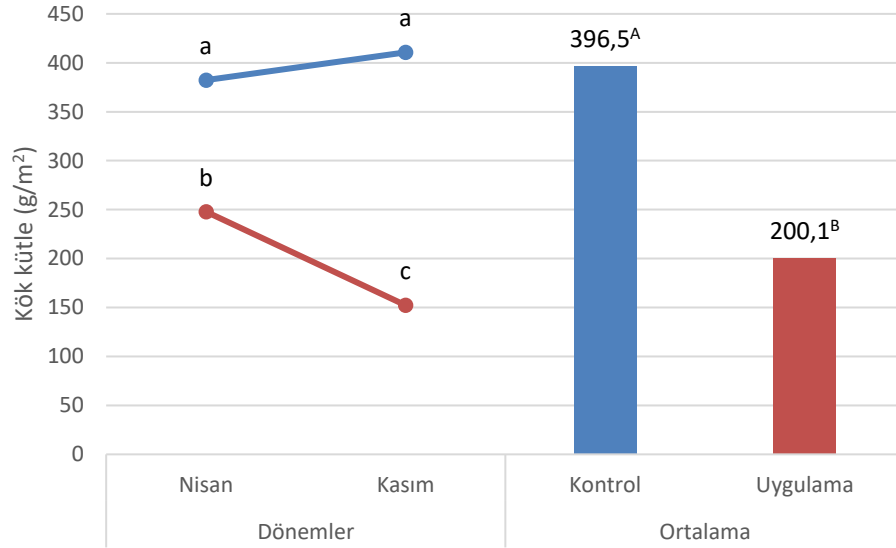
Şekil 32. Kontrol alanları için kayın ve ladin sahaları arasında toprakaltı kılcık kök (<2 mm) kütle miktarı değişimi (Harfler fark gruplarını gösterir, $p<0,005$).



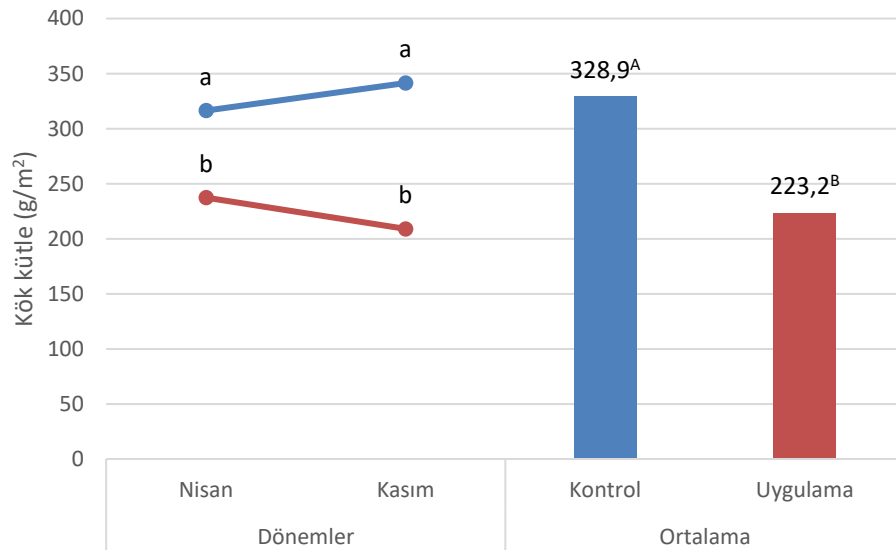
Şekil 33. Kayın sahasında toprakaltı kılcık kök (<2 mm) kütle miktarının kontrol ve uygulama alanları arasında ve dönemsel değişimi (Harfler fark gruplarını gösterir, $p<0,005$).

Ladin sahasında kök kütlesinin kontrol ve uygulama alanları arasındaki değişimini analiz etmek için yapılan t testi sonucunda kılcık kök kütlesi için her iki dönemde ve dönem ortalamalarında alanlar arasında anlamlı farklılık ($P<0,05$) olduğu belirlenmiştir (Şekil 34). İnce kök kütlesinde de aynı şekilde her iki dönemde ve dönemler ortalamasında kontrol ve uygulama alanları arasında anlamlı farklılık ($P<0,05$) bulunmuştur (Şekil 35). Ayrıca ladin sahasında kontrol ve uygulama alanlarındaki kök kütlesi değerlerinin mevsimsel değişimi için yapılan t testi analizi

sonucunda kılcal kök kütlelerinde sadece uygulama alanı için dönemler arasında anlamlı farklılık ($P<0,05$) bulunmuştur (Şekil 34). İnce kök kütleleri için ise hem kontrol hem de uygulama alanları için dönemler arasında anlamlı farklılık bulunmamıştır.



Şekil 34. Ladin sahasında toprakaltı kılcal kök (0-2 mm) kütle miktarının kontrol ve uygulama alanları arasında ve dönemsel değişimi (Harfler fark gruplarını gösterir, $p<0,005$).



Şekil 35. Ladin sahasında toprakaltı ince kök (2-5 mm) kütle miktarının kontrol ve uygulama alanları arasında ve dönemsel değişimi (Harfler fark gruplarını gösterir, $p<0,005$).

3.4.2 2019 yılına ilişkin bulgular

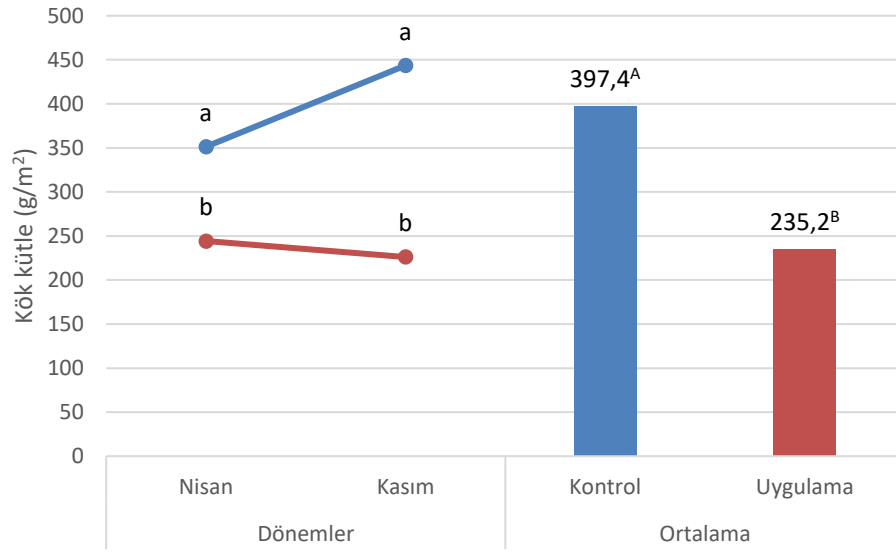
Toprakaltı kök kütlesi için 2019 yılı örneklerinin analizinde elde edilen verilere göre ortalama kılcal kök (<2 mm) miktarı en fazla kayın sahası kontrol alanında Kasım'da (443,6 g/m²), en düşük ladin sahası uygulama alanında Kasım'da (91,7 g/m²) bulunmuştur. Ortalama ince kök (2-5 mm) miktarı da en fazla kayın sahası kontrol alanında Kasım'da (360,1 g/m²), en düşük ladin sahası uygulama alanında Nisan'da (128,6 g/m²) bulunmuştur. Her iki kayın ve ladin sahalarında kılcal ve ince kök kütlesi değerlerinin belirlenen ortalama, maksimum, minimum ve standart hata değerleri Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6. 2019 yılı için her iki türün sahalarında deneme alanlarındaki toprakaltı kılcal (<2 mm) ve ince (2-5 mm) kök kütle miktarının tanımlayıcı değerleri

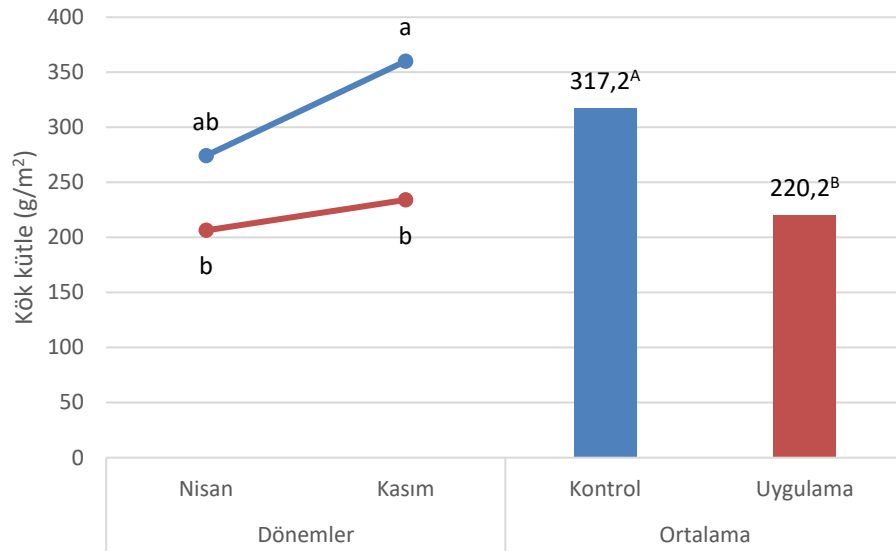
Tür	Alan	Belirtici değerler	Nisan		Kasım	
			Kılcal Kök	İnce Kök	Kılcal Kök	İnce Kök
			Kütle (g/m ²)			
Kayın	Kontrol	Min.	113,6	140,0	316,1	90,0
		Maks.	596,3	434,2	703,3	775,5
		Ort.	351,3	274,3	443,6	360,1
		St.H.	40,1	20,4	32,9	49,2
	Uygulama	Min.	118,6	31,7	57,9	68,6
		Maks.	362,3	364,7	330,0	354,3
		Ort.	244,3	206,4	226,1	234,1
		St.H.	18,8	28,6	18,6	19,8
Ladin	Kontrol	Min.	233,3	55,9	117,5	75,3
		Maks.	505,1	445,0	720,9	793,1
		Ort.	347,5	248,9	419,6	243,6
		St.H.	24,8	37,1	44,1	46,4
	Uygulama	Min.	26,5	37,5	53,5	28,1
		Maks.	222,5	311,8	159,2	337,1
		Ort.	106,9	128,6	91,7	133,4
		St.H.	15,6	20,2	8,4	19,0

Kök kütlelerinin 2019 yılında kayın ve ladin sahaları arasındaki değişimi analiz etmek için yapılan t testi sonucunda kontrol alanları için hem kılcal kök kütlesi hem de ince kök kütlesi bakımından kayın ve ladin türleri arasında anlamlı farklılık bulunmadığı belirlenmiştir. 2019 yılında, kayın sahasında kök kütlelerinin kontrol ve uygulama alanları arasındaki değişimini analiz etmek için yapılan t testi sonucunda, kılcal kök kütlesi için Nisan ve Kasım ayında dolayısıyla dönemler ortalamasında alanlar

arasında anlamlı farklılık ($P<0,05$) olduğu belirlenmiştir (Şekil 36). İnce kök kütlesinde ise kayın sahası için kontrol ve uygulama alanları arasında Kasım ayında ve ayrıca dönemler ortalamasında anlamlı farklılık ($P<0,05$) olduğu belirlenmiştir (Şekil 37). Ayrıca kayın sahasında kontrol ve uygulama alanlarındaki hem ince hem de kılcal kök kütlesi değerlerinin mevsimsel değişimi için yapılan t testi analizi sonucunda hem kontrol hem de uygulama alanları için dönemler arasında anlamlı farklılık bulunmamıştır

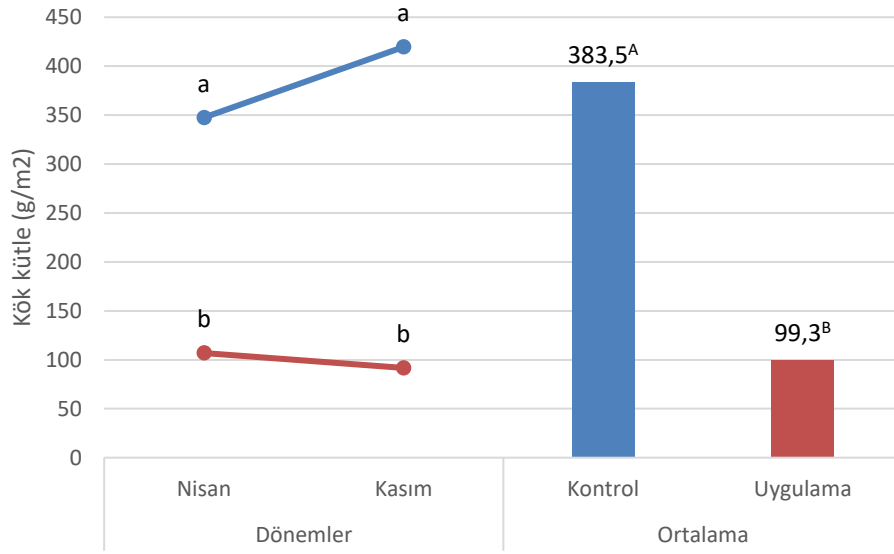


Şekil 36. Kayın sahasında 2019 yılı için toprakaltı kılcal kök (<2 mm) kütlesinin kontrol ve uygulama alanları arasında ve dönemsel değişimi (Harfler fark gruplarını gösterir, $p<0,005$).

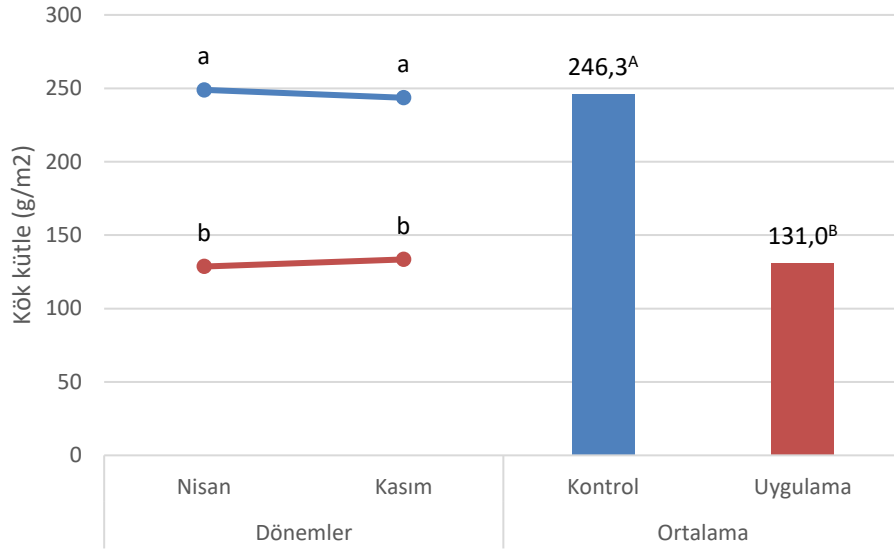


Şekil 37. Kayın sahasında 2019 yılı için toprakaltı ince kök (2-5 mm) kütle miktarının kontrol ve uygulama alanları arasında ve dönemsel değişimi (Harfler fark gruplarını gösterir, $p<0,005$).

2019 yılı için ladin sahasında kök kütlesinin kontrol ve uygulama alanları arasındaki değişimini analiz etmek için yapılan t testi sonucunda kılcal kök kütlesi için her iki dönemde ve dönem ortalamalarında alanlar arasında anlamlı farklılık ($P<0,05$) olduğu belirlenmiştir (Şekil 38). İnce kök kütlesinde de aynı şekilde her iki dönemde ve dönem ortalamasında kontrol ve uygulama alanları arasında anlamlı farklılık ($P<0,05$) bulunmuştur (Şekil 39). Ayrıca ladin sahasında kontrol ve uygulama alanlarındaki hem ince hem de kılcal kök kütlesi değerlerinin 2019'daki mevsimsel değişimi için yapılan t testi analizi sonucunda hem kontrol hem de uygulama alanları için dönemler arasında anlamlı farklılık bulunmamıştır.



Şekil 38. Ladın sahasında 2019 yılı için toprakaltı kılcal kök (<2 mm) kütle miktarının kontrol ve uygulama alanları arasında ve dönemsel değişimi (Harfler fark gruplarını gösterir, $p<0,005$).



Şekil 39. Ladın sahasında 2019 yılı için toprakaltı ince kök (2-5 mm) kütle miktarının kontrol ve uygulama alanları arasında ve dönemsel değişimi (Harfler fark gruplarını gösterir, $p<0,005$).

3.5 Toprakta Mikrobiyal Karbona İlişkin Bulgular

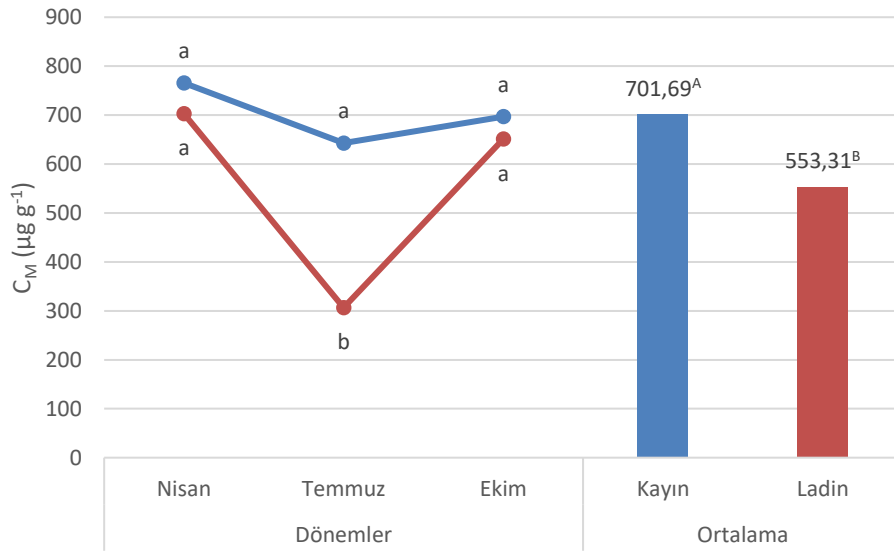
Toprakların mikrobiyal (biyokütle) karbon (C_M) analizinde elde edilen verilere göre ortalama C_M içeriği en fazla ladın sahası uygulama alanında Nisan'da ($820,03 \mu g g^{-1}$), en düşük ladın sahası kontrol alanında Temmuz'da ($306,52 \mu g g^{-1}$) bulunmuştur. Her

iki kayın ve ladin sahalarında C_M içeriği değerlerinin belirlenen ortalama, maksimum, minimum ve standart hata değerleri Tablo 7’de verilmiştir.

Tablo 7. Her iki türün sahalarında deneme alanlarındaki toprakların mikrobiyal karbon içeriğinin tanımlayıcı değerleri.

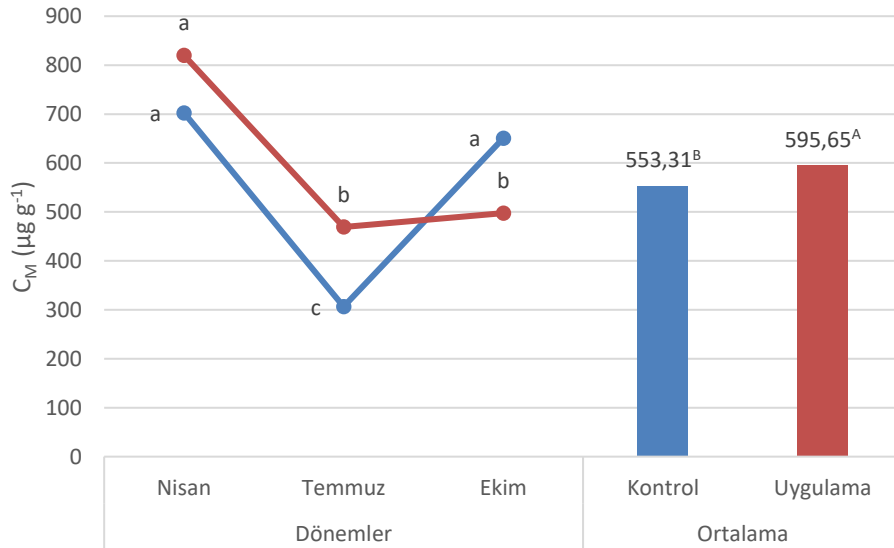
Tür	Alan	Belirtici değerler	Dönemler			
			Nisan	Temmuz	Ekim	
			Toprak mikrobiyal karbonu (µg g ⁻¹)			
Kayın	Kontrol	Min.	412,85	321,94	467,86	
		Maks.	1308,97	871,73	1000,87	
		Ort.	765,62	642,86	696,58	
		St.H.	75,19	44,29	43,73	
	Uygulama	Min.	545,31	469,93	457,01	
		Maks.	1104,27	1172,02	1108,19	
		Ort.	814,46	758,45	760,21	
		St.H.	49,38	46,90	51,60	
	Ladin	Kontrol	Min.	406,22	123,44	507,41
			Maks.	1177,89	696,85	940,07
Ort.			702,53	306,52	650,88	
St.H.			54,64	38,86	32,17	
Uygulama		Min.	305,36	302,85	242,88	
		Maks.	1155,56	692,05	781,32	
		Ort.	820,03	469,27	497,66	
		St.H.	71,16	30,80	47,62	

C_M içeriğinin kayın ve ladin sahaları arasındaki değişimini analiz etmek için yapılan t testi sonucunda kayın ve ladin türleri arasında Temmuz döneminde ve dönem ortalamalarında anlamlı farklılık ($P<0,05$) olduğu bulunmuştur (Şekil 40). Kayın sahasında C_M içeriğinin kontrol ve uygulama alanları arasındaki değişimini analiz etmek için yapılan t testi sonucunda anlamlı farklılık göstermediği belirlenmiştir. Ayrıca kayın sahasında kontrol ve uygulama alanlarındaki toprakların C_M içeriği değerlerinin mevsimsel değişimi için yapılan varyans analizi sonucunda hem kontrol hem de uygulama alanları için dönemler arasında anlamlı farklılık bulunmamıştır. Ladin sahasında C_M içeriğinin kontrol ve uygulama alanları arasındaki değişimini analiz etmek için yapılan t testi sonucunda Temmuz ve Ekim dönemlerinde ve dönemler ortalamasında anlamlı farklılık ($P<0,05$) gösterdiği belirlenmiştir (Şekil 41).



Şekil 40. Kontrol alanları için kayın ve ladin sahaları arasında toprakların mikrobiyal karbon içeriği değişimi (Harfler fark gruplarını gösterir, $p<0,005$).

Ladin sahasında kontrol ve uygulama alanlarındaki toprakların C_M içeriği değerlerinin mevsimsel değişimi için yapılan varyans analizi sonucunda hem kontrol hem de uygulama alanında dönemler arasında anlamlı farklılık bulunmuş ($P<0,05$) ve Tukey HSD testi sonucunda en yüksek grup Nisan dönemi, en düşük grup Temmuz dönemi olarak belirlenmiştir (Şekil 41).



Şekil 41. Ladin sahasında toprakta mikrobiyal karbon içeriğinin kontrol ve uygulama alanları arasında ve dönemsel değişimi (Harfler fark gruplarını gösterir, $p<0,005$).

3.6 Toprak Organik Karbonuna İlişkin Bulgular

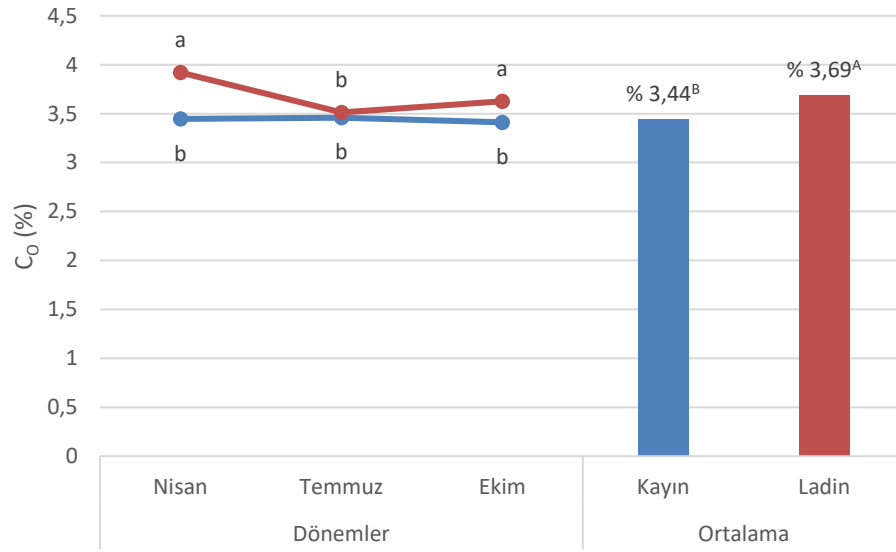
Toprakların organik karbon (C_O) analizinde elde edilen verilere göre ortalama C_O içeriği en fazla ladin sahası kontrol alanında Nisan’da (% 3,92), en düşük kayın sahası uygulama alanında Ekim’de (% 3,33) bulunmuştur. Her iki kayın ve ladin sahalarında C_O içeriği değerlerinin belirlenen ortalama, maksimum, minimum ve standart hata değerleri Tablo 8’de verilmiştir.

Tablo 8. Her iki türün sahalarında deneme alanlarındaki toprakların organik karbon içeriğinin tanımlayıcı değerleri.

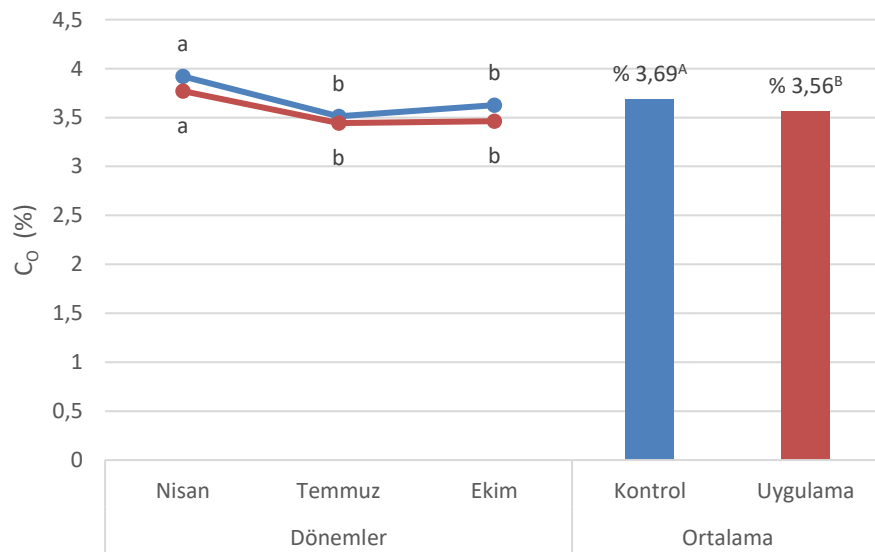
Tür	Alan	Belirtici değerler	Dönemler		
			Nisan	Temmuz	Ekim
Toprak organik karbonu (%)					
Kayın	Kontrol	Min.	2,86	2,73	2,53
		Maks.	4,00	3,79	3,75
		Ort.	3,45	3,46	3,41
		St.H.	0,10	0,08	0,09
	Uygulama	Min.	1,97	2,59	2,47
		Maks.	4,05	3,69	3,62
		Ort.	3,60	3,50	3,33
		St.H.	0,14	0,07	0,09
Ladin	Kontrol	Min.	2,93	2,66	3,31
		Maks.	4,09	3,71	3,84
		Ort.	3,92	3,51	3,62
		St.H.	0,08	0,07	0,03
	Uygulama	Min.	3,19	2,89	2,84
		Maks.	4,12	3,74	3,71
		Ort.	3,77	3,44	3,46
		St.H.	0,09	0,06	0,07

C_O içeriğinin kayın ve ladin sahaları arasındaki değişimini analiz etmek için yapılan t testi sonucunda kayın ve ladin türleri arasında Nisan ve Ekim dönemlerinde ve dönem ortalamalarında anlamlı farklılık ($P<0,05$) olduğu bulunmuştur (Şekil 42). Kayın sahasında C_O içeriğinin kontrol ve uygulama alanları arasındaki değişimini analiz etmek için yapılan t testi sonucunda anlamlı farklılık göstermediği belirlenmiştir. Ayrıca kayın sahasında kontrol ve uygulama alanlarındaki toprakların C_O içeriği değerlerinin mevsimsel değişimi için yapılan varyans analizi sonucunda hem kontrol hem de uygulama alanları için dönemler arasında anlamlı farklılık bulunmamıştır.

Ladin sahasında C_O içeriğinin kontrol ve uygulama alanları arasındaki değişimini analiz etmek için yapılan t testi sonucunda anlamlı farklılık göstermediği belirlenmiştir. Ladin sahasında kontrol ve uygulama alanlarındaki toprakların C_O içeriği değerlerinin mevsimsel değişimi için yapılan varyans analizi sonucunda hem kontrol hem de uygulama alanında dönemler arasında anlamlı farklılık bulunmuş ($P<0,05$) ve Tukey HSD testi sonucunda en yüksek grup Nisan dönemi olarak belirlenmiştir (Şekil 43).



Şekil 42. Kontrol alanları için kayın ve ladin sahaları arasında toprakların organik karbon içeriği değişimi(Harfler fark gruplarını gösterir, $p<0,005$).



Şekil 43. Ladin sahasında toprakta organik karbon içeriğinin kontrol ve uygulama alanları arasında ve dönemsel değişimi (Harfler fark gruplarını gösterir, $p<0,005$).

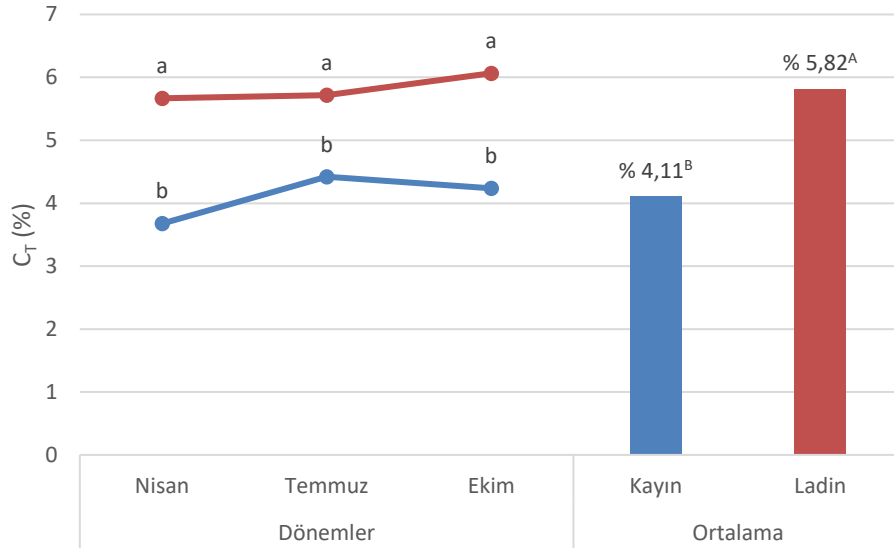
3.7 Toprakta Toplam Karbona İlişkin Bulgular

Toprakların toplam karbon (C_T) analizinde elde edilen verilere göre ortalama C_T içeriği en fazla ladin sahası kontrol alanında Ekim’de (% 6,07), en düşük kayın sahası kontrol alanında Nisan’da (% 3,68) bulunmuştur. Her iki kayın ve ladin sahalarında C_T içeriği değerlerinin belirlenen ortalama, maksimum, minimum ve standart hata değerleri Tablo 9’da verilmiştir.

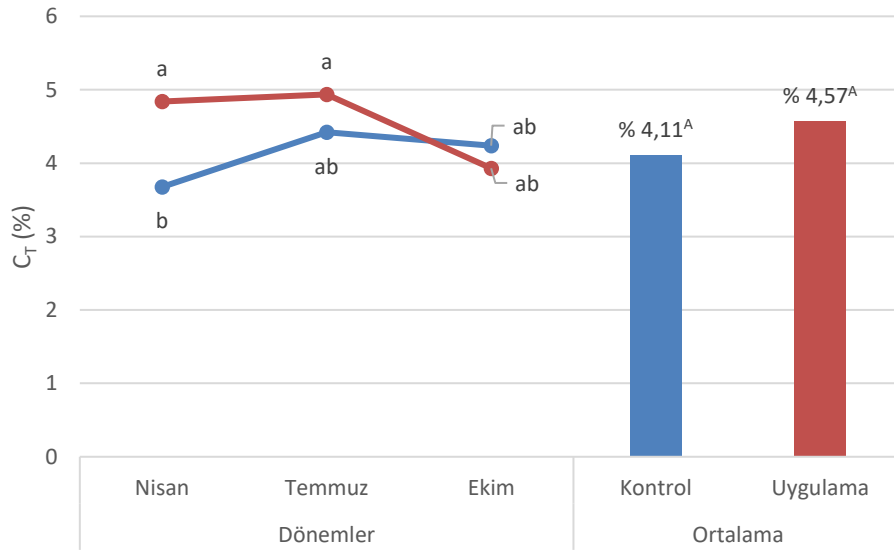
Tablo 9. Her iki türün sahalarında deneme alanlarındaki toprakların toplam karbon içeriğinin tanımlayıcı değerleri.

Tür	Alan	Belirtici değerler	Dönemler		
			Nisan	Temmuz	Ekim
Toprak toplam karbonu (%)					
Kayın	Kontrol	Min.	2,82	2,89	2,57
		Maks.	4,98	6,85	7,18
		Ort.	3,68	4,42	4,24
		St.H.	0,18	0,28	0,31
	Uygulama	Min.	3,50	2,78	2,71
		Maks.	9,57	7,43	4,91
		Ort.	4,84	4,94	3,93
		St.H.	0,43	0,31	0,16
Ladin	Kontrol	Min.	3,69	3,50	3,68
		Maks.	8,34	9,79	11,63
		Ort.	5,67	5,72	6,07
		St.H.	0,29	0,49	0,57
	Uygulama	Min.	3,31	0,93	2,94
		Maks.	7,69	7,13	6,67
		Ort.	5,19	4,34	4,62
		St.H.	0,31	0,36	0,30

C_T içeriğinin kayın ve ladin sahaları arasındaki değişimi analiz etmek için yapılan t testi sonucunda kayın ve ladin türleri arasında her bir dönemde ve dönemler ortalamasında anlamlı ($P<0,05$) farklılık bulunmuştur (Şekil 44). Kayın sahasında C_T içeriğinin kontrol ve uygulama alanları arasındaki değişimini analiz etmek için yapılan t testi sonucunda Nisan döneminde anlamlı farklılık ($P<0,05$) gösterdiği belirlenmiştir (Şekil 45). Ayrıca kayın sahasında kontrol ve uygulama alanlarındaki toprakların C_T içeriği değerlerinin mevsimsel değişimi için yapılan varyans analizi sonucunda hem kontrol hem de uygulama alanları için dönemler arasında anlamlı farklılık bulunmamıştır.



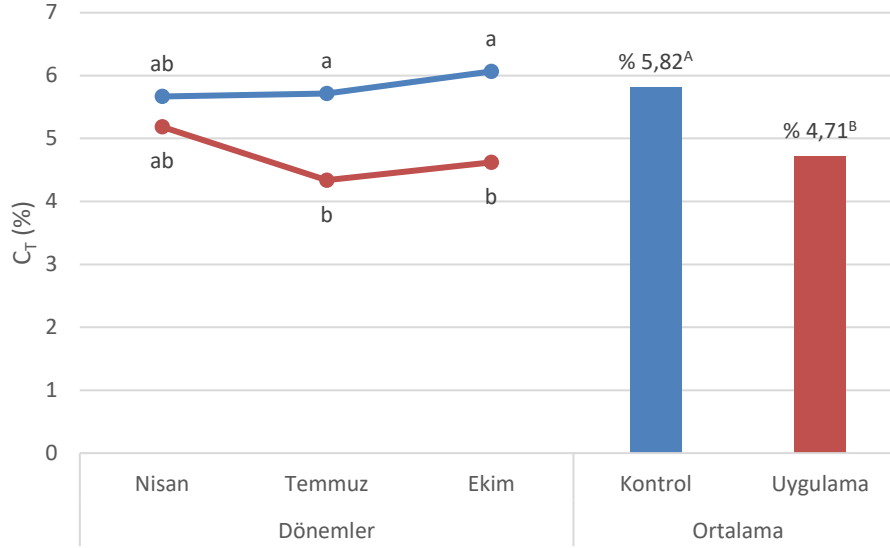
Şekil 44. Kontrol alanları için kayın ve ladin sahaları arasında toprakların toplam karbon içeriği değişimi.



Şekil 45. Kayın sahasında toprakta toplam karbon içeriğinin kontrol ve uygulama alanları arasında ve dönemsel değişimi (Harfler fark gruplarını gösterir, $p < 0,005$).

Ladin sahasında C_T içeriğinin kontrol ve uygulama alanları arasındaki değişimini analiz etmek için yapılan t testi sonucunda Temmuz ve Ekim dönemlerinde ve dönemler ortalamasında anlamlı farklılık ($P < 0,05$) gösterdiği belirlenmiştir (Şekil 46). Ayrıca ladin sahasında Kontrol ve uygulama alanlarındaki toprakların C_T içeriği

değerlerinin mevsimsel değişimi için yapılan varyans analizi sonucunda hem kontrol hem de uygulama alanları için dönemler arasında anlamlı farklılık bulunmamıştır.



Şekil 46. Ladin sahasında toprakta toplam karbon içeriğinin kontrol ve uygulama alanları arasında ve dönemsel değişimi (Harfler fark gruplarını gösterir, $p<0,005$).

3.8 Toprakta Mikrobiyal Azota İlişkin Bulgular

Toprakların mikrobiyal azot (N_M) analizinde elde edilen verilere göre ortalama N_M içeriği en fazla kayın sahası kontrol alanında Nisan'da ($146,43 \mu g g^{-1}$), en düşük ladin sahası kontrol alanında Temmuz'da ($46,91 \mu g g^{-1}$) bulunmuştur. Her iki kayın ve ladin sahalarında N_M içeriği değerlerinin belirlenen ortalama, maksimum, minimum ve standart hata değerleri Tablo 10'da verilmiştir.

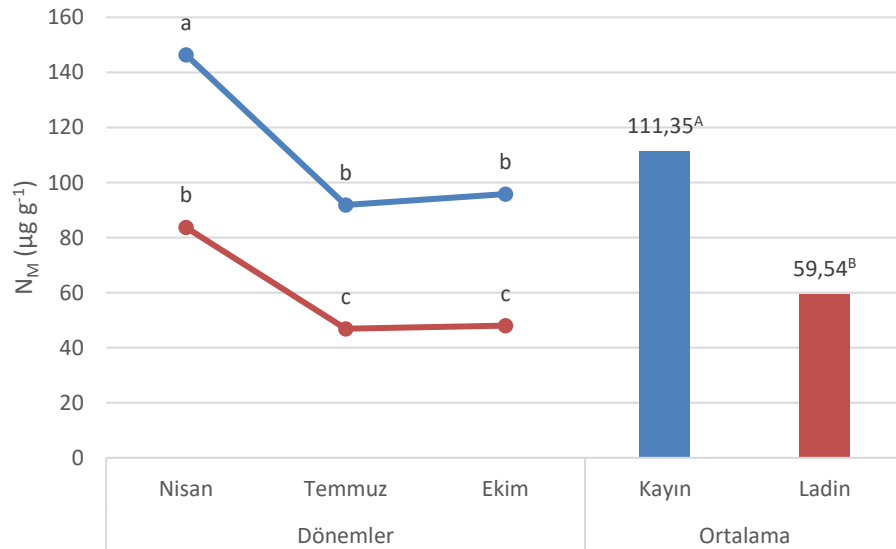
N_M içeriğinin kayın ve ladin sahaları arasındaki değişimini analiz etmek için yapılan t testi sonucunda kayın ve ladin türleri arasında her bir dönemde ve dönem ortalamalarında anlamlı farklılık ($P<0,05$) olduğu bulunmuştur (Şekil 47).

Kayın sahasında N_M içeriğinin kontrol ve uygulama alanları arasındaki değişimini analiz etmek için yapılan t testi sonucunda anlamlı farklılık göstermediği belirlenmiştir. Kayın sahasında kontrol ve uygulama alanlarındaki toprakların N_M içeriği değerlerinin mevsimsel değişimi için yapılan varyans analizi sonucunda hem kontrol hem de uygulama alanında dönemler arasında anlamlı farklılık bulunmuş

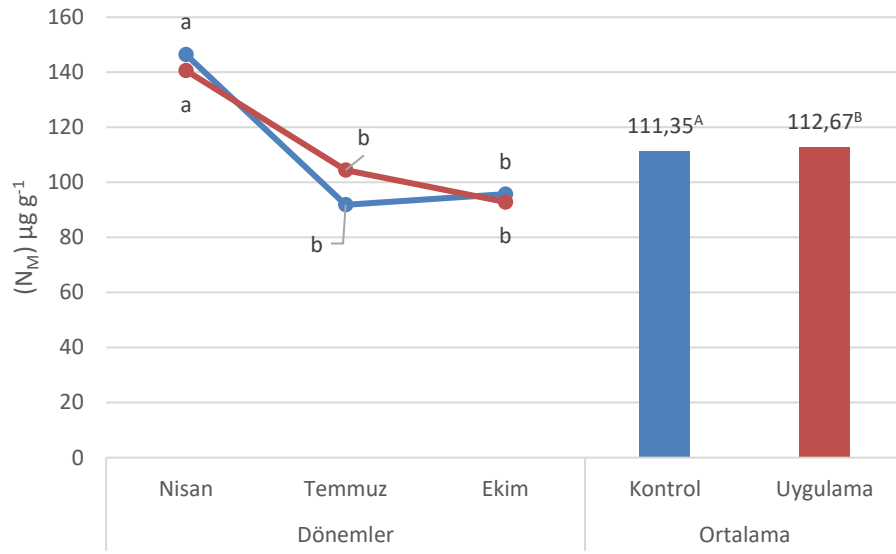
($P<0,05$) ve Tukey HSD testi sonucunda en yüksek grup Nisan dönemi olarak belirlenmiştir (Şekil 48).

Tablo 10. Her iki türün sahalarında deneme alanlarındaki toprakların mikrobiyal azot içeriğinin tanımlayıcı değerleri.

Tür	Alan	Belirtici değerler	Dönemler		
			Nisan	Temmuz	Ekim
			Toprak mikrobiyal azotu ($\mu\text{g g}^{-1}$)		
Kayın	Kontrol	Min.	110,55	67,00	65,46
		Maks.	214,56	123,11	137,23
		Ort.	146,43	91,86	95,77
		St.H.	6,57	4,98	5,87
	Uygulama	Min.	105,17	77,26	67,30
		Maks.	179,57	128,62	128,15
		Ort.	140,64	104,48	92,88
		St.H.	5,16	4,23	5,01
Ladin	Kontrol	Min.	62,39	34,04	29,27
		Maks.	112,57	69,93	75,87
		Ort.	83,69	46,91	48,01
		St.H.	3,82	3,14	4,35
	Uygulama	Min.	51,06	43,39	35,01
		Maks.	98,17	98,91	78,11
		Ort.	67,11	59,77	47,09
		St.H.	3,51	4,65	3,41

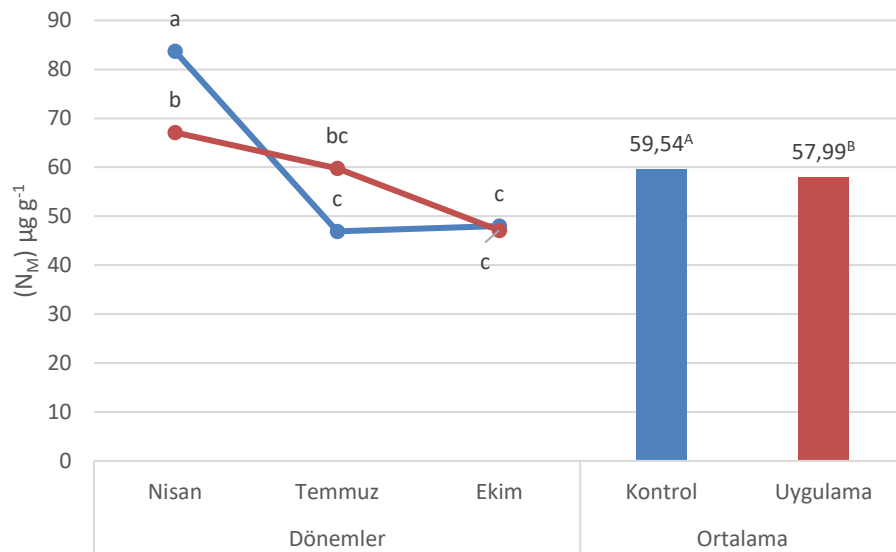


Şekil 47. Kontrol alanları için kayın ve ladin sahaları arasında toprakların mikrobiyal azot (N_M) içeriği değişimi (Harfler fark gruplarını gösterir, $p<0,005$).



Şekil 48. Kayın sahasında toprakta mikrobiyal azot (N_M) içeriğinin kontrol ve uygulama alanları arasında ve dönemsel değişimi (Harfler fark gruplarını gösterir, $p < 0,005$).

Ladin sahasında N_M içeriğinin kontrol ve uygulama alanları arasındaki değişimini analiz etmek için yapılan t testi sonucunda Nisan döneminde anlamlı farklılık ($P < 0,05$) gösterdiği belirlenmiştir (Şekil 49). Ladin sahasında kontrol ve uygulama alanlarındaki toprakların N_M içeriği değerlerinin mevsimsel değişimi için yapılan varyans analizi sonucunda hem kontrol hem de uygulama alanında dönemler arasında anlamlı farklılık bulunmuş ($P < 0,05$) ve Tukey HSD testi sonucunda en yüksek grup Nisan dönemi olarak belirlenmiştir (Şekil 49).



Şekil 49. Ladin sahasında toprakta mikrobiyal azot içeriğinin kontrol ve uygulama alanları arasında ve dönemsel değişimi.

3.9 Toprakta Mineral Azota İlişkin Bulgular

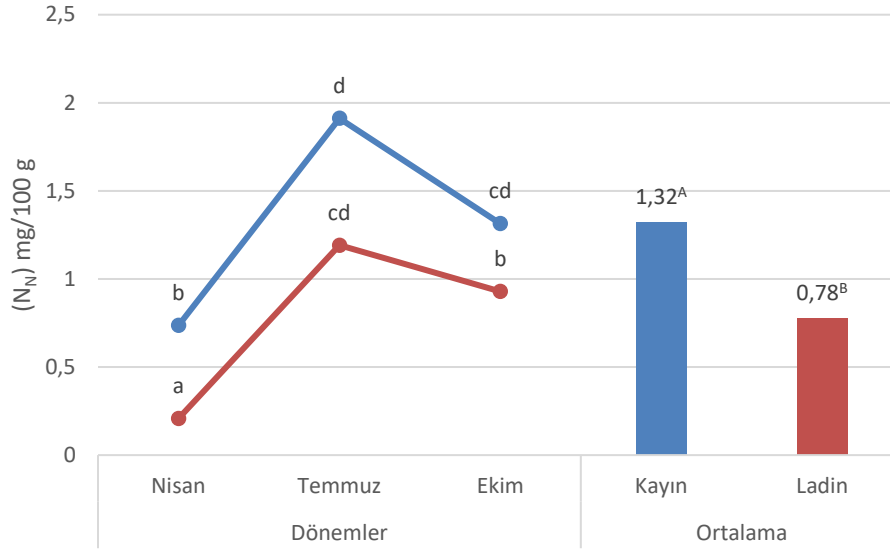
Toprakların mineral azot ($\text{NH}_4 + \text{NO}_3$) (N_N) analizinde elde edilen verilere göre ortalama N_N içeriği en fazla ladin sahası uygulama alanında Ekim’de (4,23 mg/100 g), en düşük ladin sahası kontrol alanında Nisan’da (0,21 mg/100 g) bulunmuştur. Her iki kayın ve ladin sahalarında N_N içeriği değerlerinin belirlenen ortalama, maksimum, minimum ve standart hata değerleri Tablo 11’de verilmiştir.

Tablo 11. Her iki türün sahalarında deneme alanlarındaki toprakların mineral azot içeriğinin tanımlayıcı değerleri.

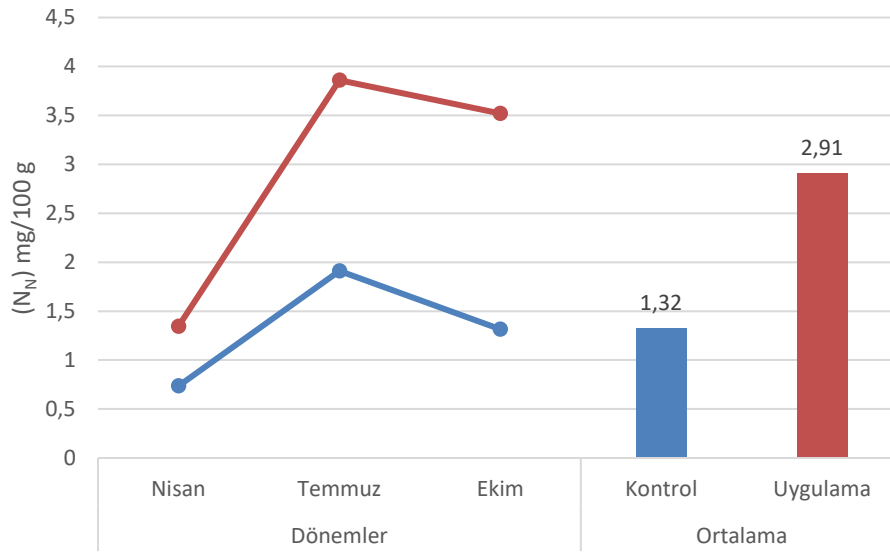
Tür	Alan	Belirtici değerler	Dönemler		
			Nisan	Temmuz	Ekim
Toprak mineral azotu (mg/100 g)					
Kayın	Kontrol	Min.	0,21	0,78	0,81
		Maks.	2,69	8,21	2,98
		Ort.	0,74	1,91	1,31
		St.H.	0,18	0,52	0,14
	Uygulama	Min.	1,05	1,10	2,69
		Maks.	1,63	6,47	4,23
		Ort.	1,35	3,86	3,52
		St.H.	0,04	0,29	0,12
Ladin	Kontrol	Min.	0,10	0,80	0,61
		Maks.	0,45	2,95	1,66
		Ort.	0,21	1,19	0,93
		St.H.	0,02	0,14	0,09
	Uygulama	Min.	0,33	1,56	1,69
		Maks.	2,37	7,02	5,42
		Ort.	1,18	3,98	4,23
		St.H.	0,16	0,40	0,22

N_N içeriğinin kayın ve ladin sahaları arasındaki değişimini analiz etmek için yapılan t testi sonucunda kayın ve ladin türleri arasında Nisan ve Ekim dönemlerinde ve dönem ortalamalarında anlamlı farklılık ($P < 0,05$) olduğu bulunmuştur (Şekil 50). Kayın sahasında N_N içeriğinin kontrol ve uygulama alanları arasındaki değişimini analiz etmek için yapılan t testi sonucunda her bir dönemde ve dönemler ortalamasında anlamlı farklılık ($P < 0,05$) gösterdiği belirlenmiştir (Şekil 51). Kayın sahasında kontrol ve uygulama alanlarındaki toprakların N_N içeriği değerlerinin mevsimsel değişimi için yapılan varyans analizi sonucunda hem kontrol hem de uygulama alanında dönemler

arasında anlamlı farklılık bulunmuş ($P<0,05$) ve Tukey HSD testi sonucunda en düşük grup Nisan dönemi olarak belirlenmiştir (Şekil 51).



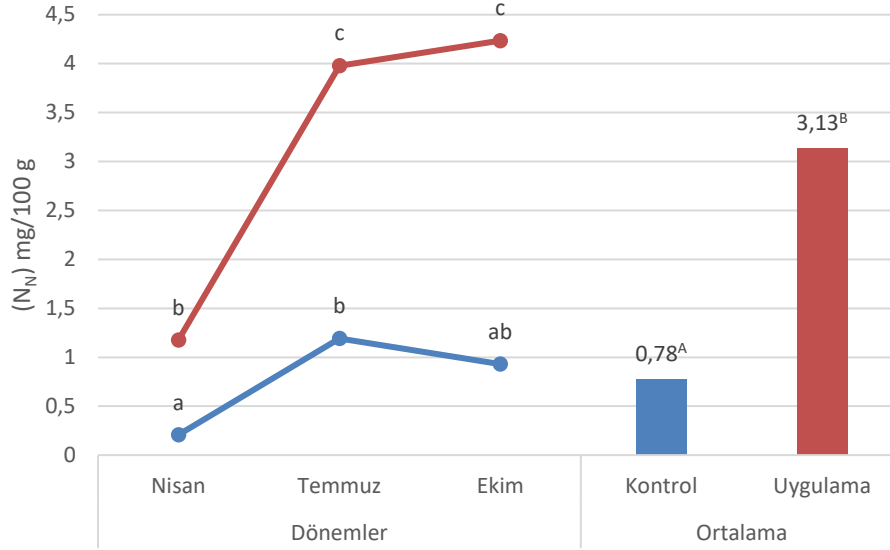
Şekil 50. Kontrol alanları için kayın ve ladin sahaları arasında toprakların mikrobiyal azot (N_N) içeriği değişimi (Harfler fark gruplarını gösterir, $p<0,005$).



Şekil 51. Kayın sahasında toprakta mineral azot (N_N) içeriğinin kontrol ve uygulama alanları arasında ve dönemsel değişimi.

Ladin sahasında N_N içeriğinin kontrol ve uygulama alanları arasındaki değişimini analiz etmek için yapılan t testi sonucunda her bir dönemde ve dönemler ortalamasında anlamlı farklılık ($P<0,05$) gösterdiği belirlenmiştir (Şekil 52). Ladin sahasında kontrol ve uygulama alanlarındaki toprakların N_N içeriği değerlerinin mevsimsel değişimi için yapılan varyans analizi sonucunda hem kontrol hem de uygulama alanında dönemler

arasında anlamlı farklılık bulunmuş ($P<0,05$) ve Tukey HSD testi sonucunda en düşük grup Nisan dönemi olarak belirlenmiştir (Şekil 52).



Şekil 52. Ladin sahasında toprakta mineral azot (N_N) içeriğinin kontrol ve uygulama alanları arasında ve dönemsel değişimi (Harfler fark gruplarını gösterir, $p<0,005$).

3.10 Toprakta Toplam Azota İlişkin Bulgular

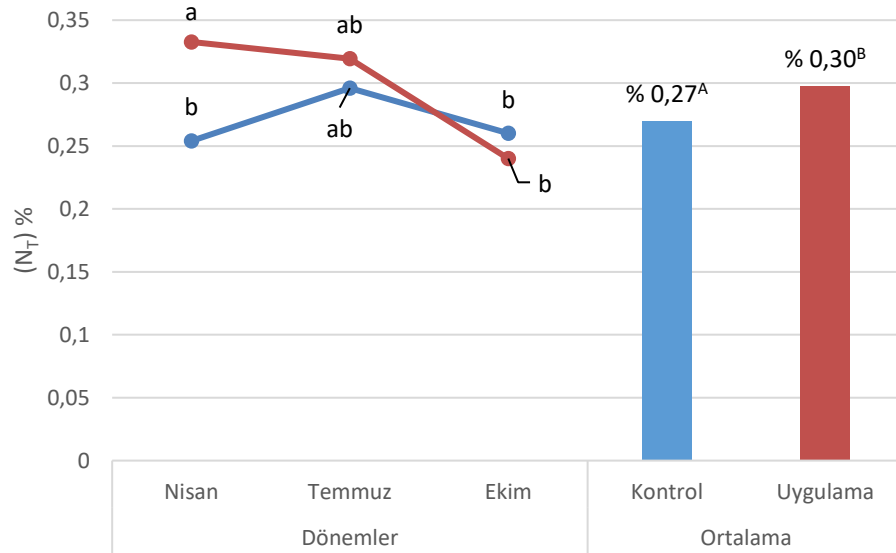
Toprakların toplam azot (N_T) analizinde elde edilen verilere göre ortalama N_T içeriği en fazla kayın sahası uygulama alanında Nisan'da (% 0,33), en düşük ladin sahası uygulama alanında Temmuz'da (% 0,18) bulunmuştur. Her iki kayın ve ladin sahalarında N_T içeriği değerlerinin belirlenen ortalama, maksimum, minimum ve standart hata değerleri Tablo 12'de verilmiştir.

N_T içeriğinin kayın ve ladin sahaları arasındaki farklılıklarını analiz etmek için yapılan t testi sonucunda her üç dönemde ve dönemlerin ortalamasında kontrol alanları için istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulunmamıştır.

Kayın sahasında N_T içeriğinin kontrol ve uygulama alanları arasındaki değişimini analiz etmek için yapılan t testi sonucunda Nisan döneminde anlamlı farklılık ($P<0,05$) gösterdiği belirlenmiştir (Şekil 53). Ayrıca kayın sahasında kontrol ve uygulama alanlarındaki toprakların N_T içeriği değerlerinin mevsimsel değişimi için yapılan varyans analizi sonucunda hem kontrol hem de uygulama alanları için dönemler arasında anlamlı farklılık bulunmamıştır.

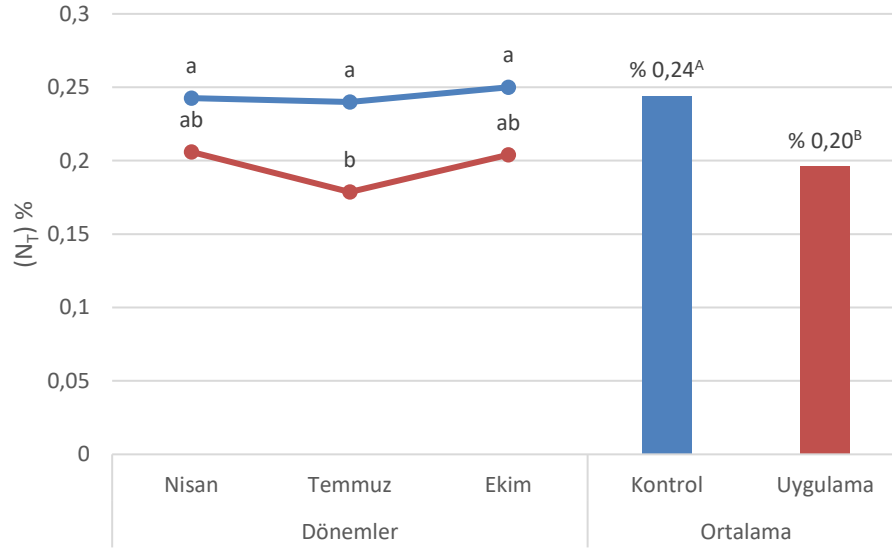
Tablo 12. Her iki türün sahalarında deneme alanlarındaki toprakların toplam azot içeriğinin tanımlayıcı değerleri.

Tür	Alan	Belirtici değerler	Dönemler		
			Nisan	Temmuz	Ekim
			Toprak toplam azotu (%)		
Kayın	Kontrol	Min.	0,16	0,16	0,15
		Maks.	0,42	0,54	0,37
		Ort.	0,25	0,30	0,26
		St.H.	0,02	0,03	0,02
	Uygulama	Min.	0,22	0,18	0,15
		Maks.	0,59	0,57	0,37
		Ort.	0,33	0,32	0,24
		St.H.	0,03	0,03	0,02
Ladin	Kontrol	Min.	0,16	0,15	0,17
		Maks.	0,40	0,38	0,50
		Ort.	0,24	0,24	0,25
		St.H.	0,02	0,02	0,03
	Uygulama	Min.	0,13	0,04	0,12
		Maks.	0,32	0,26	0,30
		Ort.	0,21	0,18	0,20
		St.H.	0,01	0,01	0,01



Şekil 53. Kayın sahasında toprakta toplam azot (NT) içeriğinin kontrol ve uygulama alanları arasında ve dönemsel değişimi (Harfler fark gruplarını gösterir, $p < 0,005$).

Ladin sahasında N_T içeriğinin kontrol ve uygulama alanları arasındaki değişimini analiz etmek için yapılan t testi sonucunda Temmuz döneminde ve dönemler ortalamasında anlamlı farklılık ($P<0,05$) gösterdiği belirlenmiştir (Şekil 54).



Şekil 54. Ladin sahasında toprakta toplam azot (N_T) içeriğinin kontrol ve uygulama alanları arasında ve dönemsel değişimi (Harfler fark gruplarını gösterir, $p<0,005$).

Ladin sahasında kontrol ve uygulama alanlarındaki toprakların N_T içeriği değerlerinin mevsimsel değişimi için yapılan varyans analizi sonucunda hem kontrol hem de uygulama alanları için dönemler arasında anlamlı farklılık bulunmamıştır.

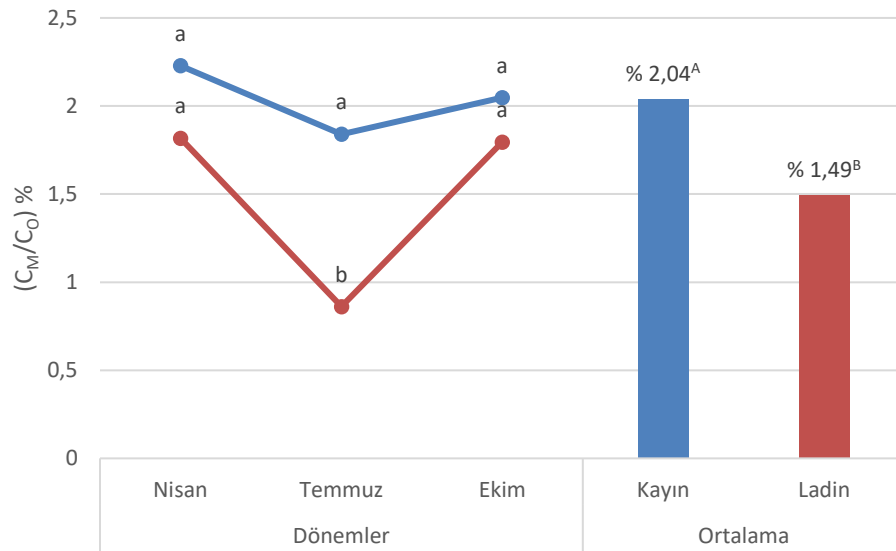
3.11 Toprakta C_M/C_O Yüzdesine İlişkin Bulgular

Toprakların mikrobiyal karbonu (C_M) ile organik karbonunun (C_O) oranı yoluyla elde edilen verilere göre ortalama C_M/C_O yüzdesi en fazla kayın sahası uygulama alanında Nisan'da (% 2,36), en düşük ladin sahası kontrol alanında Temmuz'da (% 0,86) bulunmuştur. Her iki kayın ve ladin sahalarında C_M/C_O yüzdesi değerlerinin belirlenen ortalama, maksimum, minimum ve standart hata değerleri Tablo 13'te verilmiştir.

C_M/C_O yüzdesinin kayın ve ladin sahaları arasındaki değişimini analiz etmek için yapılan t testi sonucunda kayın ve ladin türleri arasında Temmuz döneminde ve dönem ortalamalarında anlamlı farklılık ($P<0,05$) bulunmuştur (Şekil 55).

Tablo 13. Her iki türün sahalarında deneme alanlarındaki toprakların C_M/C_O yüzdesinin tanımlayıcı değerleri.

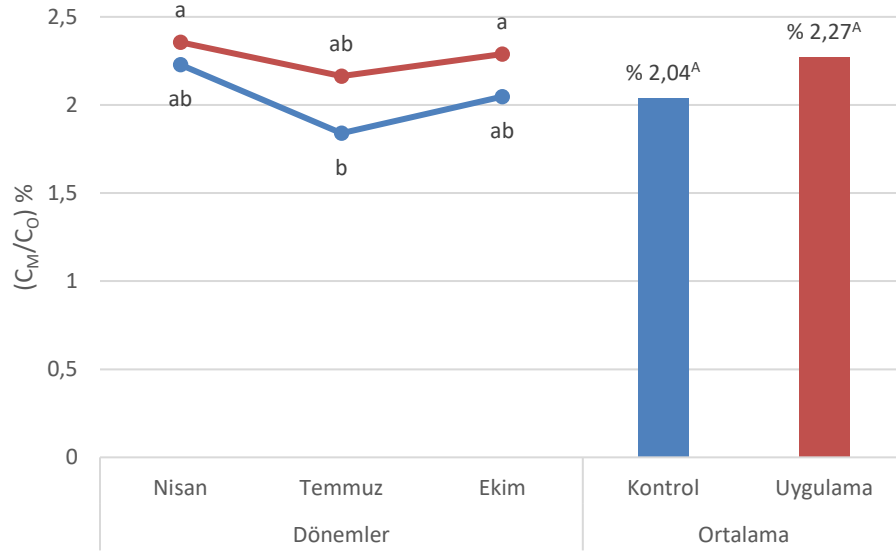
Tür	Alan	Belirtici değerler	Dönemler		
			Nisan	Temmuz	Ekim
			Toprak C _M /C _O yüzdesi (%)		
Kayın	Kontrol	Min.	1,22	1,18	1,32
		Maks.	3,77	2,39	2,83
		Ort.	2,23	1,84	2,05
		St.H.	0,22	0,10	0,12
	Uygulama	Min.	1,49	1,29	1,40
		Maks.	5,59	3,19	3,11
		Ort.	2,36	2,16	2,29
		St.H.	0,25	0,12	0,14
Ladin	Kontrol	Min.	1,00	0,33	1,39
		Maks.	2,95	1,89	2,47
		Ort.	1,82	0,86	1,80
		St.H.	0,16	0,10	0,09
	Uygulama	Min.	0,95	0,95	0,75
		Maks.	2,91	1,85	2,76
		Ort.	2,15	1,35	1,45
		St.H.	0,17	0,07	0,15



Şekil 55. Kontrol alanları için kayın ve ladin sahaları arasında toprakların C_M/C_O yüzdesinin değişimi (Harfler fark gruplarını gösterir, $p<0,005$).

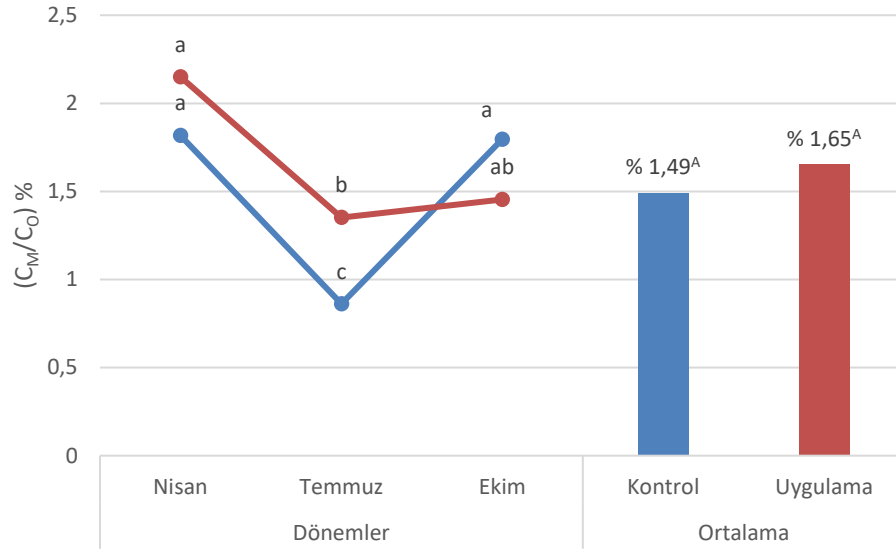
Kayın sahasında C_M/C_O yüzdesinin kontrol ve uygulama alanları arasındaki değişimini analiz etmek için yapılan t testi sonucunda Temmuz döneminde anlamlı farklılık ($P<0,05$) gösterdiği belirlenmiştir (Şekil 56). Ayrıca kayın sahasında kontrol ve

uygulama alanlarındaki toprakların C_M/C_O yüzdesi değerlerinin mevsimsel değişimi için yapılan varyans analizi sonucunda hem kontrol hem de uygulama alanları için dönemler arasında anlamlı farklılık bulunmamıştır.



Şekil 56. Kayın sahasında toprakta C_M/C_O yüzdesinin kontrol ve uygulama alanları arasında ve dönemsel değişimi.

Ladin sahasında C_M/C_O yüzdesinin kontrol ve uygulama alanları arasındaki değişimini analiz etmek için yapılan t testi sonucunda Temmuz döneminde anlamlı farklılık ($P<0,05$) gösterdiği belirlenmiştir (Şekil 57). Ladin sahasında kontrol ve uygulama alanlarındaki toprakların C_M/C_O yüzdesi değerlerinin mevsimsel değişimi için yapılan varyans analizi sonucunda hem kontrol hem de uygulama alanında dönemler arasında anlamlı farklılık bulunmuş ($P<0,05$) ve Tukey HSD testi sonucunda en düşük grup Temmuz dönemi olarak belirlenmiştir (Şekil 57).



Şekil 57. Ladin sahasında toprakta C_M/C_O yüzdesinin kontrol ve uygulama alanları arasında ve dönemsel değişimi (Harfler fark gruplarını gösterir, $p < 0,005$).

3.12 Toprakta C_M/N_M Oranına İlişkin Bulgular

Toprakların mikrobiyal karbonu (C_M) ile mikrobiyal azotunun (N_M) oranı (C_M/N_M) ortalaması en fazla ladin sahası kontrol alanında Ekim’de (14,62), en düşük kayın sahası kontrol alanında Nisan’da (5,28) bulunmuştur. Her iki kayın ve ladin sahaslarında C_M/N_M oranı değerlerinin belirlenen ortalama, maksimum, minimum ve standart hata değerleri Tablo 14’te verilmiştir.

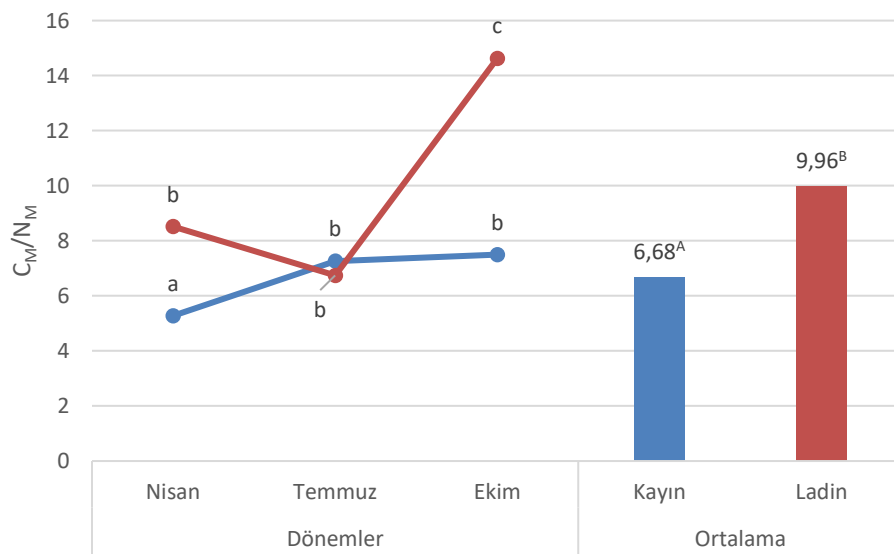
C_M/N_M oranının kayın ve ladin sahasları arasındaki değişimini analiz etmek için yapılan t testi sonucunda kayın ve ladin türleri arasında Nisan ve Ekim döneminde ve dönem ortalamalarında anlamlı farklılık ($P < 0,05$) olduğu bulunmuştur (Şekil 58).

Kayın sahasında C_M/N_M oranının kontrol ve uygulama alanları arasındaki değişimini analiz etmek için yapılan t testi sonucunda istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulunmamıştır. Kayın sahasında kontrol ve uygulama alanlarındaki toprakların C_M/N_M oranı değerlerinin mevsimsel değişimi için yapılan varyans analizi sonucunda hem kontrol hem de uygulama alanında dönemler arasında anlamlı farklılık bulunmuş ($P < 0,05$) ve Tukey HSD testi sonucunda en düşük grup Nisan en yüksek grup Ekim dönemi olarak belirlenmiştir (Şekil 59).

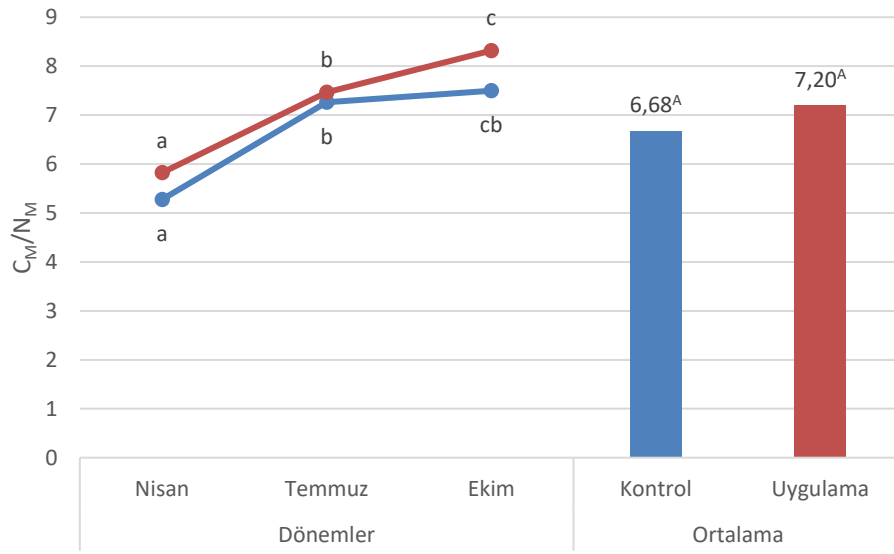
Ladin sahasında C_M/N_M oranının kontrol ve uygulama alanları arasındaki değişimini analiz etmek için yapılan t testi sonucunda Nisan ve Ekim döneminde anlamlı farklılık ($P<0,05$) gösterdiği belirlenmiştir (Şekil 60).

Tablo 14. Her iki türün sahalarında deneme alanlarındaki toprakların C_M/N_M yüzdesinin tanımlayıcı değerleri.

Tür	Alan	Belirtici değerler	Dönemler		
			Nisan	Temmuz	Ekim
			Toprak C_M/N_M oranı		
Kayın	Kontrol	Min.	2,93	4,35	4,44
		Maks.	9,20	12,62	11,75
		Ort.	5,28	7,27	7,50
		St.H.	0,51	0,67	0,52
	Uygulama	Min.	3,08	4,12	5,95
		Maks.	7,28	14,37	11,10
		Ort.	5,82	7,46	8,32
		St.H.	0,31	0,61	0,53
Ladin	Kontrol	Min.	3,61	2,51	9,46
		Maks.	11,84	17,36	21,93
		Ort.	8,52	6,74	14,62
		St.H.	0,60	0,92	1,03
	Uygulama	Min.	4,51	3,10	5,10
		Maks.	20,48	13,32	18,56
		Ort.	12,51	8,33	10,70
		St.H.	1,20	0,68	0,89

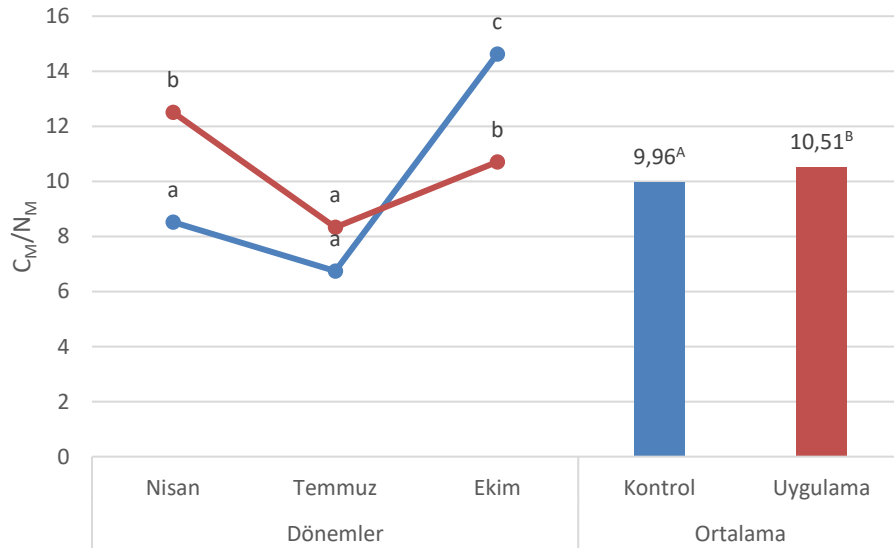


Şekil 58. Kontrol alanları için kayın ve ladin sahaları arasında toprakların C_M/N_M oranının değişimi (Harfler fark gruplarını gösterir, $p<0,005$).



Şekil 59. Kayın sahasında toprakta C_M/N_M oranının kontrol ve uygulama alanları arasında ve dönemsel değişimi (Harfler fark gruplarını gösterir, $p < 0.005$).

Ladin sahasında kontrol ve uygulama alanlarındaki toprakların C_M/C_O yüzdesi değerlerinin mevsimsel değişimi için yapılan varyans analizi sonucunda hem kontrol hem de uygulama alanında dönemler arasında anlamlı farklılık bulunmuş ($P < 0.05$) ve Tukey HSD testi sonucunda en düşük grup Temmuz dönemi, en yüksek grup ise kontrol için Ekim uygulama alanı için Nisan dönemi olarak belirlenmiştir (Şekil 60).



Şekil 60. Ladin sahasında toprakta C_M/N_M oranının kontrol ve uygulama alanları arasında ve dönemsel değişimi.

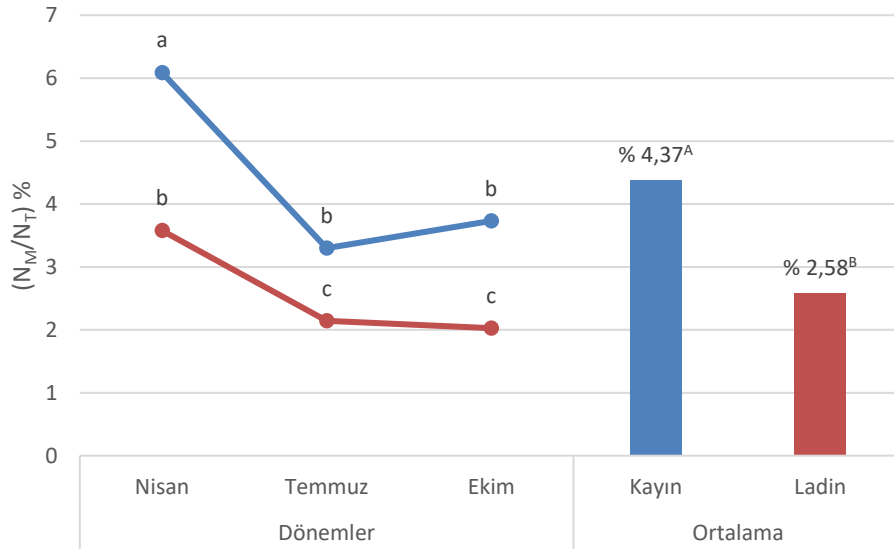
3.13 Toprakta N_M/N_T Yüzdesine İlişkin Bulgular

Toprakların mikrobiyal azotu (N_M) ile toplam azotunun (N_T) oranı yoluyla elde edilen verilere göre ortalama N_M/N_T yüzdesi en fazla kayın sahası kontrol alanında Nisan’da (% 6,09), en düşük ladin sahası kontrol alanında Ekim’de (% 2,03) bulunmuştur. Her iki kayın ve ladin sahalarında N_M/N_T yüzdesi değerlerinin belirlenen ortalama, maksimum, minimum ve standart sapma değerleri Tablo 15’te verilmiştir.

Tablo 15. Her iki türün sahalarında deneme alanlarındaki toprakların N_M/N_T yüzdesinin tanımlayıcı değerleri

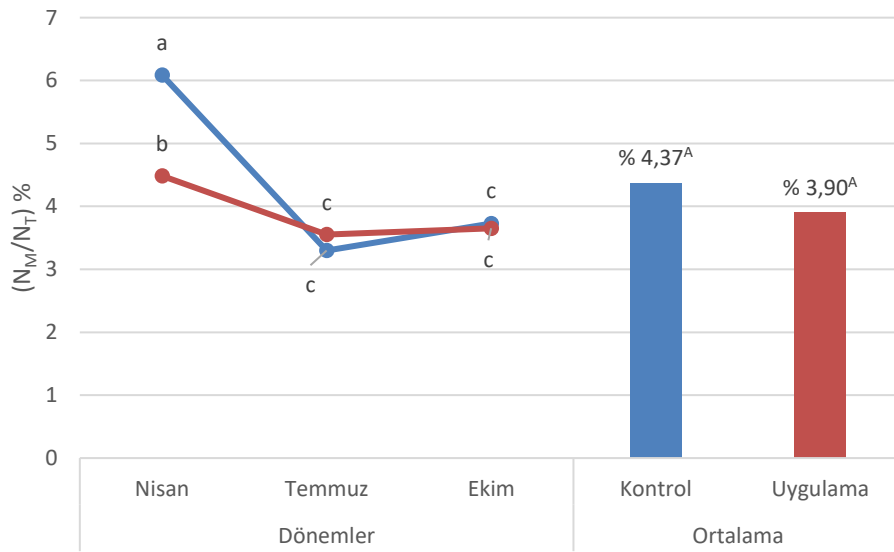
Tür	Alan	Belirtici değerler	Dönemler		
			Nisan	Temmuz	Ekim
Toprak N _M /N _T yüzdesi (%)					
Kayın	Kontrol	Min.	3,75	1,91	2,28
		Maks.	8,58	4,66	5,02
		Ort.	6,09	3,30	3,73
		St.H.	0,38	0,21	0,21
	Uygulama	Min.	2,32	1,43	2,04
		Maks.	6,65	6,22	5,42
		Ort.	4,48	3,55	3,65
		St.H.	0,29	0,29	0,25
Ladin	Kontrol	Min.	2,19	1,16	1,18
		Maks.	5,21	4,66	3,38
		Ort.	3,58	2,14	2,03
		St.H.	0,20	0,25	0,17
	Uygulama	Min.	2,02	2,04	1,26
		Maks.	5,21	14,27	4,88
		Ort.	3,41	4,02	2,49
		St.H.	0,24	0,78	0,26

N_M/N_T yüzdesinin kayın ve ladin sahaları arasındaki değişimini analiz etmek için yapılan t testi sonucunda kayın ve ladin türleri arasında her bir dönemde ve dönemler ortalamasında anlamlı farklılık ($P<0,05$) olduğu bulunmuştur (Şekil 61).



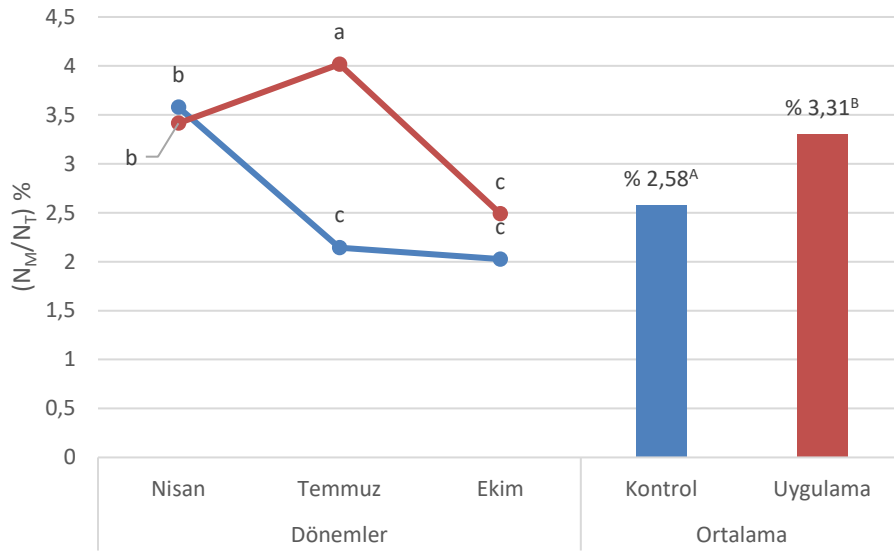
Şekil 61. Kontrol alanları için kayın ve ladin sahaları arasında toprakların N_M/N_T yüzdesinin değişimi

Kayın sahasında N_M/N_T yüzdesinin kontrol ve uygulama alanları arasındaki değişimini analiz etmek için yapılan t testi sonucunda Nisan döneminde anlamlı farklılık ($P<0,05$) gösterdiği belirlenmiştir (Şekil 62). Kayın sahasında kontrol ve uygulama alanlarındaki toprakların N_M/N_T yüzdesi değerlerinin mevsimsel değişimi için yapılan varyans analizi sonucunda hem kontrol hem de uygulama alanında dönemler arasında anlamlı farklılık bulunmuş ($P<0,05$) ve Tukey HSD testi sonucunda en yüksek grup Nisan dönemi olarak belirlenmiştir (Şekil 62).



Şekil 62. Kayın sahasında toprakta N_M/N_T yüzdesinin kontrol ve uygulama alanları arasında ve dönemsel değişimi (Harfler fark gruplarını gösterir, $p<0,005$).

Ladin sahasında N_M/N_T yüzdesinin kontrol ve uygulama alanları arasındaki değişimini analiz etmek için yapılan t testi sonucunda Temmuz döneminde ve dönemler ortalamasında anlamlı farklılık ($P<0,05$) gösterdiği belirlenmiştir (Şekil 63). Ladin sahasında kontrol ve uygulama alanlarındaki toprakların N_M/N_T yüzdesi değerlerinin mevsimsel değişimi için yapılan varyans analizi sonucunda sadece kontrol alanında dönemler arasında anlamlı farklılık bulunmuş ($P<0,05$) ve Tukey HSD testi sonucunda en yüksek grup uygulama için Temmuz, kontrol için Nisan dönemi olarak belirlenmiştir (Şekil 63).



Şekil 63. Ladin sahasında toprakta N_M/N_T yüzdesinin kontrol ve uygulama alanları arasında ve dönemsel değişimi (Harfler fark gruplarını gösterir, $p<0,005$).

3.14 Toprakta Mikrobiyal (Bazal) Solunuma İlişkin Bulgular

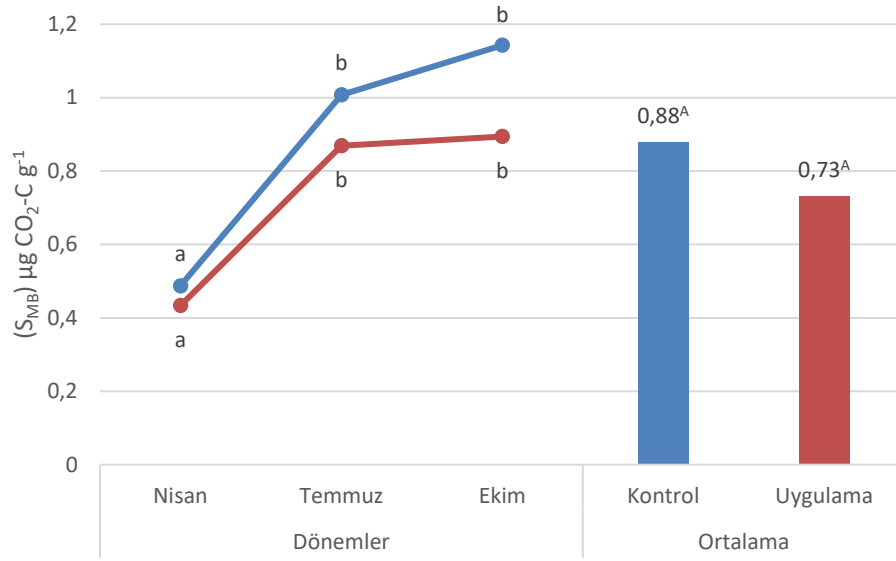
Toprakların mikrobiyal solunum (S_{MB}) analizinde elde edilen verilere göre ortalama S_{MB} miktarı en fazla kayın sahası kontrol alanında Ekim’de ($1,14 \mu\text{g CO}_2\text{-C g}^{-1}$), en düşük kayın sahası uygulama alanında Nisan’da ($0,43 \mu\text{g CO}_2\text{-C g}^{-1}$) bulunmuştur. Her iki kayın ve ladin sahalarında S_{MB} miktarı değerlerinin belirlenen ortalama, maksimum, minimum ve standart hata değerleri Tablo 16’da verilmiştir.

S_{MB} miktarının kayın ve ladin sahaları arasındaki farklılıklarını analiz etmek için yapılan t testi sonucunda her üç dönemde ve dönemlerin ortalamasında kontrol alanları için istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulunmamıştır.

Tablo 16. Her iki türün sahalarda deneme alanlarındaki toprakların mikrobiyal (bazal) solunum miktarının tanımlayıcı değerleri

Tür	Alan	Belirtici değerler	Dönemler		
			Nisan	Temmuz	Ekim
			Toprak mikrobiyal solunumu (µg CO ₂ -C g ⁻¹)		
Kayın	Kontrol	Min.	0,02	0,50	0,63
		Maks.	0,93	2,26	2,64
		Ort.	0,49	1,01	1,14
		St.H.	0,06	0,11	0,13
	Uygulama	Min.	0,04	0,42	0,63
		Maks.	0,80	1,22	1,12
		Ort.	0,43	0,87	0,89
		St.H.	0,05	0,06	0,04
Ladin	Kontrol	Min.	0,22	0,32	0,27
		Maks.	1,12	2,52	2,43
		Ort.	0,58	0,85	0,83
		St.H.	0,06	0,14	0,13
	Uygulama	Min.	0,17	0,34	0,40
		Maks.	1,03	1,02	1,74
		Ort.	0,53	0,63	0,74
		St.H.	0,07	0,05	0,09

Kayın sahasında S_{MB} miktarının kontrol ve uygulama alanları arasındaki değişimini analiz etmek için yapılan t testi sonucunda anlamlı farklılık göstermediği belirlenmiştir. Kayın sahasında kontrol ve uygulama alanlarındaki toprakların S_{MB} miktarı değerlerinin mevsimsel değişimi için yapılan varyans analizi sonucunda hem kontrol hem de uygulama alanında dönemler arasında anlamlı farklılık bulunmuş ($P<0,05$) ve Tukey HSD testi sonucunda en düşük grup Nisan dönemi olarak belirlenmiştir (Şekil 64).



Şekil 64. Kayın sahasında toprakta mikrobiyal (bazal) solunum (S_{MB}) miktarının kontrol ve uygulama alanları arasında ve dönemsel değişimi (Harfler fark gruplarını gösterir, $p < 0,005$).

Ladin sahasında S_{MB} miktarının kontrol ve uygulama alanları arasındaki değişimini analiz etmek için yapılan t testi sonucunda anlamlı farklılık göstermediği belirlenmiştir. Ayrıca ladin sahasında kontrol ve uygulama alanlarındaki toprakların S_{MB} miktarı değerlerinin mevsimsel değişimi için yapılan varyans analizi sonucunda hem kontrol hem de uygulama alanları için dönemler arasında anlamlı farklılık bulunmamıştır.

3.15 Toprakta Metabolik Katsayıya (qCO_2) İlişkin Bulgular

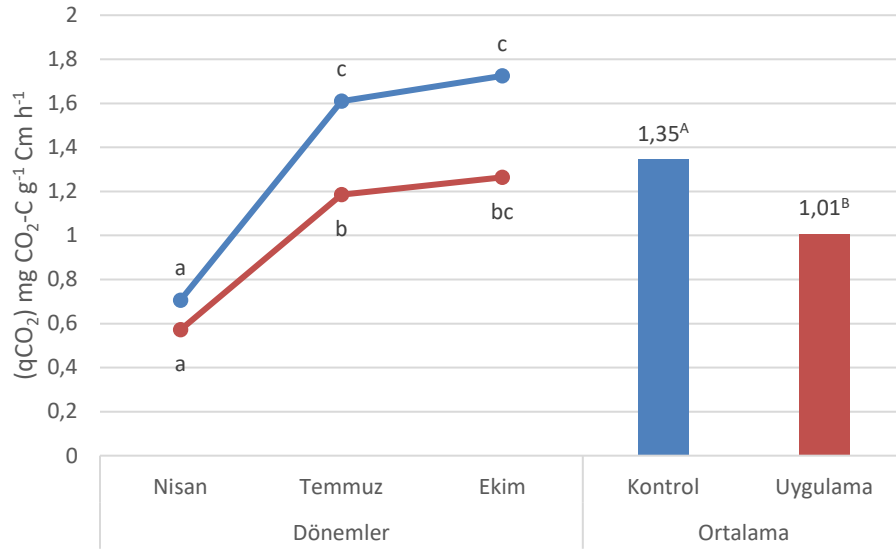
Toprakların mikrobiyal karbonu (C_M) ile mikrobiyal (bazal) solunumunun (S_{MB}) oranı yoluyla elde edilen metabolik katsayı (qCO_2) ortalaması en fazla ladin sahası Kontrol alanında Temmuz'da ($3,74 \text{ mg CO}_2\text{-C g}^{-1} \text{ Cm h}^{-1}$), en düşük kayın sahası uygulama alanında Nisan'da ($0,57 \text{ mg CO}_2\text{-C g}^{-1} \text{ Cm h}^{-1}$) bulunmuştur. Her iki kayın ve ladin sahalarında qCO_2 değerlerinin belirlenen ortalama, maksimum, minimum ve standart hata değerleri Tablo 17'de verilmiştir.

qCO_2 değerlerinin kayın ve ladin sahaları arasındaki farklılıklarını analiz etmek için yapılan t testi sonucunda her üç dönemde ve dönemlerin ortalamasında kontrol alanları için istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulunmamıştır.

Tablo 17. Her iki türün sahalalarında deneme alanlarındaki toprakların belirlenen metabolik katsayı miktarının tanımlayıcı değerleri

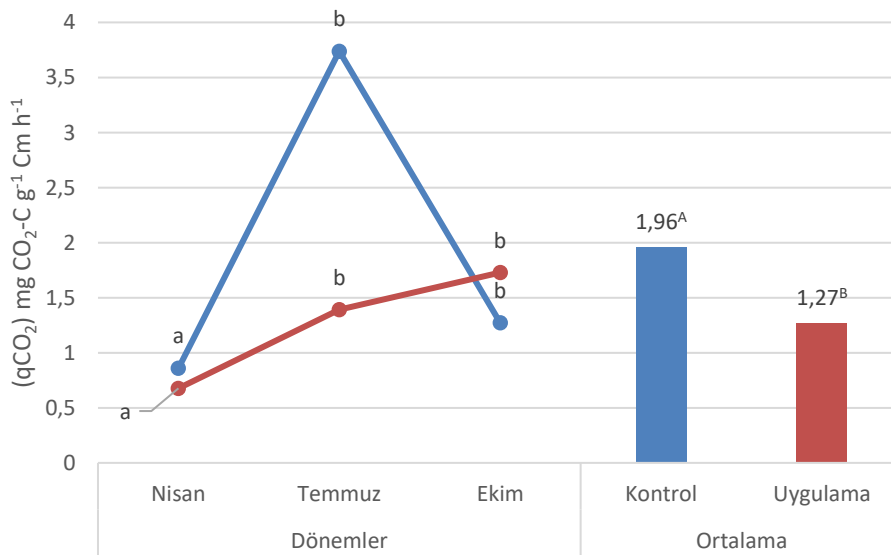
Tür	Alan	Belirtici değerler	Dönemler		
			Nisan	Temmuz	Ekim
			Toprakta metabolik katsayı (mg CO ₂ -C g ⁻¹ Cm h ⁻¹)		
Kayın	Kontrol	Min.	0,06	0,84	0,99
		Maks.	1,62	2,67	4,75
		Ort.	0,71	1,61	1,72
		St.H.	0,43	0,59	0,94
	Uygulama	Min.	0,04	0,79	0,60
		Maks.	1,05	2,59	2,01
		Ort.	0,57	1,19	1,26
		St.H.	0,31	0,44	0,43
Ladin	Kontrol	Min.	0,46	0,86	0,45
		Maks.	1,93	20,42	3,64
		Ort.	0,86	3,74	1,27
		St.H.	0,39	4,73	0,74
	Uygulama	Min.	0,19	0,62	0,69
		Maks.	1,22	2,28	4,21
		Ort.	0,68	1,39	1,73
		St.H.	0,29	0,50	1,11

Kayın sahasında qCO₂ değerinin kontrol ve uygulama alanları arasındaki değişimini analiz etmek için yapılan t testi sonucunda Temmuz döneminde ve dönemler ortalamasında anlamlı farklılık (P<0,05) gösterdiği belirlenmiştir (Şekil 65). Kayın sahasında kontrol ve uygulama alanlarındaki toprakların qCO₂ değerlerinin mevsimsel değişimi için yapılan varyans analizi sonucunda hem kontrol hem de uygulama alanında dönemler arasında anlamlı farklılık bulunmuş (P<0,05) ve Tukey HSD testi sonucunda en düşük grup Nisan dönemi olarak belirlenmiştir (Şekil 65).



Şekil 65. Kayın sahasında toprakta metabolik katsayı (qCO₂) değerinin kontrol ve uygulama alanları arasında ve dönemsel değişimi (Harfler fark gruplarını gösterir, p<0,005).

Ladin sahasında qCO₂ değerinin kontrol ve uygulama alanları arasındaki değişimini analiz etmek için yapılan t testi sonucunda anlamlı farklılık göstermediği belirlenmiştir. Ladin sahasında kontrol ve uygulama alanlarındaki toprakların qCO₂ değerlerinin mevsimsel değişimi için yapılan varyans analizi sonucunda hem kontrol hem de uygulama alanında dönemler arasında anlamlı farklılık bulunmuş (P<0,05) ve Tukey HSD testi sonucunda en düşük grup Nisan dönemi olarak belirlenmiştir (Şekil 66).



Şekil 66. Ladin sahasında toprakta metabolik katsayı (qCO₂) değerinin kontrol ve uygulama alanları arasında ve dönemsel değişimi (Harfler fark gruplarını gösterir, p<0,005).

3.16 Toprak Sıcaklığına İlişkin Bulgular

3.16.1 2018 Yılına İlişkin Bulgular

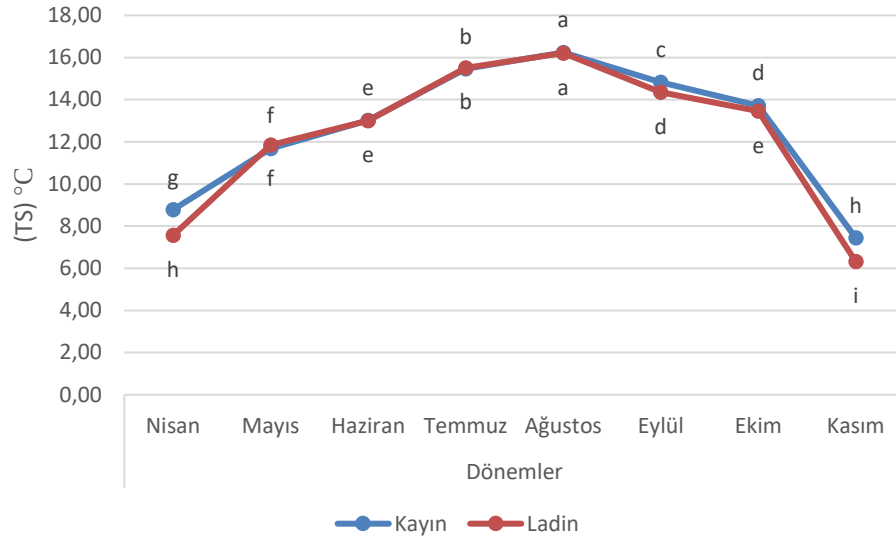
Toprakların sıcaklık (TS) ölçümünde elde edilen verilere göre ortalama TS en fazla kayın sahası kontrol alanında Ağustos'ta (16,24°C), en düşük ladin sahası uygulama alanında Kasım'da (5,56°C) bulunmuştur. Her iki kayın ve ladin sahalarında TS değerlerinin belirlenen ortalama, maksimum, minimum ve standart hata değerleri Tablo 18'de verilmiştir.

Tablo 18. Her iki türün sahalarında deneme alanlarındaki toprakların sıcaklığının tanımlayıcı değerleri

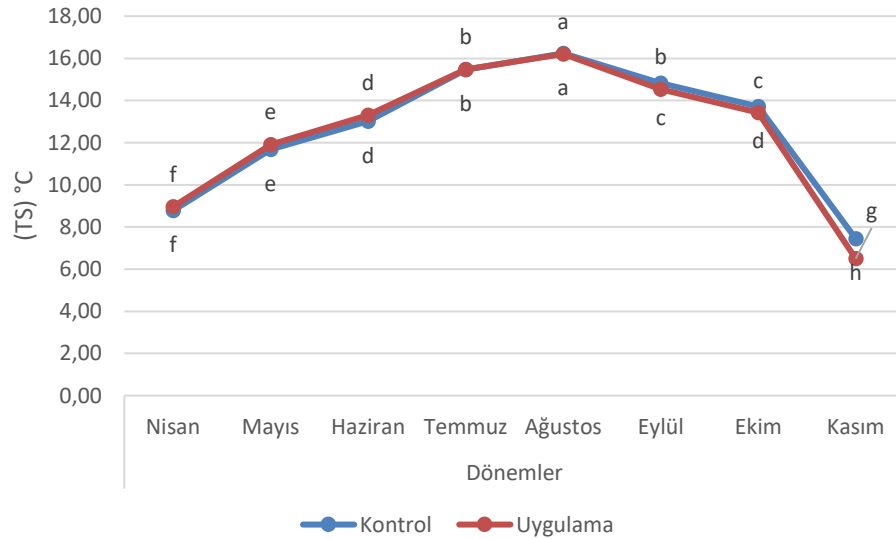
Tür	Alan	Belirtici değerler	Dönemler							
			Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım
Toprak sıcaklığı (°C)										
Kayın	Kontrol	Min.	7,89	11,00	12,26	14,87	15,64	14,32	13,25	6,79
		Maks.	9,85	12,53	13,94	16,22	17,23	15,59	14,26	8,01
		Ort.	8,78	11,68	13,01	15,45	16,24	14,82	13,72	7,45
		St.H.	0,18	0,12	0,13	0,11	0,11	0,10	0,07	0,11
	Uygulama	Min.	8,11	11,30	12,76	15,12	15,78	14,34	13,29	5,83
		Maks.	9,96	12,80	14,60	16,33	16,84	14,77	13,56	7,08
		Ort.	8,97	11,91	13,31	15,47	16,21	14,54	13,43	6,50
		St.H.	0,17	0,12	0,16	0,11	0,08	0,04	0,02	0,08
Ladin	Kontrol	Min.	7,09	10,79	12,12	14,25	14,78	13,76	12,70	5,64
		Maks.	8,14	12,50	13,50	16,06	17,34	14,86	14,17	7,71
		Ort.	7,57	11,85	13,01	15,51	16,21	14,36	13,46	6,32
		St.H.	0,07	0,10	0,09	0,13	0,15	0,09	0,10	0,14
	Uygulama	Min.	7,35	11,54	12,56	15,01	15,61	13,64	12,47	4,50
		Maks.	7,66	12,09	13,46	15,64	16,40	14,48	13,01	6,11
		Ort.	7,46	11,74	12,95	15,38	16,02	13,95	12,76	5,56
		St.H.	0,02	0,04	0,05	0,05	0,07	0,06	0,05	0,10

TS'nın kayın ve ladin sahaları arasındaki değişimini analiz etmek için yapılan t testi sonucunda kayın ve ladin türleri arasında Nisan, Eylül, Ekim ve Kasım dönemlerinde anlamlı farklılık ($P<0,05$) olduğu bulunmuştur (Şekil 67). Kayın sahasında TS değerlerinin kontrol ve uygulama alanları arasındaki değişimini analiz etmek için yapılan t testi sonucunda Eylül, Ekim ve Kasım dönemlerinde anlamlı farklılık ($P<0,05$) gösterdiği belirlenmiştir (Şekil 68).

Kayın sahasında kontrol ve uygulama alanlarındaki toprakların TS değerlerinin mevsimsel değişimi için yapılan varyans analizi sonucunda hem kontrol hem de uygulama alanında dönemler arasında anlamlı farklılık bulunmuş ($P<0,05$) ve Tukey HSD testi sonucunda en yüksek grup Ağustos değerleri ve en düşük grup Kasım dönemi değerleri olarak belirlenmiştir (Şekil 68).



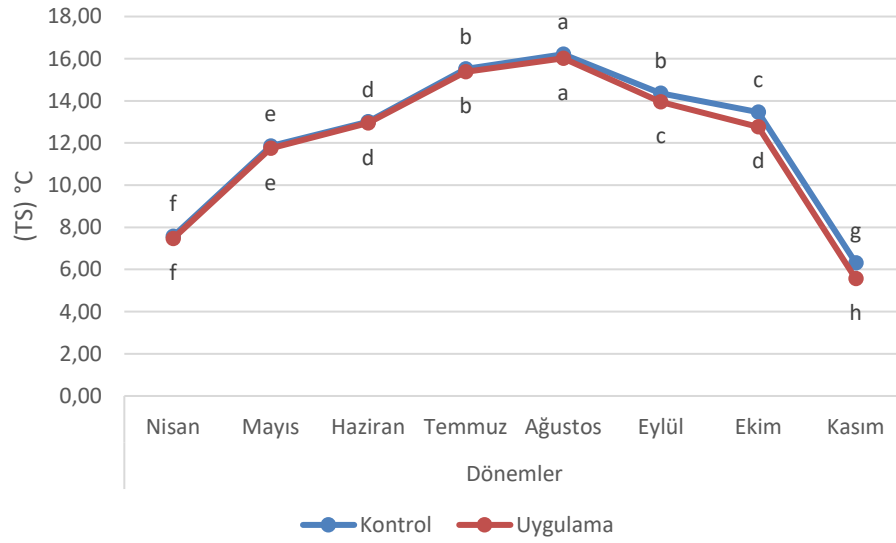
Şekil 67. Kontrol alanları için kayın ve ladin sahaları arasında toprakların sıcaklığının (TS) değişimi (Harfler fark gruplarını gösterir, $p<0,005$).



Şekil 68. Kayın sahasında toprakların sıcaklığının (TS) kontrol ve uygulama alanları arasında ve dönemsel değişimi (Harfler fark gruplarını gösterir, $p<0,005$).

Ladin sahasında TS değerlerinin kontrol ve uygulama alanları arasındaki değişimini analiz etmek için yapılan t testi sonucunda Eylül, Ekim ve Kasım dönemlerinde

anlamlı farklılık ($P<0,05$) gösterdiği belirlenmiştir (Şekil 69). Ladin sahasında kontrol ve uygulama alanlarındaki toprakların TS değerlerinin mevsimsel değişimi için yapılan varyans analizi sonucunda hem kontrol hem de uygulama alanında dönemler arasında anlamlı farklılık bulunmuş ($P<0,05$) ve Tukey HSD testi sonucunda en yüksek grup Ağustos değerleri ve en düşük grup Kasım dönemi değerleri olarak belirlenmiştir (Şekil 69).



Şekil 69. Ladin sahasında toprakların sıcaklığının (TS) kontrol ve uygulama alanları arasında ve dönemsel değişimi (Harfler fark gruplarını gösterir, $p<0,005$).

3.16.2 2019 Yılına İlişkin Bulgular

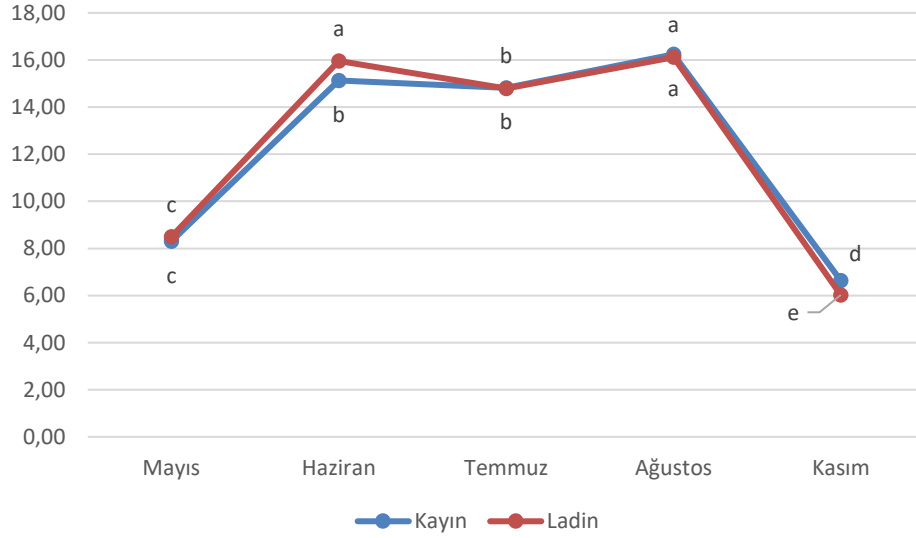
Toprakların sıcaklıklarının (TS) 2019 yılı ölçümünde elde edilen verilere göre ortalama TS en fazla kayın sahası kontrol alanında Ağustos'ta (16,24°C), en düşük ladin sahası uygulama alanında Kasım'da (4,99°C) bulunmuştur. Her iki kayın ve ladin sahalarında TS değerlerinin belirlenen ortalama, maksimum, minimum ve standart hata değerleri Tablo 19'da verilmiştir.

Tablo 19. Her iki türün sahalarında 2019 yılı için deneme alanlarındaki toprakların sıcaklığının tanımlayıcı değerleri

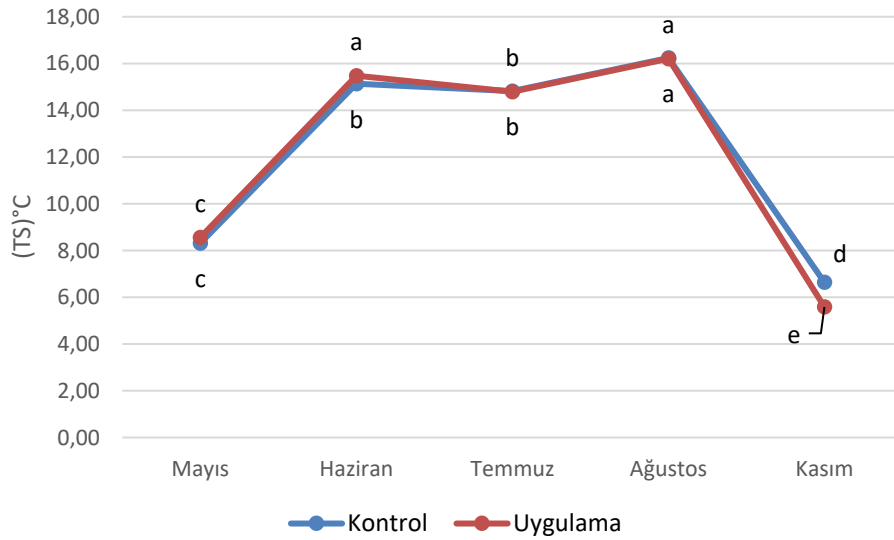
Tür	Alan	Belirtici değerler	Dönemler (2019)				
			Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Kasım
Toprak sıcaklığı (°C)							
Kayın	Kontrol	Min.	7,57	15,05	14,06	15,64	6,00
		Maks.	9,49	15,30	15,62	17,23	7,00
		Ort.	8,31	15,13	14,82	16,24	6,64
		St.H.	0,15	0,03	0,11	0,11	0,09
	Uygulama	Min.	7,74	15,36	14,45	15,78	4,30
		Maks.	9,71	15,78	15,61	16,84	6,50
		Ort.	8,57	15,48	14,79	16,21	5,59
		St.H.	0,18	0,05	0,10	0,08	0,19
Ladin	Kontrol	Min.	7,69	14,27	13,64	15,55	5,40
		Maks.	9,13	16,82	15,31	16,62	7,00
		Ort.	8,50	15,96	14,79	16,12	6,03
		St.H.	0,12	0,16	0,11	0,09	0,09
	Uygulama	Min.	8,04	15,31	14,20	15,57	4,50
		Maks.	9,05	16,71	14,88	16,29	5,50
		Ort.	8,54	16,09	14,67	16,00	4,99
		St.H.	0,08	0,10	0,06	0,06	0,08

TS'nin kayın ve ladin sahaları arasındaki değişimini analiz etmek için yapılan t testi sonucunda kayın ve ladin türleri arasında Haziran ve Kasım dönemlerinde anlamlı farklılık ($P<0,05$) olduğu bulunmuştur (Şekil 70). Kayın sahasında TS değerlerinin kontrol ve uygulama alanları arasındaki değişimini analiz etmek için yapılan t testi sonucunda Haziran ve Kasım dönemlerinde anlamlı farklılık ($P<0,05$) gösterdiği belirlenmiştir (Şekil 71). Kayın sahasında kontrol ve uygulama alanlarındaki toprakların TS değerlerinin mevsimsel değişimi için yapılan varyans analizi sonucunda hem kontrol hem de uygulama alanında dönemler arasında anlamlı farklılık

bulunmuş ($P<0,05$) ve Tukey HSD testi sonucunda en yüksek grup Ağustos değerleri ve en düşük grup Kasım dönemi değerleri olarak belirlenmiştir (Şekil 71).



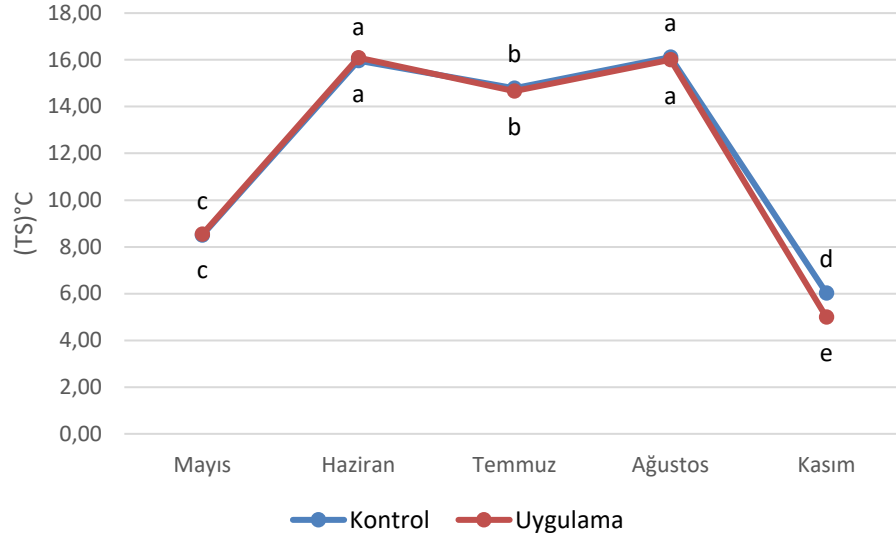
Şekil 70. Kontrol alanları için 2019 yılında kayın ve ladin sahaları arasında toprakların sıcaklığının (TS) değişimi (Harfler fark gruplarını gösterir, $p<0,005$).



Şekil 71. Kayın sahasında 2019 yılı için toprakların sıcaklığının (TS) kontrol ve uygulama alanları arasında ve dönemsel değişimi (Harfler fark gruplarını gösterir, $p<0,005$).

Ladin sahasında TS değerlerinin kontrol ve uygulama alanları arasındaki değişimini analiz etmek için yapılan t testi sonucunda sadece Kasım döneminde anlamlı farklılık ($P<0,05$) gösterdiği belirlenmiştir (Şekil 72). Ladin sahasında kontrol ve uygulama

alanlarındaki toprakların TS değerlerinin mevsimsel değişimi için yapılan varyans analizi sonucunda hem kontrol hem de uygulama alanında dönemler arasında anlamlı farklılık bulunmuş ($P<0,05$) ve Tukey HSD testi sonucunda en yüksek grup Ağustos değerleri ve en düşük grup Kasım dönemi değerleri olarak belirlenmiştir (Şekil 72).



Şekil 72. Ladin sahasında 2019 yılı için toprakların sıcaklığının (TS) kontrol ve uygulama alanları arasında ve dönemsel değişimi (Harfler fark gruplarını gösterir, $p<0,005$).

3.17 Toprak Nemine İlişkin Bulgular

3.17.1 2018 Yılına İlişkin Bulgular

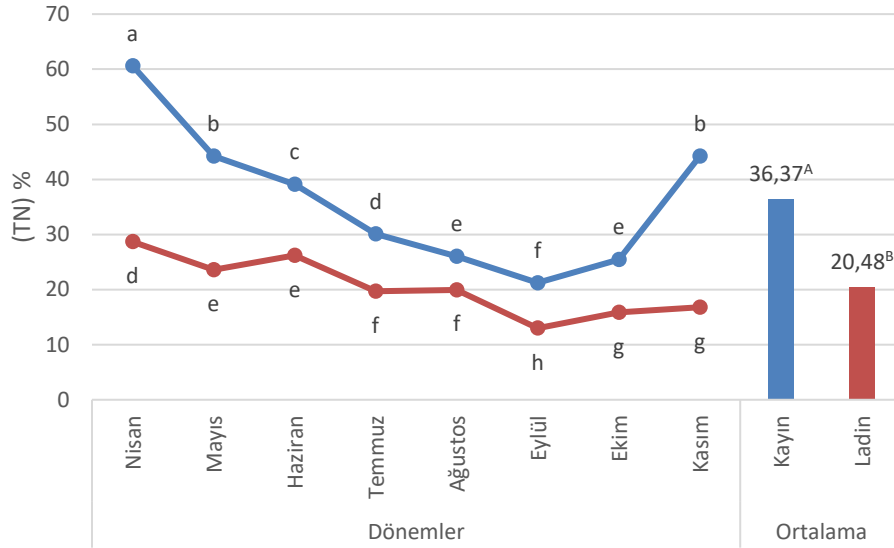
Toprakların nem (TN) tayininde elde edilen verilere göre ortalama TN en fazla kayın sahası uygulama alanında Nisan’da (% 79,32), en düşük ladin sahası kontrol alanında Eylül’de (% 12,99) bulunmuştur. Her iki kayın ve ladin sahalarında TN değerlerinin belirlenen ortalama, maksimum, minimum ve standart hata değerleri Tablo 20’de verilmiştir.

Tablo 20. Her iki türün sahalarında deneme alanlarındaki toprakların nem içeriğinin tanımlayıcı değerleri.

Tür	Alan	Belirtici değerler	Dönemler							
			Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım
Toprak nem (%)										
Kayın	Kontrol	Min.	32,75	21,71	24,88	19,27	17,24	12,26	16,61	29,17
		Maks.	95,43	64,48	63,07	40,37	41,31	31,30	36,46	66,89
		Ort.	60,63	44,20	39,11	30,08	26,06	21,24	25,45	44,23
		St.H.	5,10	3,37	2,97	1,96	2,07	1,64	1,65	3,08
	Uygulama	Min.	39,36	38,55	21,27	35,21	33,66	31,07	34,36	34,81
		Maks.	167,89	137,10	149,37	150,33	157,28	84,01	61,25	101,13
		Ort.	79,32	63,87	62,31	63,47	65,12	46,61	45,04	56,64
		St.H.	10,93	7,39	9,16	8,15	8,75	3,86	2,05	5,17
Ladin	Kontrol	Min.	17,60	17,32	17,94	9,65	11,15	4,48	11,31	10,42
		Maks.	38,41	43,03	36,52	34,36	30,75	20,40	23,37	25,62
		Ort.	28,69	23,60	26,20	19,73	19,94	12,99	15,87	16,79
		St.H.	1,65	1,70	1,58	1,51	1,60	1,21	0,94	1,04
	Uygulama	Min.	24,13	21,76	25,69	25,86	22,18	16,04	20,94	26,97
		Maks.	48,20	57,23	90,58	49,29	50,12	40,66	37,21	39,00
		Ort.	35,66	34,81	39,76	37,33	35,30	25,28	29,80	34,06
		St.H.	1,35	2,33	4,03	1,84	1,92	1,73	1,44	1,02

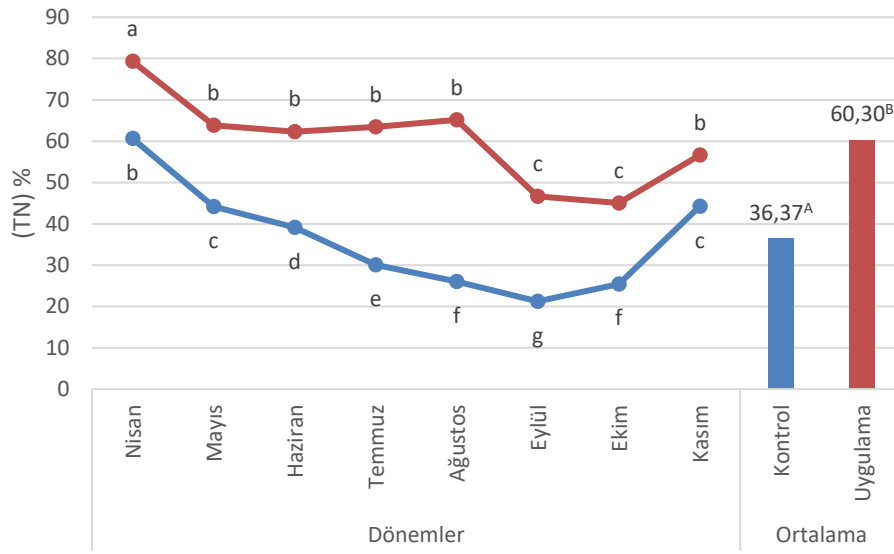
TN içeriğinin kayın ve ladin sahaları arasındaki değişimini analiz etmek için yapılan t testi sonucunda kayın ve ladin türleri arasında tüm dönemlerde anlamlı farklılık ($P<0,05$) olduğu bulunmuştur (Şekil 73). Kayın sahasında TN içeriği değerlerinin kontrol ve uygulama alanları arasındaki değişimini analiz etmek için yapılan t testi sonucunda Nisan hariç tüm dönemlerde anlamlı farklılık ($P<0,05$) gösterdiği belirlenmiştir (Şekil 74). Kayın sahasında kontrol ve uygulama alanlarındaki toprakların TN içeriği değerlerinin mevsimsel değişimi için yapılan varyans analizi

sonucunda hem kontrol hem de uygulama alanında dönemler arasında anlamlı farklılık bulunmuş ($P<0,05$) ve Tukey HSD testi sonucunda en yüksek grup Nisan değerleri ve en düşük grup Eylül dönemi değerleri olarak belirlenmiştir (Şekil 74).



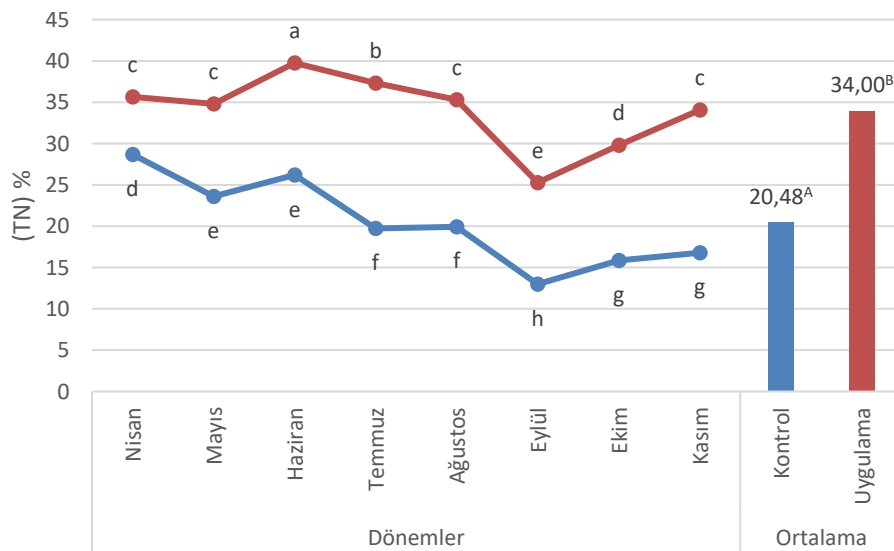
Şekil 73. Kontrol alanları için kayın ve ladin sahaları arasında toprakların nem içeriğinin (TN) değişimi.

Ladin sahasında TN içeriği değerlerinin kontrol ve uygulama alanları arasındaki değişimini analiz etmek için yapılan t testi sonucunda tüm dönemlerde anlamlı farklılık ($P<0,05$) gösterdiği belirlenmiştir (Şekil 75).



Şekil 74. Kayın sahasında toprak neminin (TN) kontrol ve uygulama alanları arasında ve dönemsel değişimi (Harfler fark gruplarını gösterir, $p < 0,005$).

Ladin sahasında kontrol ve uygulama alanlarındaki toprakların TN içeriği değerlerinin mevsimsel değişimi için yapılan varyans analizi sonucunda hem kontrol hem de uygulama alanında dönemler arasında anlamlı farklılık bulunmuş ($P < 0,05$) ve Tukey HSD testi sonucunda en yüksek grup kontrol alanında Nisan, uygulama alanında Haziran değerleri ve en düşük grup Eylül dönemi değerleri olarak belirlenmiştir (Şekil 75).



Şekil 75. Ladin sahasında toprak neminin (TN) kontrol ve uygulama alanları arasında ve dönemsel değişimi (Harfler fark gruplarını gösterir, $p < 0,005$).

3.17.2 2019 Yılına İlişkin Bulgular

Toprakların 2019 yılındaki nem (TN) tayininde elde edilen verilere göre ortalama TN en fazla kayın sahası uygulama alanında Mayıs'ta (% 65,58), en düşük ladin sahası kontrol alanında Kasım'da (% 15,13) bulunmuştur. Her iki kayın ve ladin sahaslarında TN değerlerinin belirlenen ortalama, maksimum, minimum ve standart hata değerleri Tablo 21'de verilmiştir.

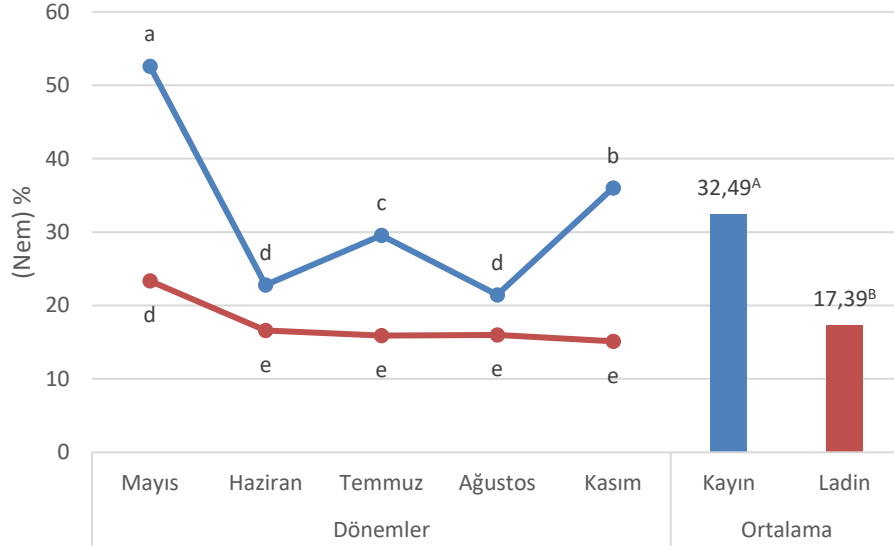
Tablo 21. Her iki türün sahaslarında 2019 yılı için deneme alanlarındaki toprakların nem içeriğinin tanımlayıcı değerleri

Tür	Alan	Belirtici değerler	Dönemler				
			Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Kasım
Toprak sıcaklığı (°C)							
Kayın	Kontrol	Min.	30,18	14,64	16,34	13,45	18,52
		Maks.	78,83	29,69	48,19	34,16	50,52
		Ort.	52,60	22,81	29,55	21,46	36,01
		St.H.	4,11	1,29	2,45	1,61	2,59
	Uygulama	Min.	37,11	35,47	32,19	24,11	33,63
		Maks.	197,34	63,54	75,15	80,12	114,43
		Ort.	65,58	46,61	49,65	49,28	55,49
		St.H.	10,66	2,27	2,78	4,01	6,47
Ladin	Kontrol	Min.	14,99	10,77	12,38	10,33	10,56
		Maks.	33,82	23,61	22,42	31,96	20,02
		Ort.	23,35	16,59	15,89	16,01	15,13
		St.H.	1,31	0,94	0,76	1,43	0,81
	Uygulama	Min.	25,47	22,18	22,61	21,92	13,38
		Maks.	45,65	39,62	40,85	42,11	40,89
		Ort.	33,68	29,43	29,48	30,96	27,33
		St.H.	1,52	1,30	1,55	1,55	1,98

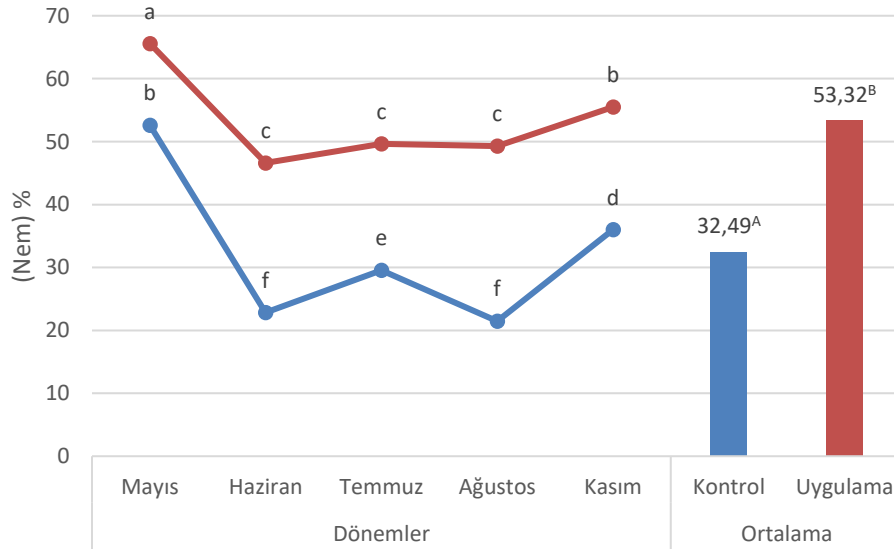
TN içeriğinin 2019 yılında kayın ve ladin sahasları arasındaki değişimini analiz etmek için yapılan t testi sonucunda kayın ve ladin türleri arasında tüm dönemlerde anlamlı farklılık ($P<0,05$) olduğu bulunmuştur (Şekil 76).

Kayın sahasında 2019 yılı TN içeriği değerlerinin kontrol ve uygulama alanları arasındaki değişimini analiz etmek için yapılan t testi sonucunda Mayıs hariç tüm dönemlerde anlamlı farklılık ($P<0,05$) gösterdiği belirlenmiştir (Şekil 77). Kayın sahasında kontrol ve uygulama alanlarındaki toprakların TN içeriği değerlerinin mevsimsel değişimi için yapılan varyans analizi sonucunda sadece kontrol alanında

dönemler arasında anlamlı farklılık bulunmuş ($P<0,05$) ve Tukey HSD testi sonucunda en yüksek grup Mayıs değerleri ve en düşük grup Ağustos dönemi değerleri olarak belirlenmiştir (Şekil 77).



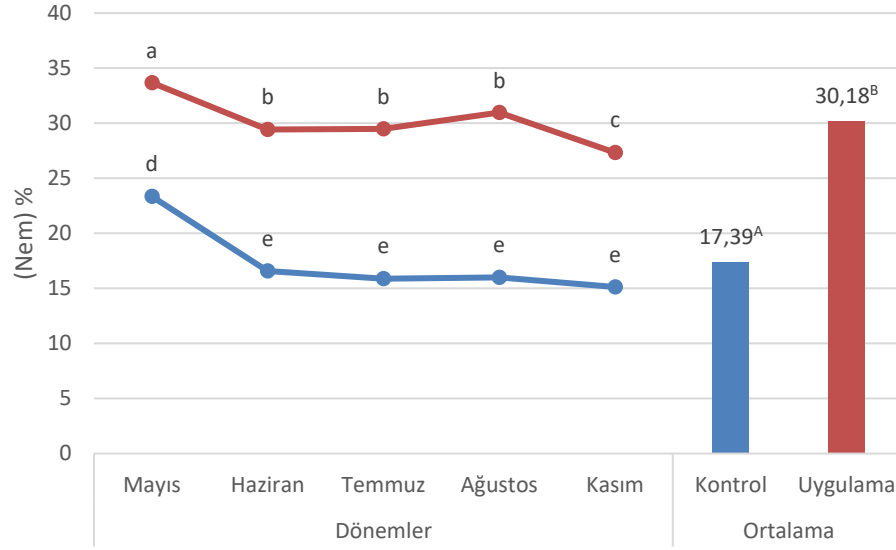
Şekil 76. Kontrol alanları için 2019 yılında kayın ve ladin sahaları arasında toprakların nem içeriğinin (TN) değişimi (Harfler fark gruplarını gösterir, $p<0,005$).



Şekil 77. Kayın sahasında toprak neminin (TN) 2019 yılı için kontrol ve uygulama alanları arasında ve dönemsel değişimi (Harfler fark gruplarını gösterir, $p<0,005$).

Ladin sahasında TN değerlerinin kontrol ve uygulama alanları arasındaki değişimini analiz etmek için yapılan t testi sonucunda bütün dönemlerde anlamlı farklılık ($P<0,05$) gösterdiği belirlenmiştir (Şekil 78). Ladin sahasında kontrol ve uygulama

alanlarındaki toprakların TN değerlerinin mevsimsel değişimi için yapılan varyans analizi sonucunda sadece kontrol alanında dönemler arasında anlamlı farklılık bulunmuş ($P<0,05$) ve Tukey HSD testi sonucunda en yüksek grup Mayıs değerleri ve en düşük grup diğer ayların değerleri olarak belirlenmiştir (Şekil 78).



Şekil 78. Ladin sahasında toprak neminin (TN) 2019 yılı için kontrol ve uygulama alanları arasında ve dönemsel değişimi (Harfler fark gruplarını gösterir, $p<0,005$).

3.19 Toprak CO₂ Salınımına İlişkin Bulgular

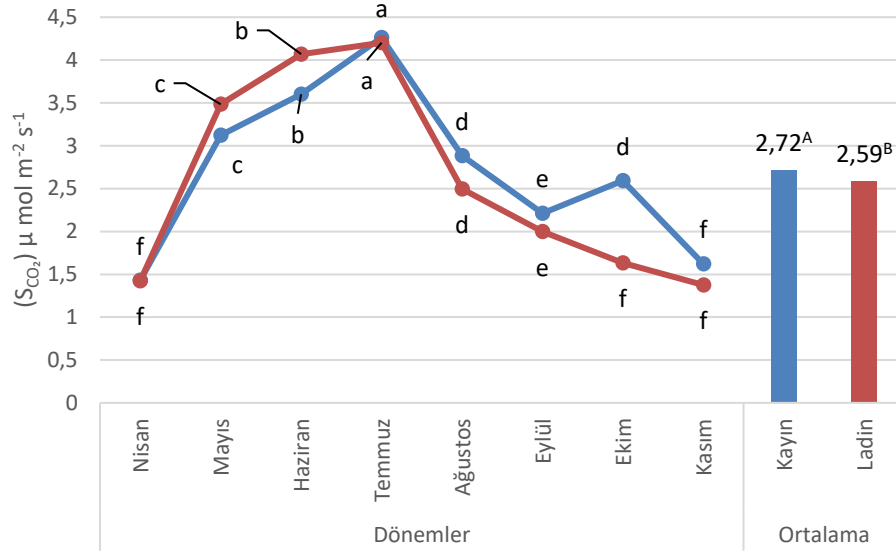
3.19.1 2018 Yılına İlişkin Bulgular

Toprakların CO₂ salınımı (S_{CO₂}) ölçümünde elde edilen verilere göre ortalama S_{CO₂} en fazla kayın sahası kontrol alanında Temmuz’da (4,26 μ mol m⁻² s⁻¹), en düşük kayın sahası uygulama alanında Kasım’da (1,00 μ mol m⁻² s⁻¹) bulunmuştur. Her iki kayın ve ladin sahalarında S_{CO₂} değerlerinin belirlenen ortalama, maksimum, minimum ve standart hata değerleri Tablo 22’de verilmiştir.

Tablo 22. Her iki türün sahalarında deneme alanlarındaki toprakların CO₂ salınımının tanımlayıcı değerleri.

Tür	Alan	Belirtici değerler	Dönemler							
			Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım
			Toprak CO ₂ salınımı (µ mol m ⁻² s ⁻¹)							
Kayın	Kontrol	Min.	0,41	1,47	1,90	2,09	1,94	1,32	1,56	0,86
		Maks.	2,20	5,16	7,56	7,37	4,53	3,36	3,31	2,40
		Ort.	1,43	3,12	3,60	4,26	2,89	2,21	2,59	1,62
		St.H.	0,12	0,22	0,34	0,35	0,20	0,16	0,13	0,12
	Uygulama	Min.	0,39	1,49	1,49	1,66	1,44	1,04	0,95	0,64
		Maks.	1,78	2,86	2,87	4,72	4,32	2,82	2,13	1,45
		Ort.	1,15	2,01	1,97	2,37	2,06	1,55	1,38	1,00
		St.H.	0,10	0,09	0,10	0,20	0,19	0,11	0,09	0,07
Ladin	Kontrol	Min.	0,38	2,44	3,03	1,90	1,51	1,12	0,68	0,59
		Maks.	2,46	5,50	6,61	6,95	4,54	2,94	2,53	2,00
		Ort.	1,42	3,48	4,07	4,20	2,50	2,00	1,63	1,38
		St.H.	0,10	0,20	0,24	0,29	0,19	0,12	0,11	0,08
	Uygulama	Min.	1,07	2,41	2,64	2,48	1,70	1,77	1,25	0,79
		Maks.	2,34	4,35	5,22	5,25	4,68	3,02	2,47	1,44
		Ort.	1,51	3,27	3,60	3,77	2,82	2,38	1,76	1,04
		St.H.	0,09	0,15	0,19	0,19	0,20	0,09	0,10	0,05

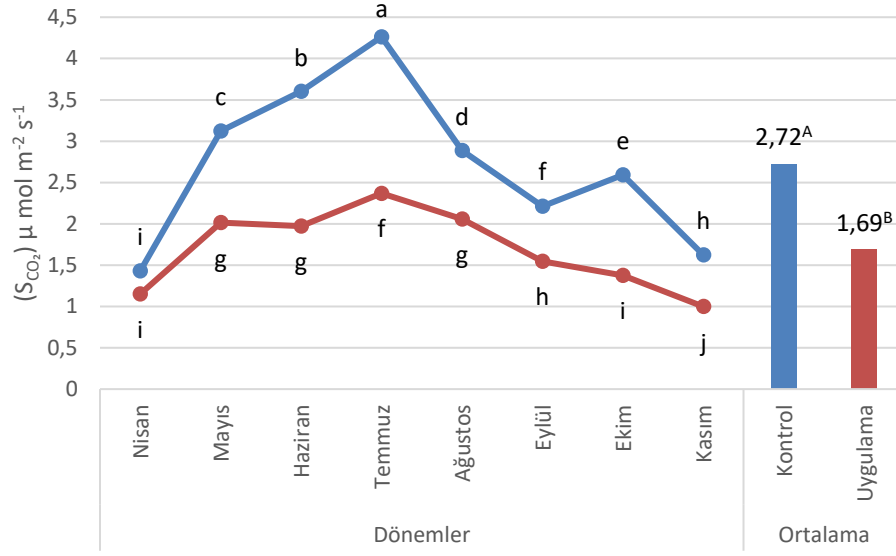
Toprak S_{CO₂}’nın kayın ve ladin sahaları arasındaki değişimini analiz etmek için yapılan t testi sonucunda kayın ve ladin türleri arasında sadece Ekim döneminde anlamlı farklılık (P<0,05) olduğu bulunmuştur (Şekil 79). Kayın sahasında S_{CO₂} değerlerinin kontrol ve uygulama alanları arasındaki değişimini analiz etmek için yapılan t testi sonucunda Nisan hariç her bir dönemde ve dolayısıyla dönemler ortalamasında anlamlı farklılık (P<0,05) gösterdiği belirlenmiştir (Şekil 80).



Şekil 79. Kontrol alanları için kayın ve ladin sahaları arasında toprakların CO₂ salınımının (S_{CO₂}) değişimi (Harfler fark gruplarını gösterir, p<0,005).

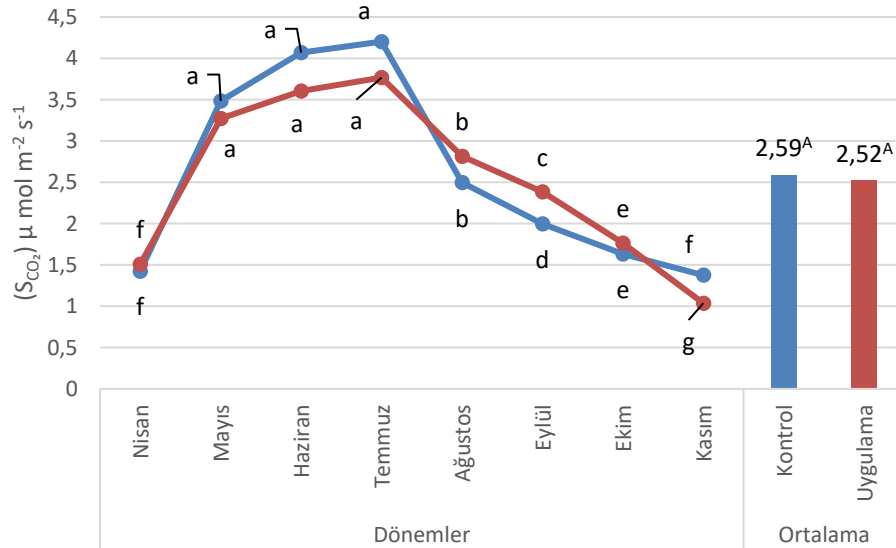
Kayın sahasında kontrol ve uygulama alanlarındaki toprakların S_{CO₂} değerlerinin mevsimsel değişimi için yapılan varyans analizi sonucunda hem kontrol hem de uygulama alanında dönemler arasında anlamlı farklılık bulunmuş (P<0,05) ve Tukey HSD testi sonucunda en yüksek grup Temmuz değerleri ve en düşük grup kontrolde Nisan uygulama alanında Kasım dönemi değerleri olarak belirlenmiştir (Şekil 80).

Ladin sahasında S_{CO₂} değerlerinin kontrol ve uygulama alanları arasındaki değişimini analiz etmek için yapılan t testi sonucunda sadece Eylül ve Kasım'da anlamlı farklılık (P<0,05) gösterdiği belirlenmiştir (Şekil 81).



Şekil 80. Kayın sahasında toprakların CO₂ salınımının (S_{CO_2}) kontrol ve uygulama alanları arasında ve dönemsel değişimi (Harfler fark gruplarını gösterir, $p < 0,005$).

Ladin sahasında kontrol ve uygulama alanlarındaki toprakların S_{CO_2} değerlerinin mevsimsel değişimi için yapılan varyans analizi sonucunda hem kontrol hem de uygulama alanında dönemler arasında anlamlı farklılık bulunmuş ($P < 0,05$) ve Tukey HSD testi sonucunda en yüksek grup Temmuz değerleri ve en düşük grup Kasım dönemi değerleri olarak belirlenmiştir (Şekil 81).



Şekil 81. Ladin sahasında toprakların CO₂ salınımının (S_{CO_2}) kontrol ve uygulama alanları arasında ve dönemsel değişimi (Harfler fark gruplarını gösterir, $p < 0,005$).

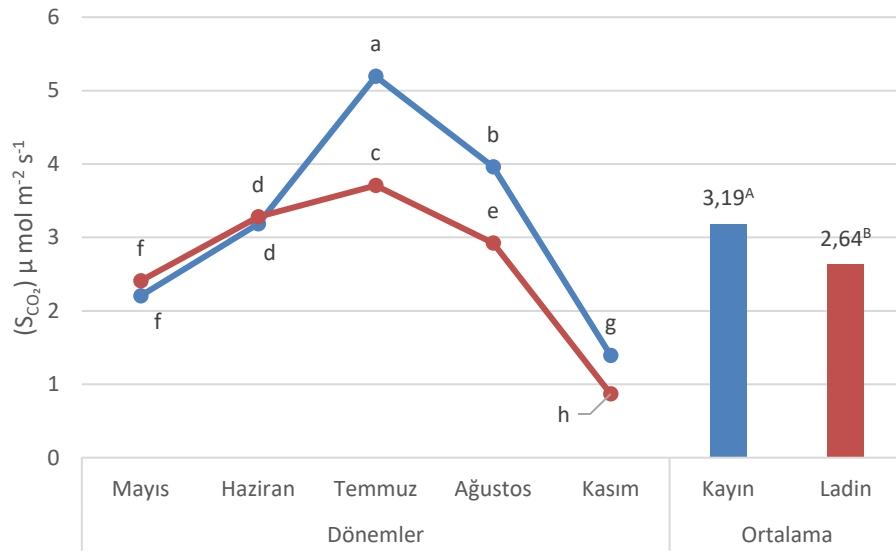
3.19.2 2019 Yılına İlişkin Bulgular

Toprakların 2019 yılı için CO₂ salınımı (S_{CO₂}) ölçümünde elde edilen verilere göre ortalama S_{CO₂} en fazla kayın sahası kontrol alanında Temmuz'da (5,19 μ mol m⁻² s⁻¹), en düşük ladin sahası uygulama alanında Kasım'da (0,78 μ mol m⁻² s⁻¹) bulunmuştur. Her iki kayın ve ladin sahalarında S_{CO₂} değerlerinin belirlenen ortalama, maksimum, minimum ve standart hata değerleri Tablo 23'te verilmiştir.

Tablo 23. Her iki türün sahalarında 2019 yılı için deneme alanlarındaki toprakların CO₂ salınımının tanımlayıcı değerleri

Tür	Alan	Belirtici değerler	Dönemler				
			Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Kasım
Toprak CO ₂ salınımı (µ mol m ⁻² s ⁻¹)							
Kayın	Kontrol	Min.	1,30	2,21	2,99	2,32	0,51
		Maks.	3,47	5,52	7,58	7,53	2,05
		Ort.	2,20	3,18	5,19	3,96	1,39
		St.H.	0,17	0,39	0,32	0,37	0,14
	Uygulama	Min.	0,75	1,31	1,63	1,39	0,54
		Maks.	1,82	3,44	3,94	4,70	3,30
		Ort.	1,27	2,30	2,36	2,39	1,06
		St.H.	0,08	0,25	0,15	0,23	0,19
Ladin	Kontrol	Min.	1,55	2,20	2,40	1,90	0,49
		Maks.	3,63	4,41	4,85	3,98	1,27
		Ort.	2,41	3,28	3,71	2,92	0,87
		St.H.	0,17	0,18	0,24	0,16	0,06
	Uygulama	Min.	1,30	2,39	1,66	1,65	0,43
		Maks.	2,59	4,20	3,65	4,39	1,12
		Ort.	1,72	3,23	2,58	2,90	0,78
		St.H.	0,09	0,14	0,13	0,16	0,05

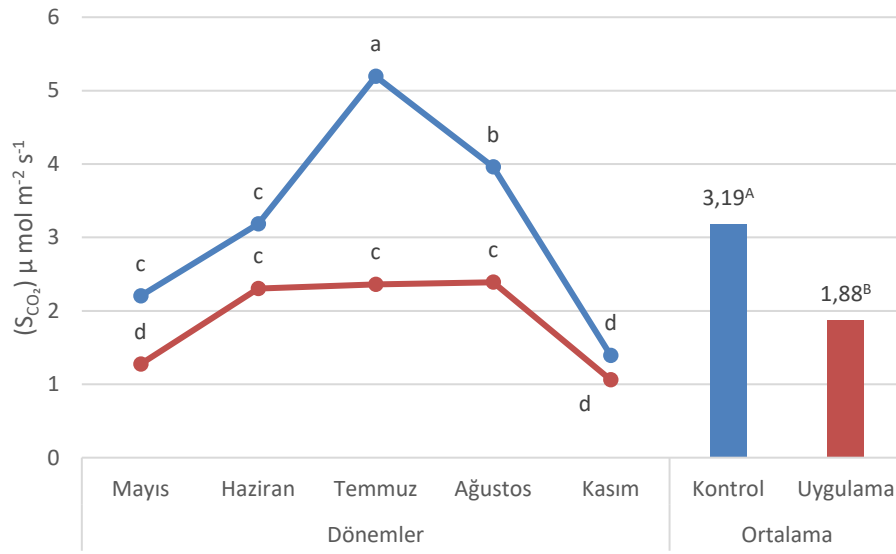
2019 yılındaki toprak S_{CO₂}'nin kayın ve ladin sahaları arasındaki değişimini analiz etmek için yapılan t testi sonucunda kayın ve ladin türleri arasında Temmuz, Ağustos ve Kasım dönemlerinde ve dönemler ortalamasında anlamlı farklılık (P<0,05) olduğu bulunmuştur (Şekil 82).



Şekil 82. Kontrol alanları için 2019 yılında kayın ve ladin sahaları arasında toprakların CO₂ salınımının (S_{CO₂}) değişimi (Harfler fark gruplarını gösterir, p<0,005).

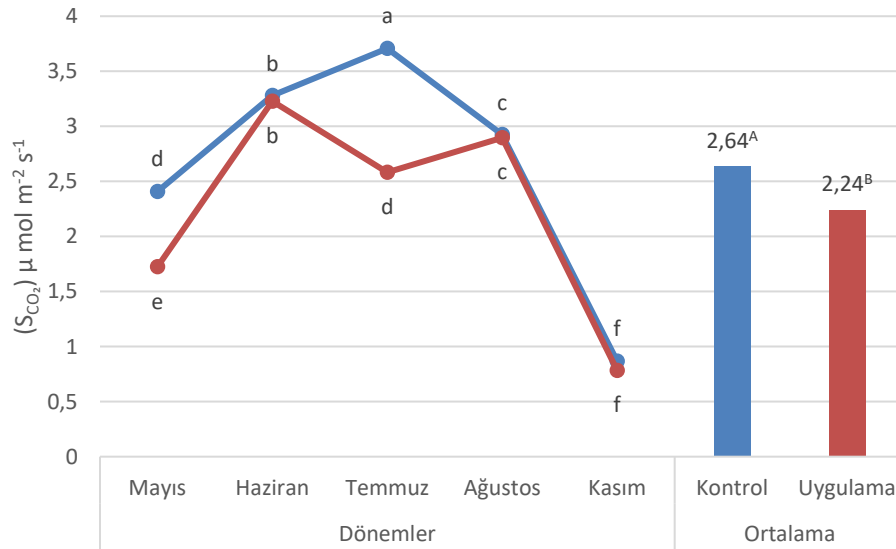
Kayın sahasında 2019 yılı S_{CO₂} değerlerinin kontrol ve uygulama alanları arasındaki değişimini analiz etmek için yapılan t testi sonucunda Haziran ve Kasım hariç her bir dönemde ve dolayısıyla dönemler ortalamasında anlamlı farklılık (P<0,05) gösterdiği belirlenmiştir (Şekil 83). Kayın sahasında kontrol ve uygulama alanlarındaki toprakların S_{CO₂} değerlerinin mevsimsel değişimi için yapılan varyans analizi sonucunda hem kontrol hem de uygulama alanında dönemler arasında anlamlı farklılık bulunmuş (P<0,05) ve Tukey HSD testi sonucunda en yüksek grup kontrolde Temmuz değerleri uygulama alanında yaz dönemi (Haziran-Temmuz-Ağustos) değerleri ve en düşük grup Kasım dönemi değerleri olarak belirlenmiştir (Şekil 83).

Ladin sahasında S_{CO₂} değerlerinin kontrol ve uygulama alanları arasındaki değişimini analiz etmek için yapılan t testi sonucunda sadece Mayıs ve Temmuz'da ve ayrıca dönemler ortalamasında anlamlı farklılık (P<0,05) gösterdiği belirlenmiştir (Şekil 84).



Şekil 83. Kayın sahasında toprakların CO₂ salınımının (SCO₂) 2019 yılı için kontrol ve uygulama alanları arasında ve dönemsel değişimi (Harfler fark gruplarını gösterir, p<0,005).

Ladin sahasında kontrol ve uygulama alanlarındaki toprakların SCO₂ değerlerinin mevsimsel değişimi için yapılan varyans analizi sonucunda hem kontrol hem de uygulama alanında dönemler arasında anlamlı farklılık bulunmuş (P<0,05) ve Tukey HSD testi sonucunda en yüksek grup kontrolde Temmuz değerleri, uygulama alanında haziran değerleri ve en düşük grup Kasım dönemi değerleri olarak belirlenmiştir (Şekil 84).



Şekil 84. Ladin sahasında toprakların CO₂ salınımının (SCO₂) 2019 yılı için kontrol ve uygulama alanları arasında ve dönemsel değişimi (Harfler fark gruplarını gösterir, p<0,005).

3.20 Toprak Solunumu ve Bileşenlerine İlişkin Bulgular

3.20.1 2018 Yılına İlişkin Bulgular

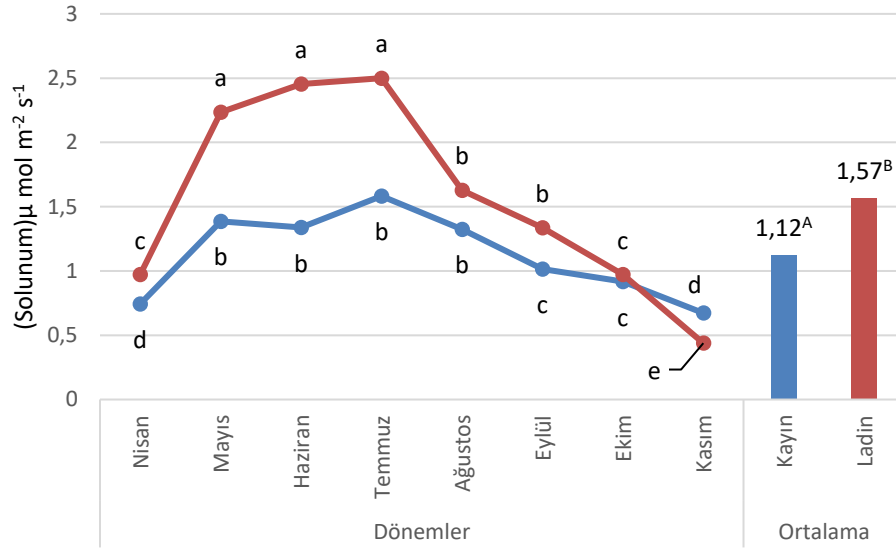
Toprakların CO₂ salınımının (S_{CO₂}) uygulama alanlarındaki ölçümlerinden (kök ayrışmasından ve nem artışından kaynaklı CO₂ salınımı da hariç tutularak) elde edilen verilere göre mikroorganizma solunumu (S_M) ortalaması en fazla ladin sahasında Temmuz'da (2,50 μ mol m⁻² s⁻¹), en düşük ladin sahasında Kasım'da (0,44 μ mol m⁻² s⁻¹) bulunmuştur. Yine toprakların CO₂ salınımının (S_{CO₂}) kontrol alanlarındaki ölçümleri ile mikroorganizma solunumu (S_M) arasındaki farkından elde edilen verilere göre kök solunumu (S_K) ortalaması en fazla kayın sahasında Temmuz'da (2,68 μ mol m⁻² s⁻¹), en düşük ladin sahasında Nisan'da (0,56 μ mol m⁻² s⁻¹) bulunmuştur. Her iki kayın ve ladin sahalarında S_M ve S_K değerlerinin belirlenen aylık ortalama, maksimum, minimum ve standart hata değerleri Tablo 24'te verilmiştir.

Tablo 24. Her iki türün sahalarındaki topraklarda kök ve mikroorganizma bileşenleri solunumunun tanımlayıcı değerleri.

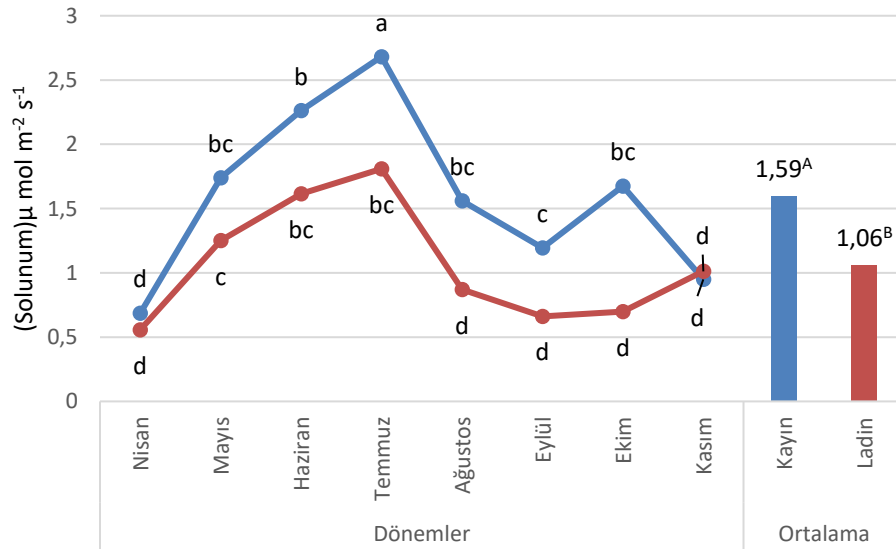
Tür	Solunum bileşeni	Belirtici değerler	Dönemler							
			Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım
			Toprak solunumu (μ mol m ⁻² s ⁻¹)							
Kayın	Kök	Min.	0,15	0,15	0,69	0,65	0,76	0,47	0,87	0,21
		Maks.	1,57	3,57	5,57	4,65	2,64	2,39	2,49	1,56
		Ort.	0,69	1,74	2,26	2,68	1,56	1,20	1,68	0,95
		St.H.	0,39	0,79	1,15	1,06	0,53	0,49	0,49	0,42
	Mikroorg.	Min.	0,26	1,05	1,05	1,06	0,92	0,64	0,61	0,44
		Maks.	1,22	1,82	1,99	3,31	2,96	1,92	1,46	1,00
		Ort.	0,74	1,39	1,34	1,58	1,32	1,02	0,92	0,67
		St.H.	0,25	0,23	0,26	0,56	0,51	0,31	0,25	0,20
Ladin	Kök	Min.	0,20	0,32	0,50	0,44	0,38	0,31	0,32	0,54
		Maks.	1,16	2,86	3,57	3,50	1,76	1,06	1,33	1,50
		Ort.	0,56	1,25	1,61	1,81	0,87	0,66	0,70	1,01
		St.H.	0,09	0,20	0,22	0,19	0,11	0,06	0,08	0,08
	Mikroorg.	Min.	0,77	1,73	1,74	1,61	0,78	0,65	0,51	0,23
		Maks.	1,40	3,16	3,84	3,45	3,35	1,91	1,52	0,72
		Ort.	0,97	2,23	2,45	2,50	1,63	1,34	0,97	0,44
		St.H.	0,06	0,10	0,15	0,15	0,18	0,10	0,07	0,04

Toprak solunumu bileşenlerinin (S_K ve S_M) kayın ve ladin sahaları arasındaki değişimini analiz etmek için yapılan t testi sonucunda, S_K için Nisan, Mayıs, Haziran

ve Kasım hariç, S_M için Ağustos ve Ekim hariç her bir dönemde ve her iki bileşen için dönemler ortalamasında kayın ve ladin türleri arasında anlamlı farklılık ($P<0,05$) olduğu bulunmuştur (Şekil 85 ve Şekil 86).



Şekil 85. Toprakların mikroorganizma solunumunun (S_M) kayın ve ladin sahaları arasında değişimi (Harfler fark gruplarını gösterir, $p<0,005$).



Şekil 86. Toprakların kök solunumunun (S_K) kayın ve ladin sahaları arasında değişimi (Harfler fark gruplarını gösterir, $p<0,005$).

Belirlenen S_K , S_M ve kontrol alanlarındaki SCO_2 olan toplam solunum (S_T) için ölçüm yapılan vejetasyon dönemi (Nisan'dan Kasım'a 8 aylık) boyunca gerçekleşen tahmini kümülatif solunum miktarları S_M için en fazla ladin sahasında ($390,26 \text{ g C m}^{-2} \cdot 8 \text{ ay}^{-1}$) S_K için en fazla kayın sahasında ($396,94$), S_T için ise en fazla yine kayın sahasında

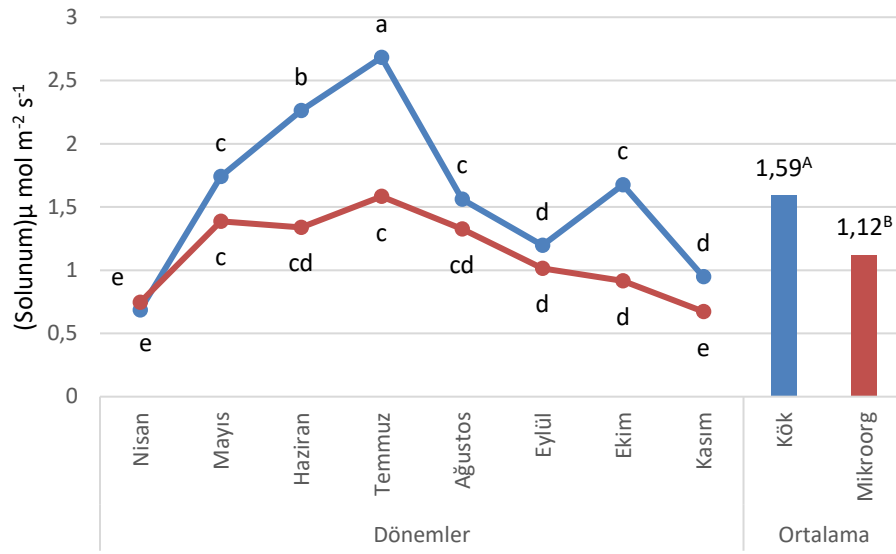
(676,55) bulunmuştur (Tablo 25). Kümülatif S_K ve S_M için kayın ve ladin sahaları arasında anlamlı farklılık ($p<0,05$) bulunurken, S_T için türler arasında anlamlı farklılık belirlenmemiştir.

Tablo 25. Kayın ve ladin sahalarında toplam toprak solunumu ile kök ve mikroorganizma bileşenlerinin aylık toplam miktarlarının değişimi ve 8 ayın sonundaki toplam miktarları

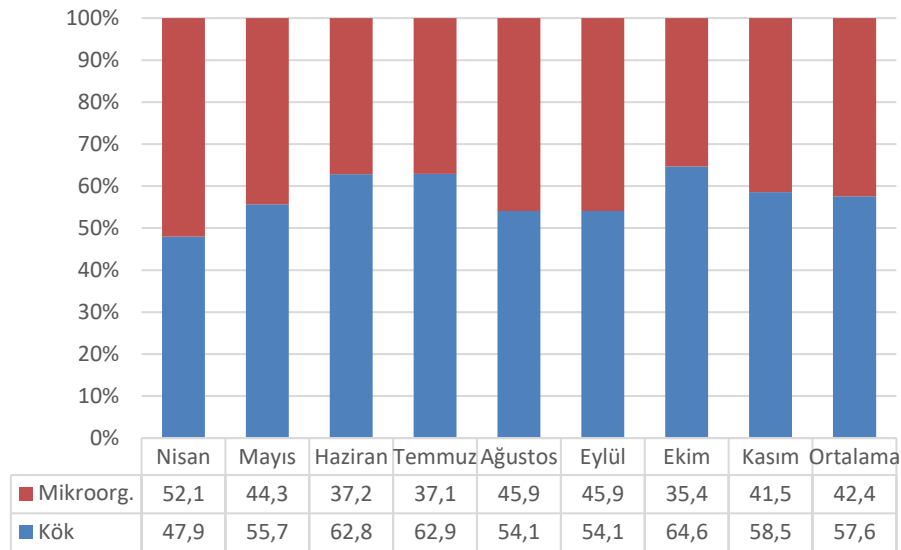
Tür	Solunum bileşeni	Dönemler								8 aylık
		Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Toplam
		Toprak solunumu (g C m ⁻² ay ⁻¹)								(g C m ⁻²)
Kayın	Kök	21,36	54,15	70,44	83,50	48,57	37,21	52,16	29,56	396,94
	Mikroorg.	23,18	43,15	41,68	49,27	41,24	31,61	28,54	20,94	279,61
	Toplam	44,54	97,30	112,12	132,77	89,81	68,82	80,70	50,50	676,55
Ladin	Kök	17,35	38,94	50,25	56,33	27,09	20,61	21,71	31,49	263,75
	Mikroorg.	30,30	69,55	76,40	77,83	50,66	41,61	30,24	13,66	390,26
	Toplam	47,65	108,49	126,65	134,16	77,75	62,22	51,95	45,14	654,01

Kayın sahasında toprak solunumun kök ve mikroorganizma bileşenleri arasındaki değişimini analiz etmek için yapılan t testi sonucunda Haziran, Temmuz, Ekim ve Kasım dönemlerinde ve dönemler ortalamasında S_K ve S_M arasında anlamlı farklılık ($P<0,05$) olduğu belirlenmiştir (Şekil 87). Kayın sahasında S_K ve S_M değerlerinin mevsimsel değişimi için yapılan varyans analizi sonucunda her iki bileşen için dönemler arasında anlamlı farklılık bulunmuş ($P<0,05$) ve Tukey HSD testi sonucunda en yüksek grup Temmuz değerleri ve en düşük grup S_K için Nisan S_M için Kasım dönemi değerleri olarak belirlenmiştir (Şekil 87).

Kayın sahasında toplam toprak solunumuna (kontrol alanı S_{CO_2}) kök ve mikroorganizma bileşenlerinin ortalama katkısı sırasıyla % 57,6 ve % 42,4 olarak belirlenmiş; S_K bileşeninin en yüksek katkısı Ekim ayında (% 64,6) ve S_M bileşeninin en yüksek katkısı Nisan ayında (% 52,1) bulunmuştur (Şekil 88).

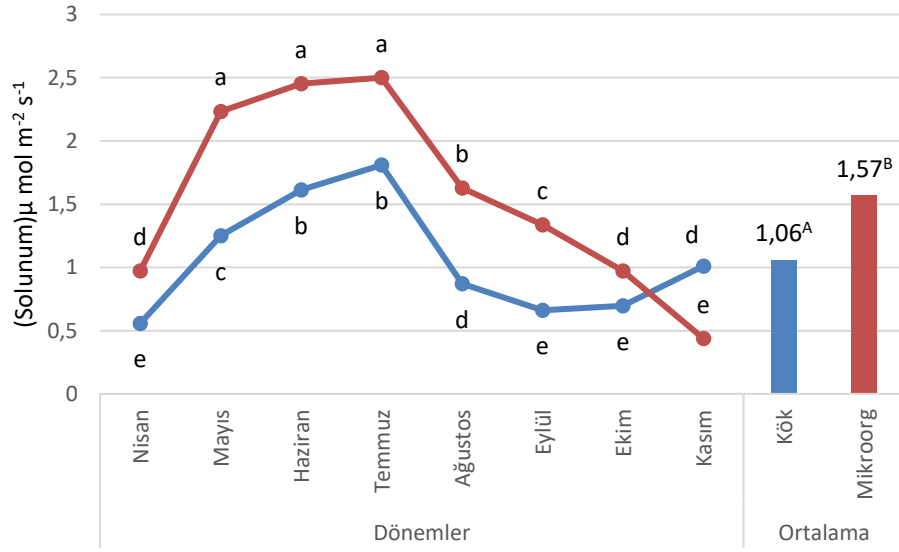


Şekil 87. Kayın sahasında topraktan solunumun kök ve mikroorganizma bileşenleri arasında ve dönemsel değişimi (Harfler fark gruplarını gösterir, p<0,005).



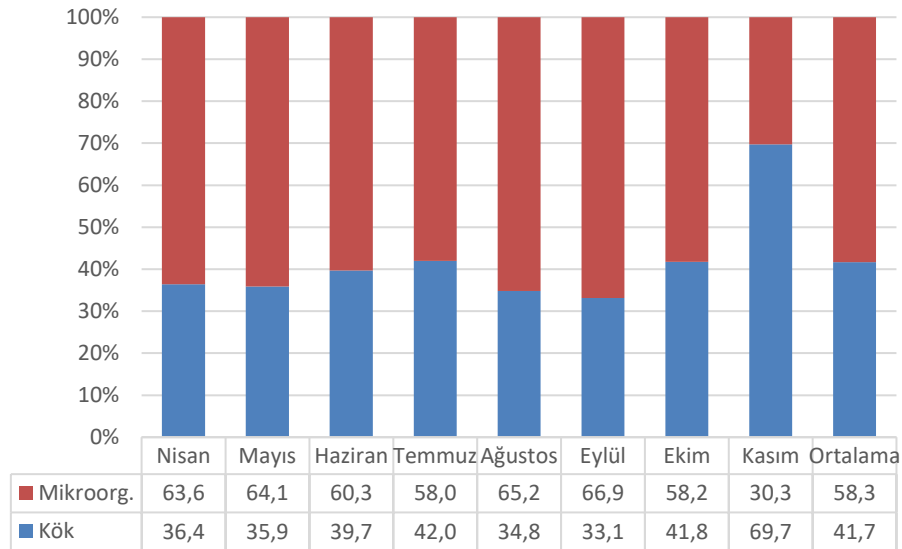
Şekil 88. Kayın sahasında kök ve mikroorganizma bileşenlerinin toplam toprak solunumuna katkı oranlarının dönemsel değişimi ve ortalaması.

Ladin sahasında toprak solunumun kök ve mikroorganizma bileşenleri arasındaki değişimini analiz etmek için yapılan t testi sonucunda her bir dönemde ve dönemler ortalamasında S_K ve S_M arasında anlamlı farklılık ($P<0,05$) olduğu belirlenmiştir (Şekil 89). Ladin sahasında S_K ve S_M değerlerinin mevsimsel değişimi için yapılan varyans analizi sonucunda her iki bileşen için dönemler arasında anlamlı farklılık bulunmuş ($P<0,05$) ve Tukey HSD testi sonucunda en yüksek grup Temmuz değerleri ve en düşük grup S_K için Nisan S_M için Kasım dönemi değerleri olarak belirlenmiştir (Şekil 89).



Şekil 89. Ladin sahasında topraktan solunumun kök ve mikroorganizma bileşenleri arasında ve dönemsel değişimi

Ladin sahasında toplam toprak solunumuna (kontrol alanı SCO_2) kök ve mikroorganizma bileşenlerinin ortalama katkısı sırasıyla % 41,7 ve % 58,3 olarak belirlenmiş; S_K bileşeninin en yüksek katkısı Kasım ayında (% 69,7) ve S_M bileşeninin en yüksek katkısı Eylül ayında (% 66,9) bulunmuştur (Şekil 90).



Şekil 90. Ladin sahasında kök ve mikroorganizma bileşenlerinin toplam toprak solunumuna katkı oranlarının dönemsel değişimi ve ortalaması

3.20.2 2019 Yılına İlişkin Bulgular

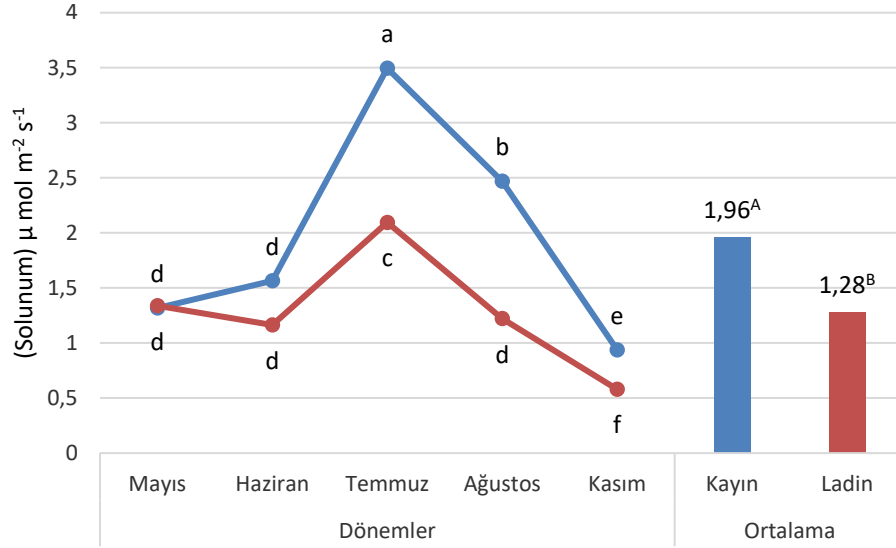
Toprakların 2019 yılında ölçülen CO₂ salınımının (S_{CO₂}) uygulama alanlarındaki ölçümlerinden (kök ayrışmasından ve nem artışından kaynaklı CO₂ salınımı da hariç tutularak) elde edilen verilere göre mikroorganizma solunumu (S_M) ortalaması en fazla ladin sahasında Haziran’da (2,19 μ mol m⁻² s⁻¹), en düşük ladin sahasında Kasım’da (0,47 μ mol m⁻² s⁻¹) bulunmuştur. Yine toprakların CO₂ salınımının (S_{CO₂}) kontrol alanlarındaki ölçümleri ile mikroorganizma solunumu (S_M) arasındaki farkından elde edilen verilere göre kök solunumu (S_K) ortalaması en fazla kayın sahasında Temmuz’da (3,49 μ mol m⁻² s⁻¹), en düşük ladin sahasında Kasım’da (0,59 μ mol m⁻² s⁻¹) bulunmuştur. Her iki kayın ve ladin sahalarında S_M ve S_K değerlerinin belirlenen ortalama, maksimum, minimum ve standart hata değerleri Tablo 26’da verilmiştir.

Tablo 26. Her iki türün sahalarındaki topraklarda 2019 yılı için kök ve mikroorganizma bileşenleri solunumunun tanımlayıcı değerleri.

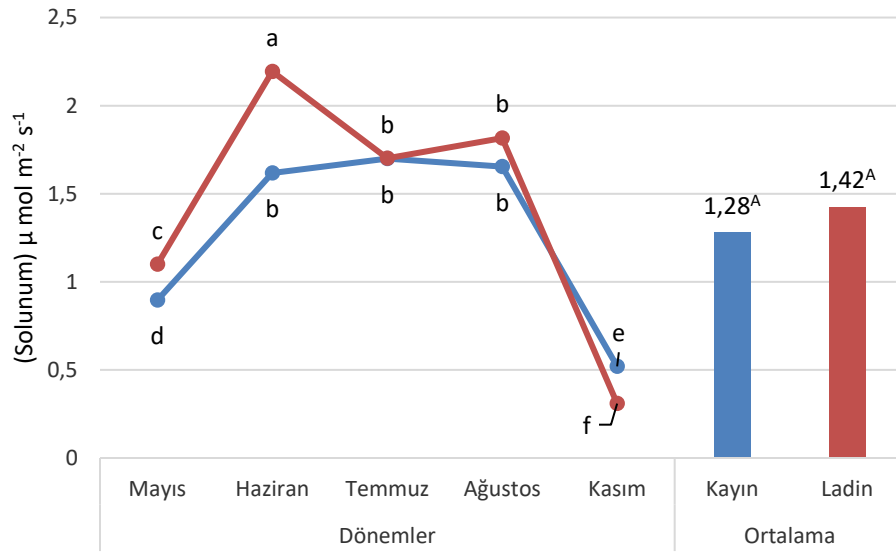
Tür	Solunum bileşeni	Belirtici değerler	Dönemler					
			Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Kasım	
			Toprak solunumu (μ mol m ⁻² s ⁻¹)					
Kayın	Kök	Min.	0,60	0,82	1,89	0,99	0,45	
		Maks.	2,53	2,99	5,93	5,29	1,54	
		Ort.	1,32	1,57	3,49	2,47	0,94	
		St.H.	0,14	0,25	0,28	0,28	0,09	
	Mikroorg.	Min.	0,41	0,87	1,10	0,92	0,06	
		Maks.	1,49	2,53	2,84	3,42	1,27	
		Ort.	0,90	1,62	1,70	1,65	0,52	
		St.H.	0,08	0,17	0,11	0,17	0,09	
	Ladin	Kök	Min.	0,58	0,49	0,70	0,57	0,35
			Maks.	2,42	2,08	3,23	2,32	0,94
			Ort.	1,34	1,16	2,10	1,22	0,58
			St.H.	0,14	0,13	0,22	0,12	0,05
Mikroorg.		Min.	0,78	1,60	1,09	1,12	0,14	
		Maks.	1,72	2,90	2,57	2,36	0,47	
		Ort.	1,10	2,19	1,70	1,82	0,31	
		St.H.	0,06	0,10	0,10	0,08	0,02	

Toprak solunumu bileşenlerinin (S_K ve S_M) kayın ve ladin sahaları arasındaki değişimini analiz etmek için yapılan t testi sonucunda, S_K için Mayıs ve Haziran hariç diğer dönemlerde ve dönemler ortalamasında, S_M için Temmuz ve Ağustos hariç diğer

dönemlerde kayın ve ladin türleri arasında anlamlı farklılık ($P<0,05$) olduğu bulunmuştur (Şekil 91 ve Şekil 92).



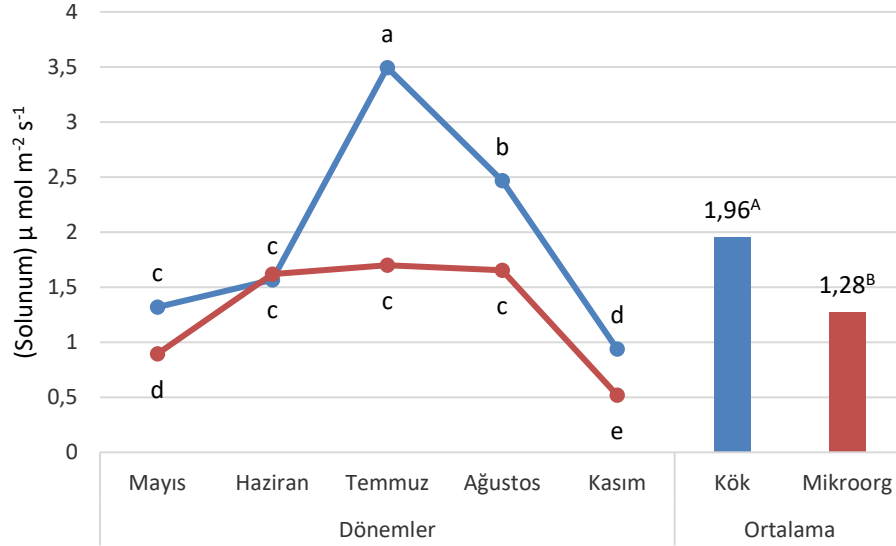
Şekil 91. Toprakların kök solunumunun (S_K) 2019 yılında kayın ve ladin sahaları arasında değişimi (Harfler fark gruplarını gösterir, $p<0,005$).



Şekil 92. Toprakların mikroorganizma solunumunun (S_M) 2019 yılında kayın ve ladin sahaları arasında değişimi.

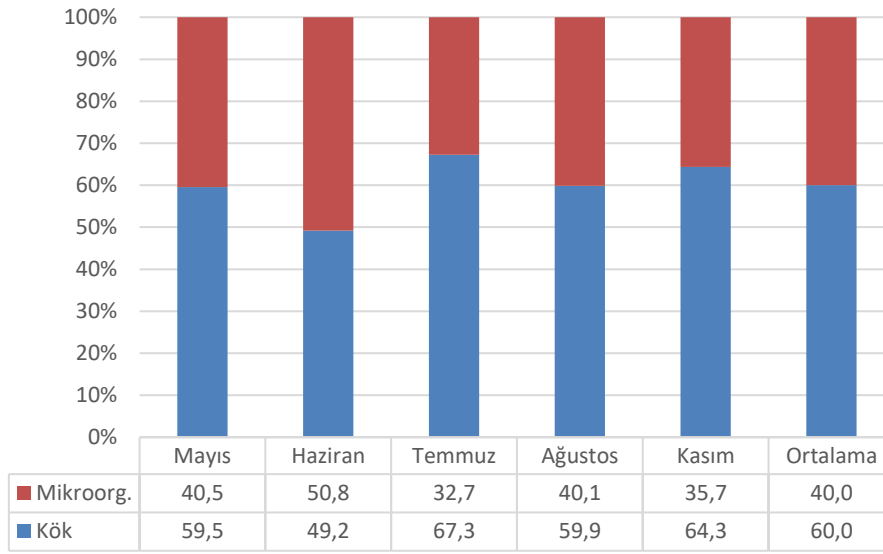
Kayın sahasında toprak solunumunun kök ve mikroorganizma bileşenleri arasındaki değişimini analiz etmek için yapılan t testi sonucunda Haziran hariç her bir dönemde ve dönemler ortalamasında S_K ve S_M arasında anlamlı farklılık ($P<0,05$) olduğu belirlenmiştir (Şekil 93). Kayın sahasında S_K ve S_M değerlerinin mevsimsel değişimi için yapılan varyans analizi sonucunda her iki bileşen için dönemler arasında anlamlı

farklılık bulunmuş ($P<0,05$) ve Tukey HSD testi sonucunda en yüksek grup SK için Temmuz değerleri SM için yaz dönemi (Haziran-Temmuz-Ağustos) değerleri ve her iki bileşende en düşük grup Kasım dönemi değerleri olarak belirlenmiştir (Şekil 93)



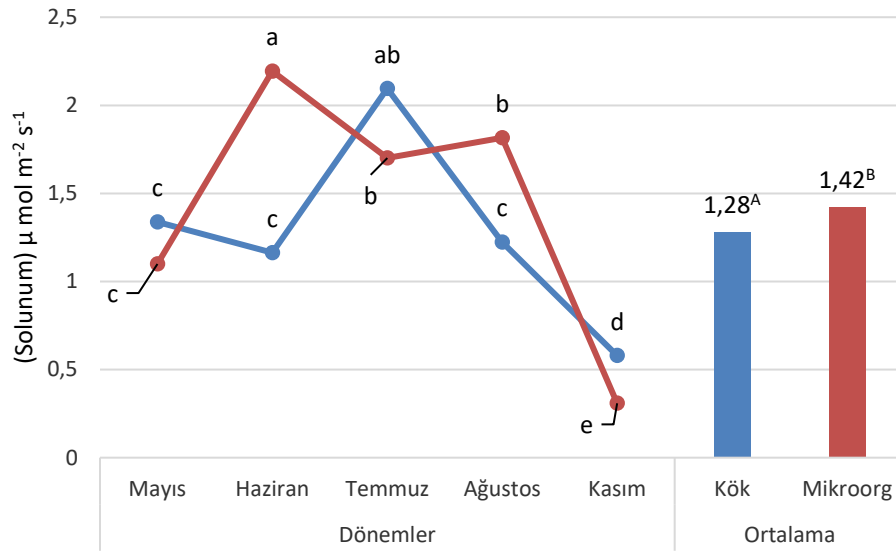
Şekil 93. Kayın sahasında topraktan solunumun 2019 yılında kök ve mikroorganizma bileşenleri arasında ve dönemsel değişimi (Harfler fark gruplarını gösterir, $p<0,005$).

Kayın sahasında toplam toprak solunumuna (kontrol alanı SCO_2) kök ve mikroorganizma bileşenlerinin ortalama katkısı sırasıyla % 60,05 ve % 39,95 olarak belirlenmiş; S_K bileşeninin en yüksek katkısı Temmuz ayında (% 67,3) ve S_M bileşeninin en yüksek katkısı Haziran ayında (% 50,8) bulunmuştur (Şekil 94)



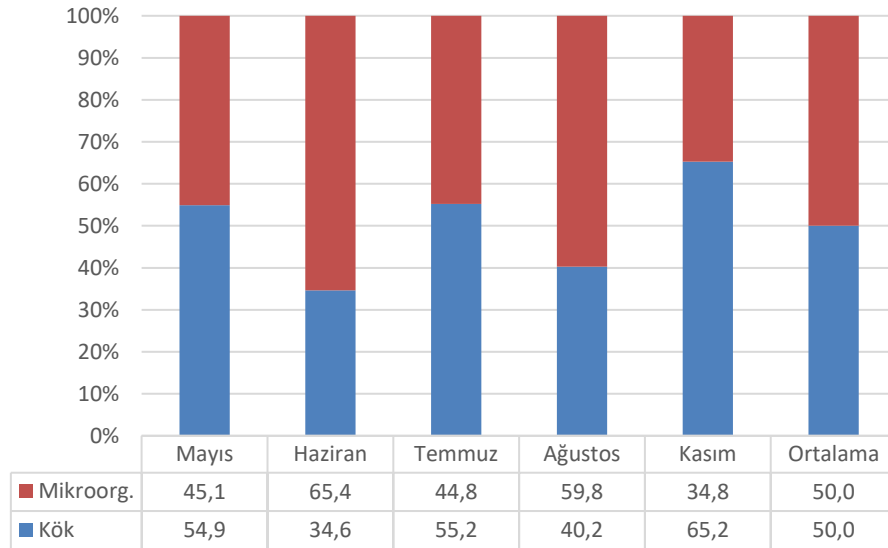
Şekil 94. Kayın sahasında kök ve mikroorganizma bileşenlerinin toplam toprak solunumuna katkı oranlarının 2019 yılında dönemsel değişimi ve ortalaması.

Ladin sahasında toprak solunumun kök ve mikroorganizma bileşenleri arasındaki değişimini analiz etmek için yapılan t testi sonucunda Mayıs ve Temmuz hariç her bir dönemde ve dönemler ortalamasında S_K ve S_M arasında anlamlı farklılık ($P<0,05$) olduğu belirlenmiştir (Şekil 95). Ladin sahasında S_K ve S_M değerlerinin mevsimsel değişimi için yapılan varyans analizi sonucunda her iki bileşen için dönemler arasında anlamlı farklılık bulunmuş ($P<0,05$) ve Tukey HSD testi sonucunda en yüksek grup S_M için Temmuz değerleri, S_K için Haziran değerleri ve en düşük grup her iki bileşen için Kasım dönemi değerleri olarak belirlenmiştir (Şekil 95).



Şekil 95. Ladin sahasında topraktan solunumun 2019 yılında kök ve mikroorganizma bileşenleri arasında ve dönemsel değişimi (Harfler fark gruplarını gösterir, $p < 0,005$).

Ladin sahasında toplam toprak solunumuna (kontrol alanı SCO_2) kök ve mikroorganizma bileşenlerinin ortalama katkısı sırasıyla % 49,96 ve % 50,04 olarak belirlenmiş; S_K bileşeninin en yüksek katkısı Temmuz ayında (% 65,2) ve S_M bileşeninin en yüksek katkısı Kasım ayında (% 65,4) bulunmuştur (Şekil 96).



Şekil 96. Ladin sahasında kök ve mikroorganizma bileşenlerinin toplam toprak solunumuna katkı oranlarının 2019 yılında dönemsel değişimi ve ortalaması.

3.21 Genel Ortalamalara İlişkin Bulgular

Çalışmamızda bu bölüme kadar bulguları verilen parametrelerin türlere ve türlerin sahasındaki uygulamaya göre değişiminde 2018 yılı vejetasyon periyodu için ortalama değerleri Tablo 27 ve Tablo 28’de verilmiştir. Burada S_K , S_M , TN , C_M , N_M , N_N , CO , K_K , C_T ve kil içeriği türe göre (kontrol alanları baz alınarak) anlamlı farklılık göstermiştir ($P<0,05$). Ayrıca kayın sahasında uygulama, TN , N_N , pH , K_K ve K_i miktarlarını anlamlı olarak değiştirmiştir ($P<0,05$). Ladin sahasında ise T_N , K_K , K_i , C_T ve N_T miktarlarını uygulama anlamlı olarak değiştirmiştir ($P<0,05$).

Tablo 27. 2018 yılında toplam toprak solunumu ve bileşenlerinin kayın ve ladin sahaslarında değişimi.

Değişken	Kayın	Ladin
Toplam solunum (S_T) $\mu \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$	2,72	2,63
Mikroorganizma solunumu (S_M) $\mu \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$	1,12	1,57
Kök solunumu (S_K) $\mu \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$	1,59	1,06

Tablo 28. 2018 yılında belirlenen toprak özelliklerinin kayın ve ladin sahaslarında uygulama ve kontrole göre değişimi ve kontrole kıyasla değişim yüzdeleri.

Değişken	Kayın			Ladin		
	Kontrol	Uygulama	Değişim (%)	Kontrol	Uygulama	Değişim (%)
Toprak sıcaklığı (TS) $^{\circ}C$	12,64	12,54	-0,8	12,29	11,98	-2,5
Toprak nemi (TN) %	36,02	60,30	+67,4	20,48	34,14	+66,7
Mikrobiyal (bazal) solunum (S_{MB}) $\mu g \text{ CO}_2\text{-C g}^{-1}$	0,88	0,73	-17,0	0,75	0,63	-16,0
Mikrobiyal karbon (C_M) $\mu g \text{ g}^{-1}$	701,69	777,71	+10,8	553,31	595,65	+7,7
Mikrobiyal azot (N_M) $\mu g \text{ g}^{-1}$	111,35	112,67	+1,2	59,54	57,99	-2,6
Mineral azot (N_N) $mg/100g$	1,32	2,91	+120,5	0,78	3,13	+301,3
Organik karbon (C_O) %	3,44	3,48	+1,2	3,69	3,56	-3,5
pH	4,67	5,01	+7,3	4,56	4,55	-0,2
Kılcal Kök (K_K) gr/m^2	328,33	275,67	-16,0	401,00	202,33	-49,5
İnce Kök (K_i) gr/m^2	329,67	280,33	-15,0	332,67	225,67	-32,2
Toplam karbon (C_T) %	4,11	4,57	+11,2	5,82	4,71	-19,1
Toplam azot (N_T) %	0,27	0,31	+14,8	0,24	0,20	-16,7
Kum (%)	62,98	66,67	+5,9	58,75	55,54	-5,5
Kil (%)	19,01	16,70	-12,2	23,72	24,67	+4,0
Toz (%)	18,01	16,63	-7,7	17,53	19,79	+12,9

Verilen bulgularla ilgili parametrelerin türlere ve türlerin sahasındaki uygulamaya göre değişiminde 2019 yılı vejetasyon periyodu için ortalama değerler Tablo 29 ve

Tablo 30’da verilmiştir. Burada S_T , S_K ve TN türe göre (kontrol alanları baz alınarak) anlamlı farklılık göstermiştir ($P<0,05$). Ayrıca hem Kayın hem ladin sahasında uygulama, TN , K_K ve K_i miktarlarını anlamlı olarak değiştirmiştir ($P<0,05$).

Tablo 29. 2019 yılında belirlenen toprak özelliklerinin kayın ve ladin sahalarında uygulama ve kontrole göre değişimi

Değişken	Kayın			Ladin		
	Kontrol	Uygulama	Değişim (%)	Kontrol	Uygulama	Değişim (%)
Toprak sıcaklığı (TS) °C	11,97	11,84	-1,1	12,28	12,06	-1,8
Toprak nemi (TN) %	32,49	53,32	+64,1	17,39	30,18	+73,5
Kılcal Kök (K_K) gr/m ²	397,45	235,19	-40,8	387,55	99,57	-74,3
İnce Kök (K_i) gr/m ²	317,16	220,24	-30,6	246,07	131,12	-46,7

Tablo 30. 2018 yılında toplam toprak solunumu ve bileşenlerinin kayın ve ladin sahalarında değişimi.

Değişken	Kayın	Ladin
Toplam solunum (S_T) μ mol m ⁻² s ⁻¹	3,24	2,70
Kök solunumu (S_K) μ mol m ⁻² s ⁻¹	1,99	1,28
Mikroorganizma solunumu (S_M) μ mol m ⁻² s ⁻¹	1,25	1,42

3.22 Korelasyon Analizine İlişkin Bulgular

Topraktan toplam solunum ve bileşenlerinin ve diğer bazı toprak özelliklerinin karşılıklı ilişkilerini bulmak için korelasyon analizi yapılmıştır. Bu analizde, veriler türlere göre (Kayın/Ladin) ve daha sonra alanlara (Kontrol/Uygulama) göre gruplandırıldıktan sonra; toplam solunum (S_T) kök solunumu (S_K) mikroorganizma solunumu (S_M) toprak sıcaklığı (TS), toprak nemi (TN) toprağın mikrobiyal (bazal) solunum (S_{MB}), toprak mikrobiyal karbonu (C_M), toprak mikrobiyal azotu (N_M), toprak organik karbonu (C_O), toprağın mineral azotu (N_N), toprak toplam karbonu (C_T), toprak toplam azotu (N_T), toprakaltı kılcal kök kütle (K_K) ve ince kök kütlesi (K_i), toprağın pH’sı, toprağın kil içeriği ve metabolik katsayı (qCO_2) değerleri değişken olarak alınmıştır. Korelasyon analizi bulguları alt başlıklarda tür ve alan bakımından aşağıda verilmiştir.

3.22.1 Kayın Sahasında Kontrol Alanı Toprak Özelliklerinin Korelasyonu

Kayın sahası kontrol alanında toplam solunumun TS ($r = 0,489$) ve N_N ($r = 0,589$) ile pozitif anlamlı korelasyonu; TN ($r = -0,204$) ve N_M ($r = -0,538$) ile negatif anlamlı korelasyonu bulunmuştur. Bu alanda kök solunumunun da TS ($r = 0,388$) ve N_N ($r = 0,571$) ile pozitif anlamlı; TN ($r = -0,245$) ve N_M ($r = -0,566$) ile negatif anlamlı korelasyonu bulunmuştur.

Mikroorganizma solunumunun ise TS ($r = 0,489$) ve N_N ($r = 0,524$) yanı sıra N_T ($r = 0,456$) ve S_{MB} ($r = 0,295$) ile pozitif anlamlı korelasyonu bulunmuştur. Alanda toprak sıcaklığının N_N ($r = 0,322$) yanı sıra S_{MB} ($r = 0,506$) ve qCO_2 ($r = 0,532$) ile pozitif, TN ($r = -0,625$) ile negatif anlamlı korelasyonu bulunmuştur. Toprak neminin C_M ($r = 0,434$) ve N_M ($r = 0,768$) yanı sıra pH ($r = 0,529$) ile pozitif, S_{MB} ($r = -0,476$) ve qCO_2 ($r = -0,522$) ile negatif anlamlı korelasyonu bulunmuştur. Mikrobiyal (bazal) solunumun ise qCO_2 ($r = 0,874$) yanı sıra C_T ($r = 0,352$) ile pozitif, N_M ($r = -0,391$) ile negatif anlamlı korelasyonu bulunmuştur. Metabolik katsayının da C_M ($r = -0,328$), N_M ($r = -0,438$) ve pH ($r = -0,323$) ile negatif anlamlı korelasyonu bulunmuştur.

Alanda mikrobiyal karbonun N_M ($r = 0,348$), C_O ($r = 0,357$) ve N_T ($r = 0,386$) ile pozitif anlamlı korelasyonu bulunmuştur. Mikrobiyal azotun C_O ($r = 0,296$) yanı sıra pH ($r = 0,449$) ile pozitif anlamlı korelasyonu bulunmuştur. Toprağın organik karbonunun da C_T ($r = 0,751$) ve N_T ($r = 0,718$) ile pozitif anlamlı korelasyonu bulunmuştur. Toprakta toplam karbonun ise N_T ($r = 0,736$) ile pozitif, K_i ($r = -0,531$) ile negatif anlamlı korelasyonu bulunmuştur. Toprakta toplam azotun da pH ($r = 0,424$) ile pozitif anlamlı korelasyonu bulunmuştur. Alana ait yukarıda bahsedilen toprak özellikleri ve aralarındaki ilişkiyi gösteren korelasyon matrisi Tablo 31'de verilmiştir.

Tablo 31. Kayın sahası kontrol alanı topraklarına ait bazı özellikler ve aralarındaki ilişkiyi ve analize giren veri sayısını gösteren basit korelasyon matrisi.

Toprak özellikleri	S _T	S _K	S _M	TS	TN	S _{MB}	qCO ₂	C _M	N _M	C _O	N _N	C _T	N _T	K _K	K _I	pH	Kil
Toplam solunum (S _T)	1	0,887**	0,682**	0,489**	-0,204*	0,232	0,256	-0,150	-0,538**	0,000	0,589**	0,206	0,184	0,003	0,273	-0,097	0,115
Kök solunumu (S _K)	n = 120	1	0,522**	0,412**	-0,232*	0,203	0,268	-0,217	-0,558**	-0,037	0,569**	0,171	0,092	0,051	0,025	-0,106	0,018
Mikroorganizma solunumu (S _M)	n = 120	n = 120	1	0,463**	-0,024	0,295*	0,191	0,129	-0,228	0,145	0,546**	0,230	0,351*	-0,034	0,326	0,080	0,078
Toprak sıcaklığı (TS)	n = 120	n = 120	n = 120	1	-0,625**	0,506**	0,532**	-0,296*	-0,775**	-0,096	0,322*	0,227	0,105	-0,149	0,004	-0,272	0,030
Toprak nemi (TN)	n = 120	n = 120	n = 120	n = 120	1	-0,476**	-0,522**	0,434**	0,768**	0,113	-0,150	-0,171	0,164	0,035	0,148	0,529**	-0,082
Mikrobiyal (bazal) solunum (S _{MB})	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	1	0,874**	0,009	-0,391**	0,239	0,079	0,352*	0,184	-0,450	-0,001	-0,278	-0,019
Metabolik katsayı (qCO ₂)	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	1	-0,378*	-0,438**	0,026	-0,042	0,184	0,000	-0,260	0,004	-0,323*	-0,022
Mikrobiyal karbon (C _M)	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	1	0,348*	0,357*	0,242	0,164	0,386**	-0,215	0,051	0,291	-0,191
Mikrobiyal azot (N _M)	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	1	0,296*	-0,113	0,020	0,204	-0,085	0,121	0,449**	0,041
Organik karbon (C _O)	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	1	0,086	0,751**	0,718**	-0,353	-0,486	0,174	0,026
Mineral azot (N _N)	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	1	0,138	0,191	0,076	0,173	-0,103	0,029
Toplam karbon (C _T)	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	1	0,736**	-0,311	-0,531*	-0,142	0,068
Toplam azot (N _T)	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	1	-0,001	-0,256	0,424**	-0,105
Kılcal Kök (K _K)	n = 30	n = 30	n = 30	n = 30	n = 30	n = 15	n = 15	n = 15	n = 15	n = 15	n = 15	n = 15	n = 15	1	0,232	0,342	0,012
İnce Kök (K _I)	n = 30	n = 30	n = 30	n = 30	n = 30	n = 15	n = 15	n = 15	n = 15	n = 15	n = 15	n = 15	n = 15	n = 30	1	0,262	0,055
pH	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 15	n = 15	1	-0,129
Kil	n = 120	n = 120	n = 120	n = 120	n = 120	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 30	n = 30	n = 45	1

3.22.2 Kayın Sahasında Uygulama Alanı Toprak Özelliklerinin Korelasyonu

Kayın sahası uygulama alanında toplam solunumun TS ($r = 0,526$), TN ($r = 0,289$) ve N_N ($r = 0,534$) ile pozitif anlamlı korelasyonu bulunmuştur. Bu alanda mikroorganizma solunumunun da TS ($r = 0,526$), TN ($r = 0,225$) ve N_N ($r = 0,532$) ile pozitif anlamlı korelasyonu bulunmuştur. Alanda toprak sıcaklığının N_N ($r = 0,822$) yanı sıra S_{MB} ($r = 0,691$) ve qCO_2 ($r = 0,625$) ile pozitif, N_M ($r = -0,649$) ile negatif anlamlı korelasyonu bulunmuştur. Toprak neminin C_M ($r = 0,387$), N_M ($r = 0,361$), C_T ($r = 0,297$), N_T ($r = 0,602$) ve kil içeriği ($r = 0,269$) ile pozitif, S_{MB} ($r = -0,304$) ve qCO_2 ($r = -0,369$) ile negatif anlamlı korelasyonu bulunmuştur.

Mikrobiyal (bazal) solunumun ise qCO_2 ($r = 0,819$) yanı sıra N_N ($r = 0,557$) ile pozitif, N_M ($r = -0,508$) ile negatif anlamlı korelasyonu bulunmuştur. Metabolik katsayının da N_N ($r = 0,451$) ile pozitif, C_M ($r = -0,571$) ve N_M ($r = -0,517$) ile negatif anlamlı korelasyonu bulunmuştur. Alanda mikrobiyal karbonun C_T ($r = 0,544$) ve N_T ($r = 0,489$) ile pozitif anlamlı korelasyonu bulunmuştur. Mikrobiyal azotun ise C_O ($r = 0,296$) ve pH ($r = 0,308$) ile pozitif, N_N ($r = -0,627$) ile negatif anlamlı korelasyonu bulunmuştur.

Toprağın organik karbonunun C_T ($r = 0,544$) ve N_T ($r = 0,489$) ile pozitif anlamlı korelasyonu bulunmuştur. Toprakta mineral azotun ise pH ($r = -0,389$) ile negatif anlamlı korelasyonu bulunmuştur Toprakta toplam karbonun ise N_T ($r = 0,763$) ile pozitif anlamlı korelasyonu bulunmuştur. Toprakaltı kılcık kök kütlesinin de pH ($r = 0,568$) ile pozitif anlamlı korelasyonu bulunmuştur. Alana ait yukarıda bahsedilen toprak özellikleri ve aralarındaki ilişkiyi gösteren korelasyon matrisi Tablo 32'de verilmiştir.

Tablo 32. Kayın sahası uygulama alanı topraklarına ait bazı özellikler ve aralarındaki ilişkiyi ve analize giren veri sayısını gösteren basit korelasyon matrisi

Toprak özellikleri	S _T	S _M	TS	TN	S _{MB}	qCO ₂	C _M	N _M	C _O	N _N	C _T	N _T	K _K	K _I	pH	Kil
Toplam solunum (S _T)	1	0,796**	0,526**	0,289**	0,232	0,202	-0,066	-0,285	-0,052	0,534**	0,020	0,100	0,038	0,187	-0,092	0,150
Mikroorganizma solunumu (S _M)	n = 120	1	0,500**	0,095	0,160	0,179	-0,168	-0,259	-0,138	0,517**	-0,041	0,007	-0,020	-0,042	-0,280	-0,015
Toprak sıcaklığı (TS)	n = 120	n = 120	1	-0,122	0,691**	0,605**	-0,204	-0,649**	-0,150	0,822**	-0,091	-0,150	0,355	-0,033	-0,214	0,019
Toprak nemi (TN)	n = 120	n = 120	n = 120	1	-0,304*	-0,369*	0,387**	0,361*	0,082	-0,205	0,297*	0,602**	-0,020	0,126	0,146	0,269**
Mikrobiyal (bazal) solunum (S _{MB})	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	1	0,819**	-0,088	-0,508**	0,178	0,557**	0,075	0,016	0,219	-0,166	-0,224	-0,033
Metabolik katsayı (qCO ₂)	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	1	-0,571**	-0,517**	0,012	0,451**	-0,156	-0,217	0,364	0,039	-0,171	-0,017
Mikrobiyal karbon (C _M)	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	1	0,288	0,181	-0,081	0,487**	0,562**	-0,314	-0,246	-0,021	-0,011
Mikrobiyal azot (N _M)	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	1	0,296*	-0,627**	0,253	0,267	0,238	0,290	0,308*	-0,210
Organik karbon (C _O)	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	1	-0,183	0,544**	0,489**	-0,277	-0,221	0,196	-0,116
Mineral azot (N _N)	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	1	-0,055	-0,041	0,137	0,464	-0,389**	0,077
Toplam karbon (C _T)	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	1	0,763**	-0,257	-0,340	0,020	-0,091
Toplam azot (N _T)	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	1	-0,240	-0,101	0,223	0,045
Kılcal Kök (K _K)	n = 30	n = 30	n = 30	n = 30	n = 15	n = 15	n = 15	n = 15	n = 15	n = 15	n = 15	n = 15	1	0,082	0,568*	-0,133
İnce Kök (K _I)	n = 30	n = 30	n = 30	n = 30	n = 15	n = 15	n = 15	n = 15	n = 15	n = 15	n = 15	n = 15	n = 30	1	0,310	0,145
pH	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 15	n = 15	1	-0,073
Kil	n = 120	n = 120	n = 120	n = 120	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 30	n = 30	n = 45	1

3.22.3 Ladin Sahasında Kontrol Alanı Toprak Özelliklerinin Korelasyonu

Ladin sahası kontrol alanında toplam solunumun TS ($r = 0,455$), qCO_2 ($r = 0,408$), N_N ($r = 0,530$) ve kil içeriği ($r = 0,222$) ile pozitif, C_M ($r = -0,610$), N_M ($r = -0,377$), C_O ($r = -0,572$) ve pH ($r = -0,299$) ile negatif anlamlı korelasyonu bulunmuştur. Bu alanda kök solunumunun TS ($r = 0,208$), qCO_2 ($r = 0,671$), N_N ($r = 0,559$), kil içeriği ($r = 0,405$) yanı sıra S_{MB} ($r = 0,471$) ile pozitif; C_M ($r = -0,566$) ve C_O ($r = -0,375$) ile negatif anlamlı korelasyonu bulunmuştur. Mikroorganizma solunumunun ise TS ($r = 0,518$), N_N ($r = 0,578$) ve qCO_2 ($r = 0,541$) yanı sıra TN ($r = 0,274$) ile pozitif, C_M ($r = -0,660$), N_M ($r = -0,375$) ve C_O ($r = -0,375$) ile negatif anlamlı korelasyonu bulunmuştur. Alanda toprak sıcaklığının qCO_2 ($r = 0,352$) ve N_N ($r = 0,713$) ile pozitif, C_M ($r = -0,574$), N_M ($r = -0,757$), C_O ($r = -0,589$) ve pH ($r = -0,551$) yanı sıra TN ($r = -0,206$) ile negatif anlamlı korelasyonu bulunmuştur. Toprak neminin N_M ($r = 0,620$), C_O ($r = 0,646$) ve pH ($r = 0,631$) ile pozitif, N_N ($r = -0,369$) ile negatif anlamlı korelasyonu bulunmuştur. Mikrobiyal (bazal) solunumun ise qCO_2 ($r = 0,705$) yanı sıra N_N ($r = 0,551$), C_T ($r = 0,470$), N_T ($r = 0,506$) ve K_K ($r = 0,535$) ile pozitif anlamlı korelasyonu bulunmuştur.

Metabolik katsayının ise N_N ($r = 0,441$) ile pozitif, C_M ($r = -0,467$) ile negatif anlamlı korelasyonu bulunmuştur. Alanda mikrobiyal karbonun N_M ($r = 0,500$) ve C_O ($r = 0,361$) ile pozitif, N_N ($r = -0,405$) ile negatif anlamlı korelasyonu bulunmuştur. Mikrobiyal azotun C_O ($r = 0,559$) yanı sıra pH ($r = 0,628$) ile pozitif, N_N ($r = -0,382$) ile negatif anlamlı korelasyonu bulunmuştur. Toprağın organik karbonunun C_T ($r = 0,406$), N_T ($r = 0,417$) ve pH ($r = 0,529$) ile pozitif, N_N ($r = -0,325$) ile negatif anlamlı korelasyonu bulunmuştur. Toprakta mineral azotun ise pH ($r = -0,350$) ile negatif anlamlı korelasyonu bulunmuştur.

Toprakta toplam karbonun ise N_T ($r = 0,892$), K_K ($r = 0,600$) ve K_i ($r = 0,550$) ile pozitif anlamlı korelasyonu bulunmuştur. Toprakta toplam azotun da K_K ($r = 0,568$) ve K_i ($r = 0,605$) yanı sıra pH ($r = 0,360$) ile pozitif anlamlı korelasyonu bulunmuştur. Alanda toprakaltı kılcal kök kütlesinin K_i ($r = 0,587$) ile pozitif anlamlı korelasyonu bulunmuştur. Alana ait yukarıda bahsedilen toprak özellikleri ve aralarındaki ilişkiyi gösteren korelasyon matrisi Tablo 33'te verilmiştir.

Tablo 33. Ladin sahası kontrol alanı topraklarına ait bazı özellikler ve aralarındaki ilişkiyi ve analize giren veri sayısını gösteren basit korelasyon matrisi.

Toprak özellikleri	S _T	S _K	S _M	TS	TN	S _{MB}	qCO ₂	C _M	N _M	C _O	N _N	C _T	N _T	K _K	K _I	pH	Kil
Toplam solunum (S _T)	1	0,573**	0,769**	0,455**	0,128	0,161	0,408**	-0,610**	-0,377*	-0,542**	0,530**	-0,057	-0,097	-0,004	-0,346	-0,299*	0,222*
Kök solunumu (S _K)	n = 120	1	0,418**	0,208*	0,102	0,471**	0,671**	-0,566**	-0,292	-0,303*	0,559**	0,092	0,096	0,046	0,014	-0,060	0,405**
Mikroorganizma solunumu (S _M)	n = 120	n = 120	1	0,518**	0,274**	0,285	0,541**	-0,642**	-0,324*	-0,312*	0,578**	-0,012	-0,006	-0,072	-0,239	-0,188	0,090
Toprak sıcaklığı (TS)	n = 120	n = 120	n = 120	1	-0,206*	0,262	0,352*	-0,574**	-0,757**	-0,589**	0,713**	0,044	-0,002	0,054	-0,043	-0,551**	0,033
Toprak nemi (TN)	n = 120	n = 120	n = 120	n = 120	1	0,005	-0,117	0,240	0,620**	0,646**	-0,369*	0,263	0,289	-0,020	0,128	0,631**	-0,009
Mikrobiyal (bazal) solunum (S _{MB})	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	1	0,705**	-0,048	0,044	0,097	0,551**	0,470**	0,506**	0,535*	0,338	0,063	0,228
Metabolik katsayı (qCO ₂)	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	1	-0,467**	-0,171	-0,113	0,441**	-0,004	0,045	0,490	0,498	-0,013	0,201
Mikrobiyal karbon (C _M)	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	1	0,500**	0,361*	-0,405**	0,152	0,078	0,139	-0,187	0,147	0,043
Mikrobiyal azot (N _M)	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	1	0,559**	-0,382**	0,129	0,261	0,467	0,208	0,628**	-0,037
Organik karbon (C _O)	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	1	-0,325*	0,406**	0,417**	0,490	0,512	0,529**	0,045
Mineral azot (N _N)	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	1	0,187	0,228	0,298	0,461	-0,350*	-0,018
Toplam karbon (C _T)	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	1	0,892**	0,600*	0,550*	0,136	0,256
Toplam azot (N _T)	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	1	0,568*	0,605*	0,360*	-0,001
Kılcal Kök (K _K)	n = 30	n = 30	n = 30	n = 30	n = 30	n = 15	n = 15	n = 15	n = 15	n = 15	n = 15	n = 15	n = 15	1	0,587**	0,378	-0,031
İnce Kök (K _I)	n = 30	n = 30	n = 30	n = 30	n = 30	n = 15	n = 15	n = 15	n = 15	n = 15	n = 15	n = 15	n = 15	n = 30	1	0,506	-0,121
pH	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 15	n = 15	1	-0,049
Kil	n = 120	n = 120	n = 120	n = 120	n = 120	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 30	n = 30	n = 45	1

3.22.4 Ladin Sahasında Uygulama Alanı Toprak Özelliklerinin Korelasyonu

Ladin sahası uygulama alanında toplam solunumun TS ($r = 0,650$), TN ($r = 0,230$), N_N ($r = 0,426$) ve K_K ($r = 0,578$) ile pozitif, pH ($r = -0,371$) ile negatif anlamlı korelasyonu bulunmuştur. Bu alanda mikroorganizma solunumunun da TS ($r = 0,570$), N_N ($r = 0,416$) ve K_K ($r = 0,631$) ile pozitif; pH ($r = -0,356$) yanı sıra C_M ($r = -0,301$) ile negatif anlamlı korelasyonu bulunmuştur. Alanda toprak sıcaklığının qCO_2 ($r = 0,440$), N_N ($r = 0,735$) ve K_K ($r = 0,539$) ile pozitif, C_M ($r = -0,615$), C_O ($r = -0,453$) ve pH ($r = -0,555$) ile negatif anlamlı korelasyonu bulunmuştur. Toprak neminin C_O ($r = 0,294$) ve C_T ($r = 0,376$) ile pozitif anlamlı korelasyonu bulunmuştur. Mikrobiyal (bazal) solunumun ise qCO_2 ($r = 0,768$) yanı sıra N_N ($r = 0,322$) ve C_T ($r = 0,338$) ile pozitif, pH ($r = -0,379$) ile negatif anlamlı korelasyonu bulunmuştur. Metabolik katsayısının ise N_N ($r = 0,453$) yanı sıra kil içeriği ($r = 0,307$) ile pozitif, C_M ($r = -0,591$), N_M ($r = -0,346$) ve pH ($r = -0,460$) ile negatif anlamlı korelasyonu bulunmuştur.

Alanda mikrobiyal karbonun N_M ($r = 0,386$), C_O ($r = 0,579$), C_T ($r = 0,315$), N_T ($r = 0,308$) ve K_K ($r = 0,615$) ile pozitif, N_N ($r = -0,416$) ve kil içeriği ($r = -0,429$) ile negatif anlamlı korelasyonu bulunmuştur. Mikrobiyal azotun ise N_N ($r = -0,320$) ile negatif anlamlı korelasyonu bulunmuştur. Toprağın organik karbonunun da C_T ($r = 0,586$) ve N_T ($r = 0,578$) ile pozitif, kil içeriği ($r = -0,302$) ile negatif anlamlı korelasyonu bulunmuştur.

Toprakta mineral azotun da K_K ($r = 0,779$) ile pozitif, pH ($r = -0,531$) ile negatif anlamlı korelasyonu bulunmuştur. Toprakta toplam karbonun ise N_T ($r = 0,760$) ile pozitif anlamlı korelasyonu bulunmuştur. Alanda toprakaltı kılcal kök kütlesinin K_i ($r = 0,699$) ile pozitif, kil içeriği ($r = -0,439$) ile negatif anlamlı korelasyonu bulunmuştur. İnce kök kütlesinin de kil içeriği ($r = -0,396$) ile negatif anlamlı korelasyonu bulunmuştur. Alana ait yukarıda bahsedilen toprak özellikleri ve aralarındaki ilişkiyi gösteren korelasyon matrisi Tablo 34'te verilmiştir.

Tablo 34. Ladin sahası uygulama alanı topraklarına ait bazı özellikler ve aralarındaki ilişkiyi ve analize giren veri sayısını gösteren basit korelasyon matrisi

Toprak özellikleri	S _T	S _M	TS	TN	S _{MB}	qCO ₂	C _M	N _M	C _O	N _N	C _T	N _T	K _K	K _I	pH	Kil
Toplam solunum (S _T)	1	0,872**	0,650**	0,210*	0,114	0,148	-0,237	0,101	-0,090	0,426**	-0,182	-0,115	0,578**	0,137	-0,371*	-0,120
Mikroorganizma solunumu (S _M)	n = 120	1	0,570**	0,116	0,102	0,193	-0,301*	0,124	-0,145	0,416**	-0,208	-0,152	0,631**	0,161	-0,356*	-0,040
Toprak sıcaklığı (TS)	n = 120	n = 120	1	-0,032	0,203	0,440**	-0,615**	-0,264	-0,453**	0,735**	-0,284	-0,196	0,539**	0,140	-0,555**	0,027
Toprak nemi (TN)	n = 120	n = 120	n = 120	1	0,040	-0,159	0,225	0,197	0,294*	-0,108	0,376*	0,265	0,260	-0,057	0,175	0,103
Mikrobiyal (bazal) solunum (S _{MB})	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	1	0,768**	-0,073	-0,141	0,062	0,322*	0,338*	0,195	0,126	-0,310	-0,379*	0,074
Metabolik katsayı (qCO ₂)	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	1	-0,591**	-0,346*	-0,243	0,453**	0,093	-0,021	-0,243	-0,424	-0,460**	0,307*
Mikrobiyal karbon (C _M)	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	1	0,386**	0,579**	-0,416**	0,315*	0,308*	0,615*	0,254	0,248	-0,429**
Mikrobiyal azot (N _M)	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	1	0,198	-0,320*	0,086	0,114	0,030	-0,260	0,162	-0,150
Organik karbon (C _O)	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	1	-0,266	0,586**	0,578**	0,393	-0,018	0,233	-0,302*
Mineral azot (N _N)	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	1	-0,227	-0,050	0,779**	0,367	-0,531**	-0,037
Toplam karbon (C _T)	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	1	0,760**	0,106	-0,195	0,090	-0,107
Toplam azot (N _T)	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	1	0,174	-0,118	0,148	-0,288
Kılcal Kök (K _K)	n = 30	n = 30	n = 30	n = 30	n = 15	n = 15	n = 15	n = 15	n = 15	n = 15	n = 15	n = 15	1	0,699**	-0,199	-0,439*
İnce Kök (K _I)	n = 30	n = 30	n = 30	n = 30	n = 15	n = 15	n = 15	n = 15	n = 15	n = 15	n = 15	n = 15	n = 30	1	0,160	-0,396*
pH	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 15	n = 15	1	0,243
Kil	n = 120	n = 120	n = 120	n = 120	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 45	n = 30	n = 30	n = 45	1

3.22.5 2019 Yılına İlişkin Korelasyon Analizi Bulguları

Kayın sahası kontrol alanında toplam solunumun TS ($r = 0,711$) ile pozitif anlamlı korelasyonu; TN ($r = -0,305$) ile negatif anlamlı korelasyonu bulunmuştur. Bu alanda kök solunumunun da TS ($r = 0,612$) ile pozitif anlamlı; TN ($r = -0,282$) ile negatif anlamlı korelasyonu bulunmuştur. Mikroorganizma solunumunun ise TS ($r = 0,720$) ile pozitif, TN ($r = -0,279$) ile negatif anlamlı korelasyonu bulunmuştur. Alanda toprak sıcaklığının TN ($r = -0,615$) ile negatif anlamlı korelasyonu bulunmuştur. Kılcal kök kütlesinin K_i ($r = 0,465$) ile pozitif anlamlı korelasyonu bulunmuştur (Tablo 35).

Tablo 35. 2019 yılı için kayın sahası kontrol alanı topraklarına ait bazı özellikler ve aralarındaki ilişkiyi ve analize giren veri sayısını gösteren basit korelasyon matrisi

		S_T	S_K	S_M	TS	TN	K_K	K_i
Toplam solunum (S_T)	Korelasyon	1	0,951**	0,767**	0,711**	-0,305*	-0,197	-0,017
	N	69	69	69	69	69	30	30
Kök solunumu (S_K)	Korelasyon	0,951**	1	0,565**	0,612**	-0,282*	-0,166	-0,117
	N	69	69	69	69	69	30	30
Mikroorganizma solunumu (S_M)	Korelasyon	0,767**	0,565**	1	0,720**	-0,279*	-0,006	0,277
	N	69	69	69	69	69	30	30
Toprak sıcaklığı (TS)	Korelasyon	0,711**	0,612**	0,720**	1	-0,615**	-0,294	-0,263
	N	69	69	69	69	69	30	30
Toprak nemi (TN)	Korelasyon	-0,305*	-0,282*	-0,279*	-0,615**	1	-0,201	0,011
	N	69	69	69	69	75	30	30
Kılcal Kök (K_K)	Korelasyon	-0,197	-0,166	-0,006	-0,294	-0,201	1	0,465**
	N	30	30	30	30	30	30	30
İnce Kök (K_i)	Korelasyon	-0,017	-0,117	0,277	-0,263	0,011	0,465**	1
	N	30	30	30	30	30	30	30

Kayın sahası uygulama alanında toplam solunumun TS ($r = 0,650$) ile pozitif anlamlı korelasyonu bulunmuştur. Bu alanda Mikroorganizma solunumunun TS ($r = 0,718$) ile pozitif anlamlı korelasyonu bulunmuştur. Alanda toprak sıcaklığının TN ($r = -0,242$) ile negatif anlamlı korelasyonu bulunmuştur. Ayrıca Kılcal kök kütlesinin K_i ($r = 0,593$) ile pozitif anlamlı korelasyonu bulunmuştur (Tablo 36).

Tablo 36. 2019 yılı için kayın sahası uygulama alanı topraklarına ait bazı özellikler ve aralarındaki ilişkiyi ve analize giren veri sayısını gösteren basit korelasyon matrisi

		S _T	S _M	TS	TN	K _K	K _i
Toplam solunum (S _T)	Korelasyon	1	0,950**	0,650**	,083	-0,308	-0,046
	N	69	69	69	69	30	30
Mikroorganizma solunumu (S _M)	Korelasyon	0,950**	1	0,718**	-0,073	-0,141	-0,142
	N	69	69	69	69	30	30
Toprak sıcaklığı (TS)	Korelasyon	0,650**	0,718**	1	-0,242*	0,166	-0,173
	N	69	69	69	69	30	30
Toprak nemi (TN)	Korelasyon	0,083	-0,073	-0,242*	1	-0,144	0,127
	N	69	69	69	75	30	30
Kılcal Kök (K _K)	Korelasyon	-0,308	-0,141	0,166	-0,144	1	0,593**
	N	30	30	30	30	30	30
İnce Kök (K _i)	Korelasyon	-0,046	-0,142	-0,173	0,127	0,593**	1
	N	30	30	30	30	30	30

Ladin sahası kontrol alanında toplam solunumun TS ($r = 0,745$) ile pozitif anlamlı korelasyonu bulunmuştur. Bu alanda kök solunumunun da TS ($r = 0,369$) ile pozitif anlamlı korelasyonu, Mikroorganizma solunumunun da TS ($r = 0,869$) ile pozitif anlamlı korelasyonu bulunmuştur (Tablo 37).

Tablo 37. 2019 yılı için ladin sahası kontrol alanı topraklarına ait bazı özellikler ve aralarındaki ilişkiyi ve analize giren veri sayısını gösteren basit korelasyon matrisi

		S _T	S _K	S _M	TS	TN	K _K	K _i
Toplam solunum (S _T)	Korelasyon	1	0,790**	0,783**	0,745**	0,030	-0,279	-0,083
	N	75	75	75	75	75	27	28
Kök solunumu (S _K)	Korelasyon	0,790**	1	0,292*	0,369**	0,030	-0,309	-0,163
	N	75	75	75	75	75	27	28
Mikroorganizma solunumu (S _M)	Korelasyon	0,783**	0,292*	1	0,869**	-0,019	-0,116	0,070
	N	75	75	75	75	75	27	28
Toprak sıcaklığı (TS)	Korelasyon	0,745**	0,369**	0,869**	1	-0,182	-0,254	0,043
	N	75	75	75	75	75	27	28
Toprak nemi (TN)	Korelasyon	0,030	0,030	-0,019	-0,182	1	-0,238	0,273
	N	75	75	75	75	75	27	28
Kılcal Kök (K _K)	Korelasyon	-0,279	-0,309	-0,116	-0,254	-0,238	1	0,186
	N	27	27	27	27	27	27	26
İnce Kök (K _i)	Korelasyon	-0,083	-0,163	0,070	0,043	0,273	0,186	1
	N	28	28	28	28	28	26	28

Ladin sahası uygulama alanında toplam solunumun TS ($r = 0,867$) ile pozitif anlamlı korelasyonu bulunmuştur. Bu alanda Mikroorganizma solunumunun da TS ($r = 0,880$) ile pozitif anlamlı korelasyonu bulunmuştur. Ayrıca Kılcal kök kütlesinin K_i ($r = 0,426$) ile pozitif anlamlı korelasyonu bulunmuştur (Tablo 38).

Tablo 38. 2019 yılı için ladin sahası uygulama alanı topraklarına ait bazı özellikler ve aralarındaki ilişkiyi ve analize giren veri sayısını gösteren basit korelasyon matrisi

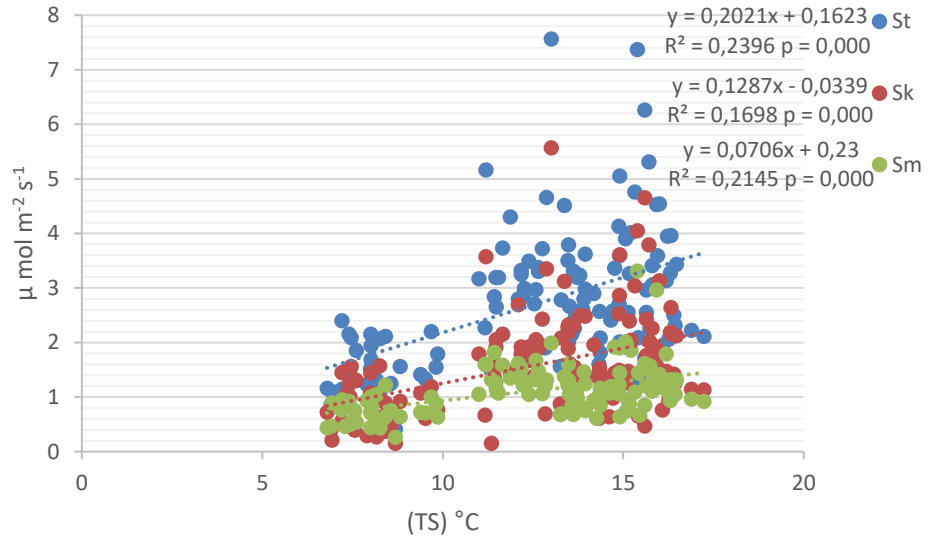
		S_T	S_M	TS	TN	K_K	K_i
Toplam solunum (S_T)	Korelasyon	1	0,974**	0,867**	0,180	0,192	-0,023
	N	75	75	75	75	29	29
Mikroorganizma solunumu (S_M)	Korelasyon	0,974**	1	0,880**	0,129	0,174	-0,102
	N	75	75	75	75	29	29
Toprak sıcaklığı (TS)	Korelasyon	0,867**	0,880**	1	0,041	0,252	0,051
	N	75	75	75	75	29	29
Toprak nemi (TN)	Korelasyon	0,180	0,129	0,041	1	0,063	0,067
	N	75	75	75	75	29	29
Kılcal Kök (K_K)	Korelasyon	0,192	0,174	0,252	0,063	1	0,426*
	N	29	29	29	29	29	28
İnce Kök (K_i)	Korelasyon	-0,023	-0,102	0,051	0,067	0,426*	1
	N	29	29	29	29	28	29

3.23 Regresyon Analizine İlişkin Bulgular

Topraktan toplam solunumun ve bileşenleri olan kök solunumu ve mikroorganizma solunumunun, korelasyon analizinde ilişkileri test edilen toprak özellikleri ile açıklanabilirliğini test etmek için regresyon analizleri yapılmıştır. Regresyon analizinde S_T , S_K ve S_M bağımlı değişken olarak, toprak özellikleri olan diğer parametreler bağımsız değişken olarak girilmiştir. Toprak özelliklerinin her biri ile S_T , S_K ve S_M 'un regresyon analizinde elde edilen anlamlı modeller ($p < 0,05$) alt başlıklar halinde verilmiştir.

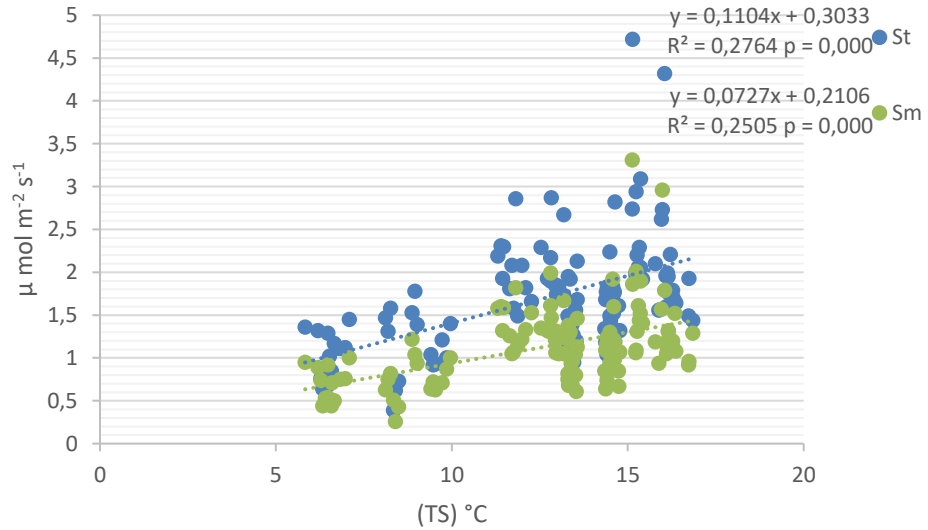
3.23.1 Toprak Solunumu ve Bileşenlerinin Toprak Sıcaklığı İle İlişkileri

Analiz sonucunda, kayın sahasının kontrol alanında S_T değişimindeki % 24'lük kısım, S_K değişimindeki % 15'lik kısım ve S_M değişimindeki % 24'lük kısım modele dâhil edilen TS'daki değişimler ile açıklanmaktadır. Bu değişimde TS'daki bir birimlik artış ile S_T 0,202 birim, S_K 0,129 birim, S_M 0,071 birim artma eğilimindedirler. Elde edilen anlamlı modele ($p < 0,05$) ilişkin grafik ve denklem Şekil 97'de verilmiştir.



Şekil 97. Kayın sahası kontrol alanında toplam solunum (St) kök solunumu (Sk) ve mikroorganizma solunumu (Sm) ile toprak sıcaklığının (TS) ilişkisi.

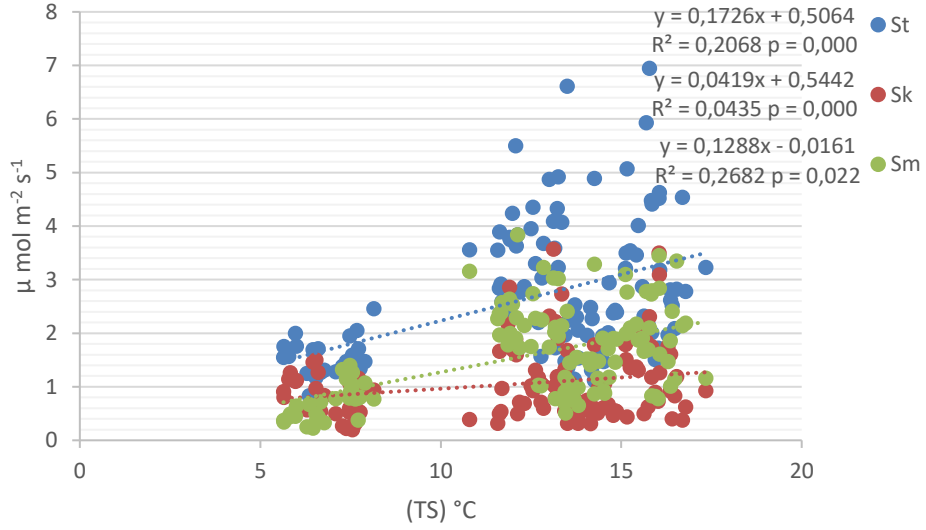
Analiz sonucunda, kayın sahasının uygulama alanında S_T değişimindeki % 28’lik kısım ve S_M değişimindeki % 28’lik kısım modele dâhil edilen T_S ’daki değişimler ile açıklanmaktadır. Bu değişimde T_S ’daki bir birimlik artış ile S_T 0,110 birim, S_M 0,073 birim artma eğilimindedirler. Elde edilen anlamlı modele ($p < 0,05$) ilişkin grafik ve denklem Şekil 98’de verilmiştir.



Şekil 98. Kayın sahası uygulama alanında toplam solunum (St) ve mikroorganizma solunumu (Sm) ile toprak sıcaklığının (TS) ilişkisi.

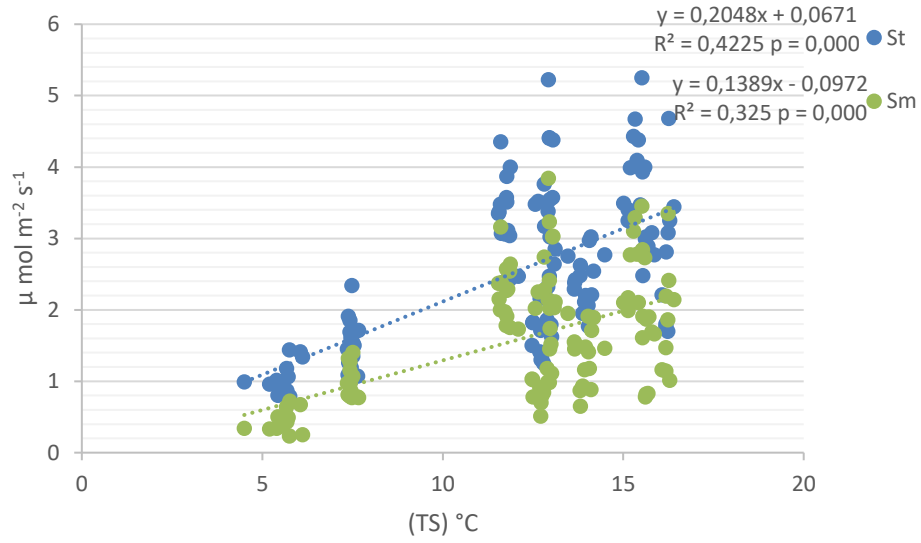
Ladin sahasının kontrol alanında S_T değişimindeki % 21’lik kısım, S_K değişimindeki % 4’lük kısım ve S_M değişimindeki % 27’lik kısım modele dâhil edilen T_S ’ndaki

değişimler ile açıklanmaktadır. Bu değişimde TS'ndaki bir birimlik artış ile S_T 0,173 birim, S_K 0,042 birim, S_M 0,129 birim artma eğilimindedirler. Elde edilen anlamlı modele ($p < 0,05$) ilişkin grafik ve denklem Şekil 99'da verilmiştir.



Şekil 99. Ladin sahası kontrol alanında toplam solunum (S_T) kök solunumu (S_K) ve mikroorganizma solunumu (S_M) ile toprak sıcaklığının (TS) ilişkisi.

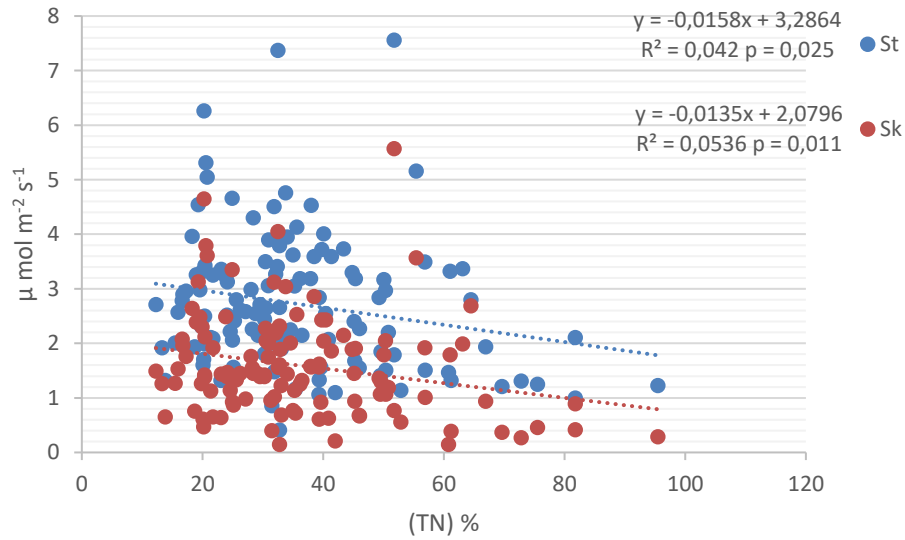
Ladin sahasının uygulama alanında S_T değişimindeki % 42'lik kısım ve S_M değişimindeki % 33'lük kısım modele dâhil edilen TS'daki değişimler ile açıklanmaktadır. Bu değişimde TS'daki bir birimlik artış ile S_T 0,205 birim, S_M 0,139 birim artma eğilimindedirler. Elde edilen anlamlı modele ($p < 0,05$) ilişkin grafik ve denklem Şekil 100'de verilmiştir.



Şekil 100. Ladin sahası uygulama alanında toplam solunum (St) ve mikroorganizma solunumu (Sm) ile toprak sıcaklığının (TS) ilişkisi

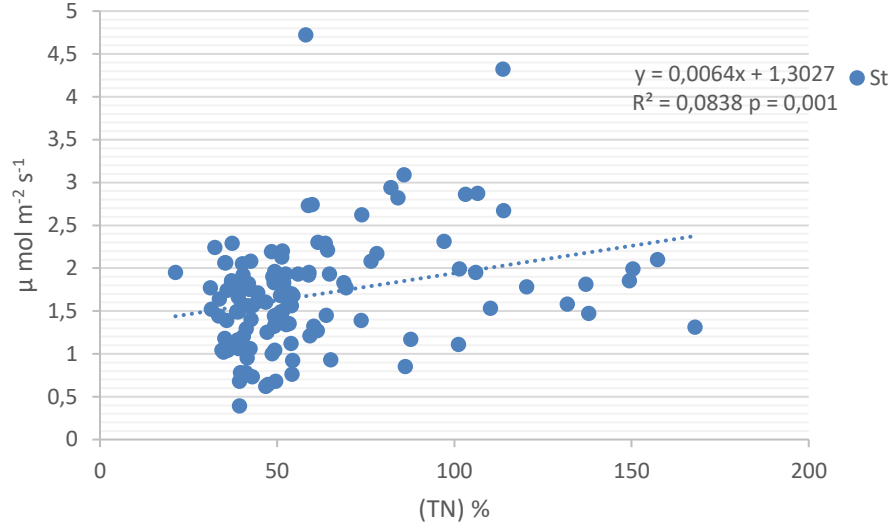
3.23.2 Toprak Solunumu ve Bileşenlerinin Toprak Nemi İle İlişkileri

Analiz sonucunda, kayın sahasının kontrol alanında S_T değişimindeki % 4'lük kısım ve S_K değişimindeki % 5'lik kısım modele dâhil edilen TN'deki değişimler ile açıklanmaktadır. Bu değişimde TN'deki bir birimlik artış ile S_T 0,016 birim, S_K 0,014 birim azalma eğilimindedirler. Elde edilen anlamlı modele ($p < 0,05$) ilişkin grafik ve denklem Şekil 101'de verilmiştir



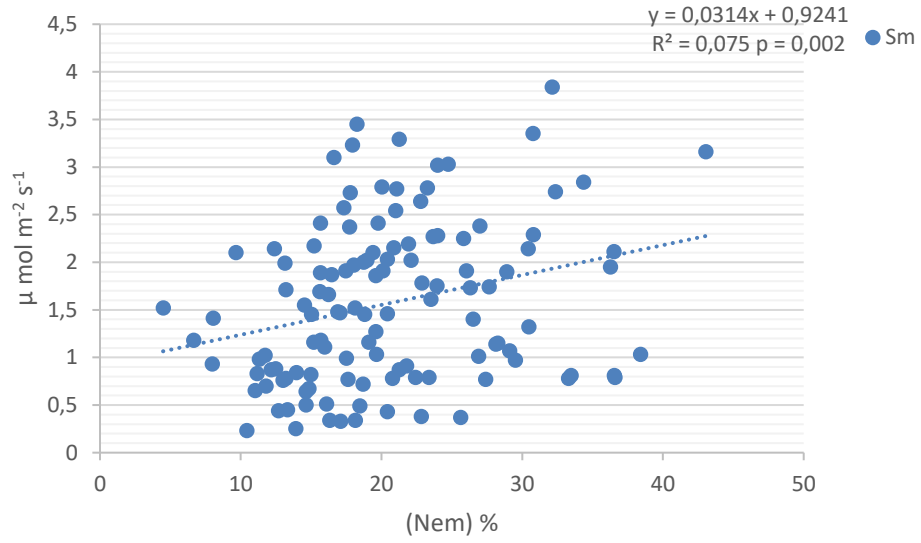
Şekil 101. Kayın sahası kontrol alanında toplam solunum (St) ve kök solunumu (Sk) ile toprak neminin (TN) ilişkisi

Kayın sahasının uygulama alanında S_T değişimindeki % 8’lik kısım modele dâhil edilen TN’deki değişimler ile açıklanmaktadır. Bu değişimde TN’deki bir birimlik artış ile S_T 0,006 birim artma eğilimindedir. Elde edilen anlamlı modele ($p < 0,05$) ilişkin grafik ve denklem Şekil 102’de verilmiştir.



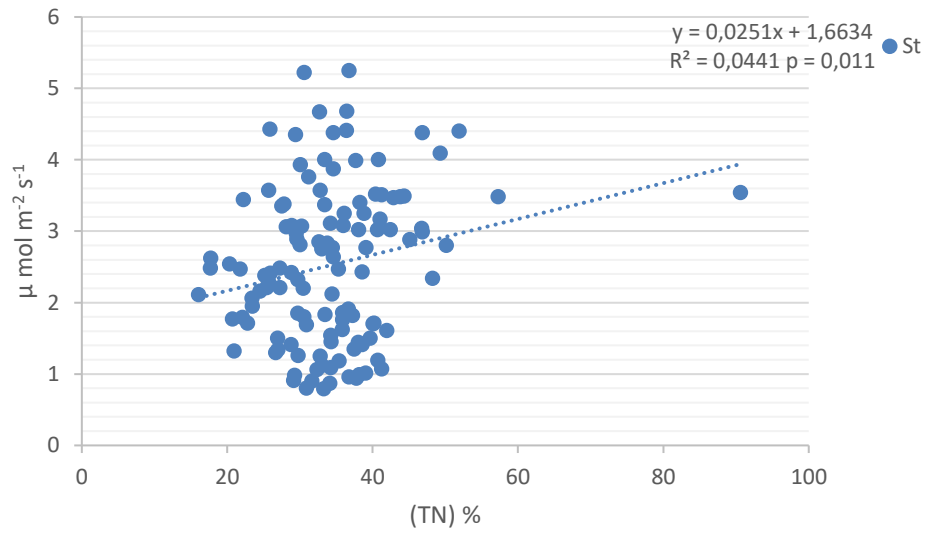
Şekil 102. Kayın sahası uygulama alanında toplam solunum (S_T) ile toprak neminin (TN) ilişkisi

Ladin sahasının kontrol alanında S_M değişimindeki % 5’lik kısım modele dâhil edilen TN’deki değişimler ile açıklanmaktadır. Bu değişimde TN’deki bir birimlik artış ile S_M 0,026 birim artma eğilimindedir. Elde edilen anlamlı modele ($p < 0,05$) ilişkin grafik ve denklem Şekil 103’te verilmiştir.



Şekil 103. Ladin sahası kontrol alanında mikroorganizma solunumu (Sm) ile toprak neminin (TN) ilişkisi.

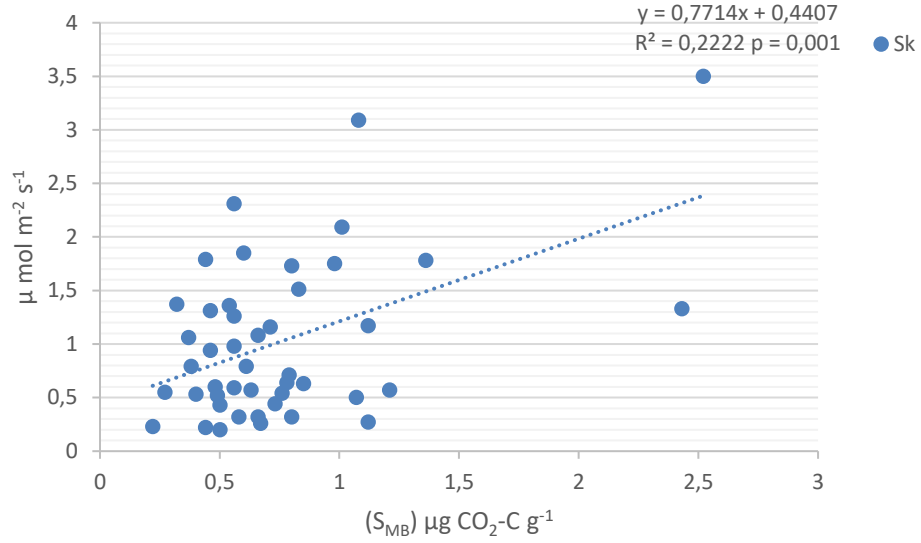
Ladin sahasının uygulama alanında S_T değişimindeki % 4'lük kısım modele dahil edilen TN'deki değişimler ile açıklanmaktadır. Bu değişimde TN'deki bir birimlik artış ile S_T 0,025 birim artma eğilimindedir. Elde edilen anlamlı modele ($p < 0,05$) ilişkin grafik ve denklem Şekil 104'te verilmiştir



Şekil 104. Ladin sahası uygulama alanında toplam solunum (S_T) ile toprak neminin (TN) ilişkisi

3.23.3 Toprak Solunumu ve Bileşenlerinin Mikrobiyal (Bazal) Solunum İle İlişkileri

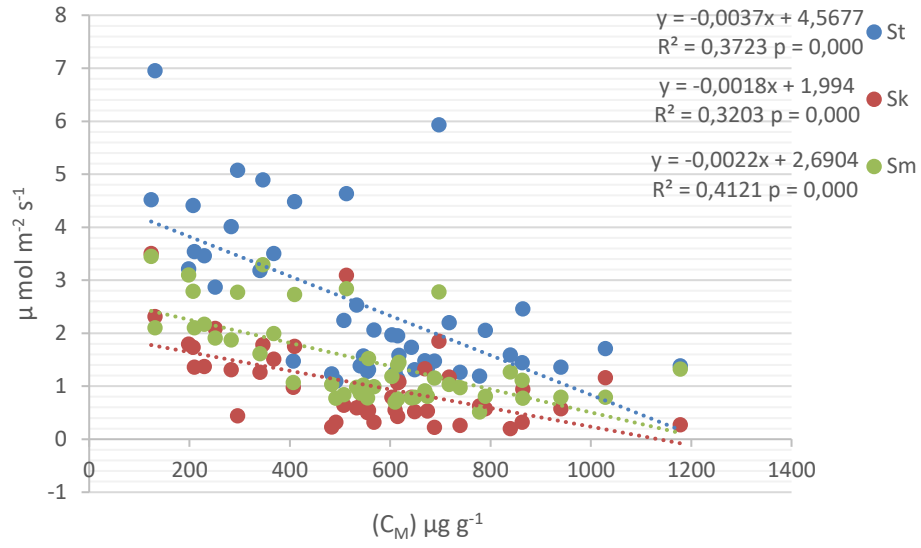
Analiz sonucunda ladin sahasının kontrol alanında S_K değişimindeki % 22'lük kısım modele dâhil edilen S_{MB} 'daki değişim ile açıklanmaktadır. Bu değişimde S_{MB} 'daki bir birimlik artış ile S_K 0,771 birim artma eğilimindedir. Elde edilen anlamlı modele ($p < 0,05$) ilişkin grafik ve denklem Şekil 105'te verilmiştir.



Şekil 105. Ladin sahası kontrol alanında kök solunumu (S_K) ile mikrobiyal (bazal) solunumun (S_{MB}) ilişkisi

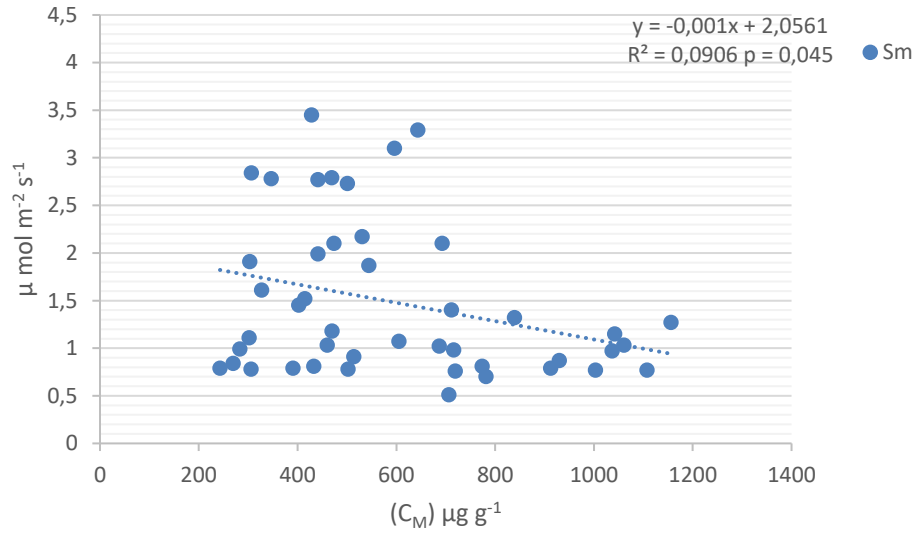
3.23.4 Toprak Solunumu ve Bileşenlerinin Mikrobiyal Karbon ile İlişkileri

Analiz sonucunda ladin sahasının kontrol alanında S_T değişimindeki % 37'lik kısım, S_K değişimindeki % 32'lik kısım ve S_M değişimindeki % 41'lik kısım modele dâhil edilen C_M 'daki değişimler ile açıklanmaktadır. Bu değişimde C_M 'daki bir birimlik artış ile S_T 0,004 birim, S_K 0,002 birim, S_M 0,002 birim azalma eğilimindedirler. Elde edilen anlamlı modele ($p < 0,05$) ilişkin grafik ve denklem Şekil 106'da verilmiştir.



Şekil 106. Ladin sahası kontrol alanında toplam solunum (St) kök solunumu (Sk) ve mikroorganizma solunumu (Sm) ile mikrobiyal karbonun (C_M) ilişkisi.

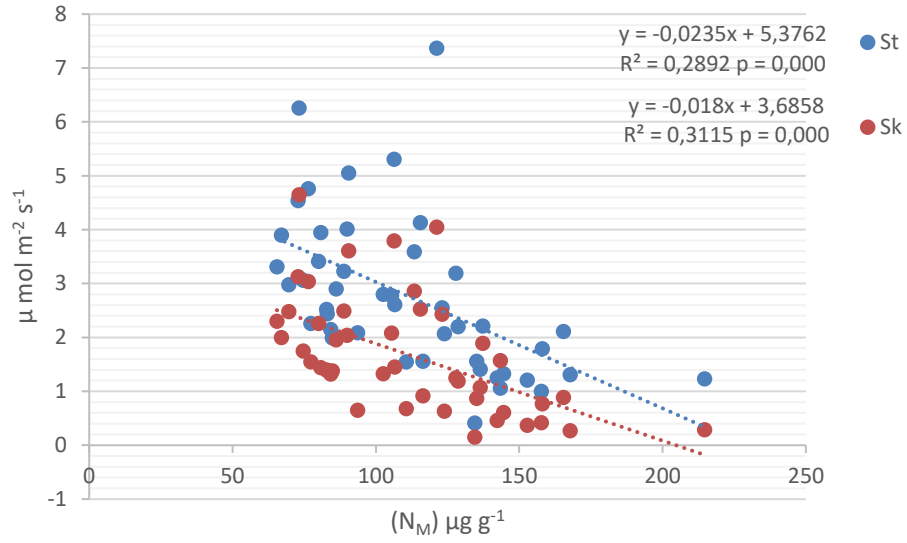
Ladin sahasının uygulama alanında S_M değişimindeki % 9'luk kısım modele dâhil edilen C_M 'daki değişim ile açıklanmaktadır. Bu değişimde C_M 'daki bir birimlik artış ile S_M 0,001 birim artma eğilimindedir. Elde edilen anlamlı modele ($p < 0,05$) ilişkin grafik ve denklem Şekil 107'de verilmiştir.



Şekil 107. Ladin sahası uygulama alanında mikroorganizma solunumu (S_M) ile mikrobiyal karbonun (C_M) ilişkisi.

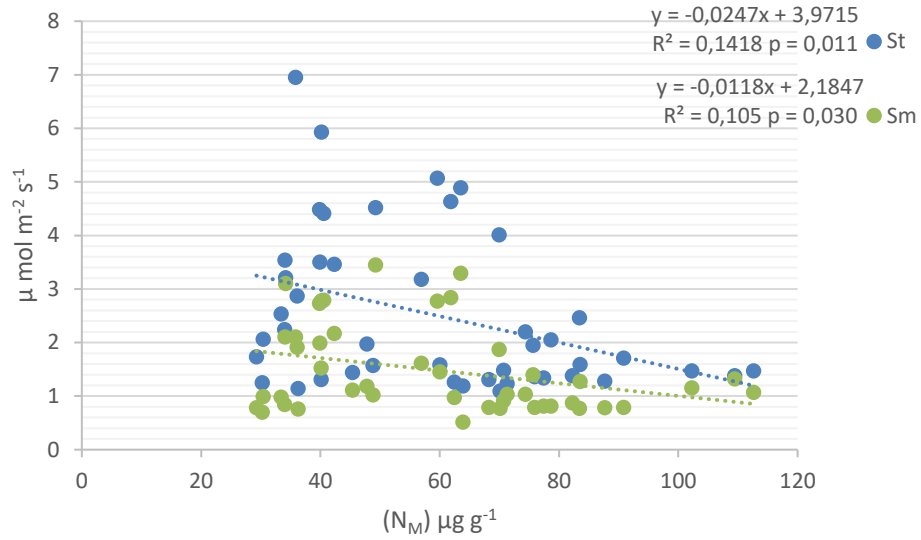
3.23.5 Toprak Solunumu ve Bileşenlerinin Mikrobiyal Azot ile İlişkileri

Analiz sonucunda kayın sahasının kontrol alanında S_T değişimindeki % 29'luk kısım ve S_K değişimindeki % 31'lik kısım modele dâhil edilen N_M 'daki değişimler ile açıklanmaktadır. Bu değişimde N_M 'daki bir birimlik artış ile S_T 0,023 birim, S_K 0,018 birim azalma eğilimindedirler. Elde edilen anlamlı modele ($p < 0,05$) ilişkin grafik ve denklem Şekil 108'de verilmiştir.



Şekil 108. Kayın sahası kontrol alanında toplam solunum (S_T) ve kök solunumu (S_K) ile mikrobiyal azotun (N_M) ilişkisi

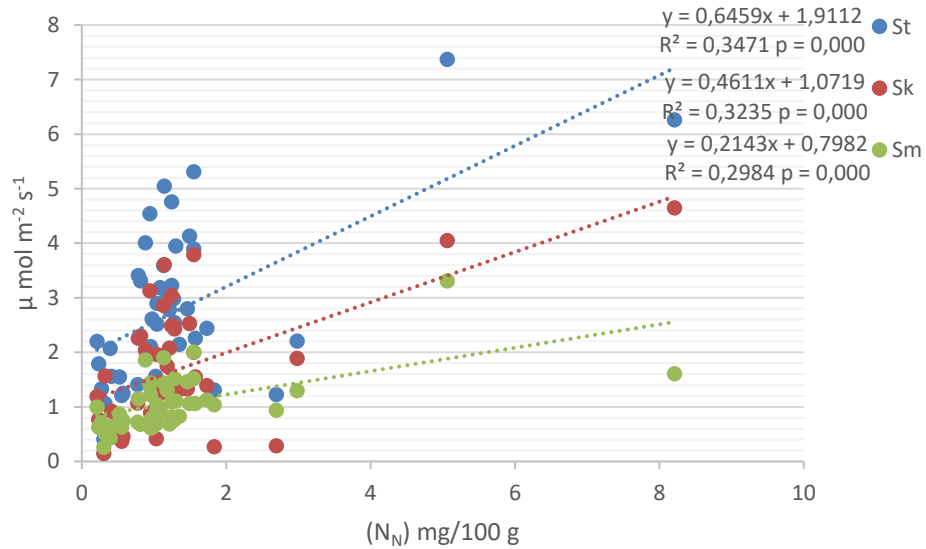
Ladin sahasının kontrol alanında S_T değişimindeki % 14'lük kısım ve S_M değişimindeki % 11'lük kısım modele dâhil edilen N_M 'daki değişimler ile açıklanmaktadır. Bu değişimde N_M 'daki bir birimlik artış ile S_T 0,025 birim, S_M 0,012 birim azalma eğilimindedirler. Elde edilen anlamlı modele ($p < 0,05$) ilişkin grafik ve denklem Şekil 109'da verilmiştir.



Şekil 109. Ladin sahası kontrol alanında toplam solunum (St) ve mikroorganizma solunumu (Sm) ile mikrobiyal azotun (N_M) ilişkisi

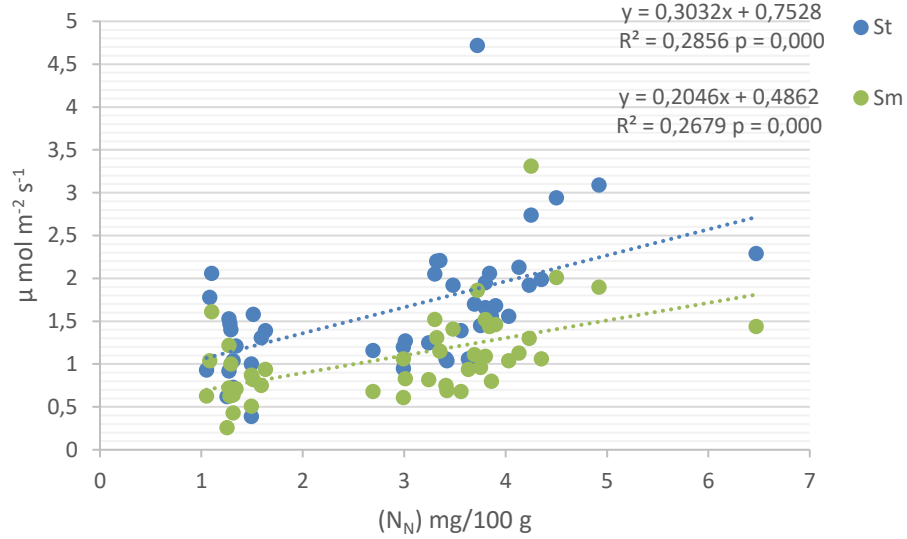
3.23.6 Toprak Solunumu ve Bileşenlerinin Mineral Azot ile İlişkileri

Analiz sonucunda, kayın sahasının kontrol alanında S_T değişimindeki % 35'lik kısım, S_K değişimindeki % 32'lik kısım ve S_M değişimindeki % 30'luk kısım modele dâhil edilen N_N 'daki değişimler ile açıklanmaktadır. Bu değişimde N_N 'daki bir birimlik artış ile S_T 0,646 birim, S_K 0,461 birim, S_M 0,214 birim artma eğilimindedirler. Elde edilen anlamlı modele ($p < 0,05$) ilişkin grafik ve denklem Şekil 110'da verilmiştir



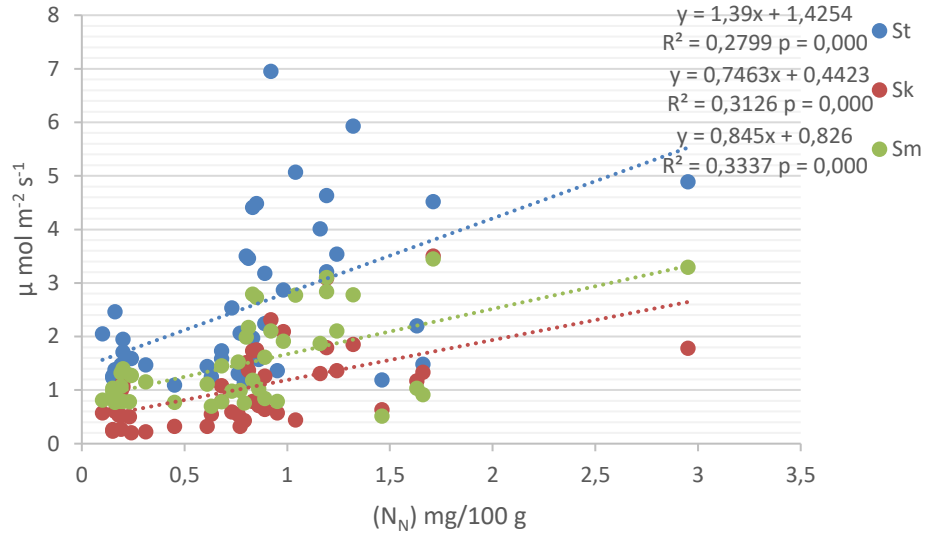
Şekil 110. Kayın sahası kontrol alanında toplam solunum (St) kök solunumu (Sk) ve mikroorganizma solunumu (Sm) ile mineral azotun (N_N) ilişkisi.

Kayın sahasının uygulama alanında S_T değişimindeki % 29'luk kısım ve S_M değişimindeki % 27'lik kısım modele dâhil edilen N_N 'daki değişimler ile açıklanmaktadır. Bu değişimde N_N 'daki bir birimlik artış ile S_T 0,303 birim, S_M 0,205 birim artma eğilimindedirler. Elde edilen anlamlı modele ($p < 0,05$) ilişkin grafik ve denklem Şekil 111'te verilmiştir



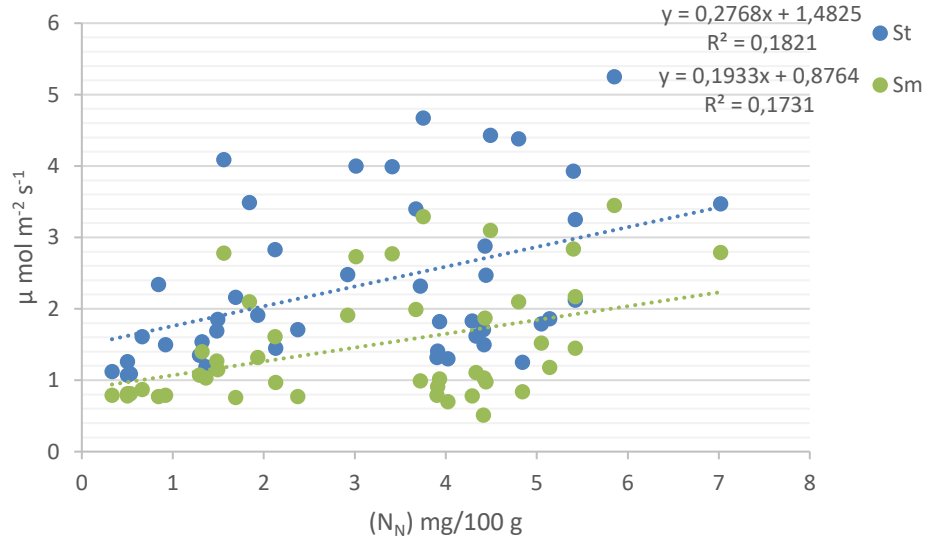
Şekil 111. Kayın sahası uygulama alanında toplam solunum (S_T) ve mikroorganizma solunumu (S_M) ile mineral azotun (N_N) ilişkisi

Ladin sahasının kontrol alanında S_T değişimindeki % 28'lik kısım, S_K değişimindeki % 31'lik kısım ve S_M değişimindeki % 33'lük kısım modele dâhil edilen N_N 'daki değişimler ile açıklanmaktadır. Bu değişimde N_N 'daki bir birimlik artış ile S_T 1,390 birim, S_K 0,748 birim, S_M 0,847 birim artma eğilimindedirler. Elde edilen anlamlı modele ($p < 0,05$) ilişkin grafik ve denklem Şekil 112'de verilmiştir.



Şekil 112. Ladin sahası kontrol alanında toplam solunum (St) kök solunumu (Sk) ve mikroorganizma solunumu (Sm) ile mineral azotun (N_N) ilişkisi.

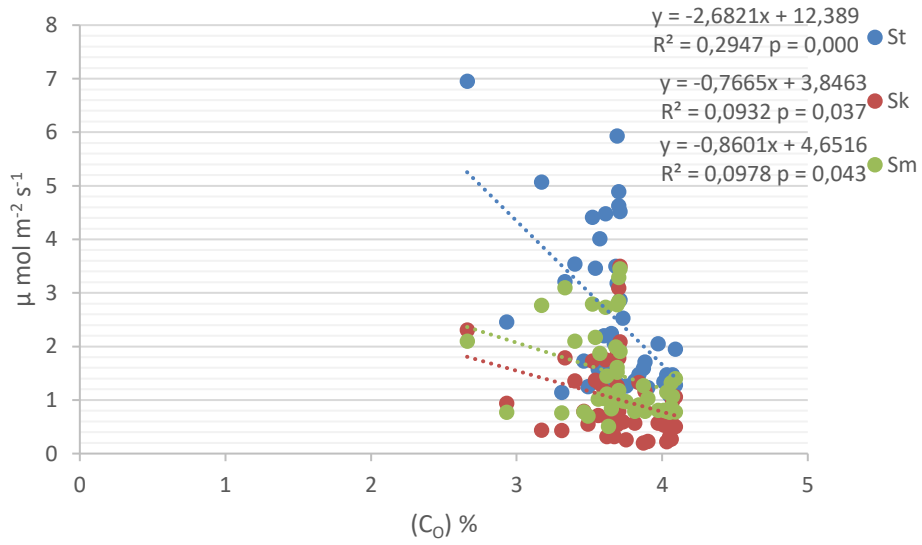
Ladin sahasının uygulama alanında S_T değişimindeki % 18'lik kısım ve S_M değişimindeki % 17'lik kısım modele dâhil edilen N_N 'daki değişimler ile açıklanmaktadır. Bu değişimde N_N 'daki bir birimlik artış ile S_T 0,277 birim, S_M 0,193 birim artma eğilimindedirler. Elde edilen anlamlı modele ($p < 0,05$) ilişkin grafik ve denklem Şekil 113'te verilmiştir.



Şekil 113. Ladin sahası uygulama alanında toplam solunum (St) ve mikroorganizma solunumu (Sm) ile mineral azotun (N_N) ilişkisi

3.23.7 Toprak Solunumu ve Bileşenlerinin Organik Karbon ile İlişkileri

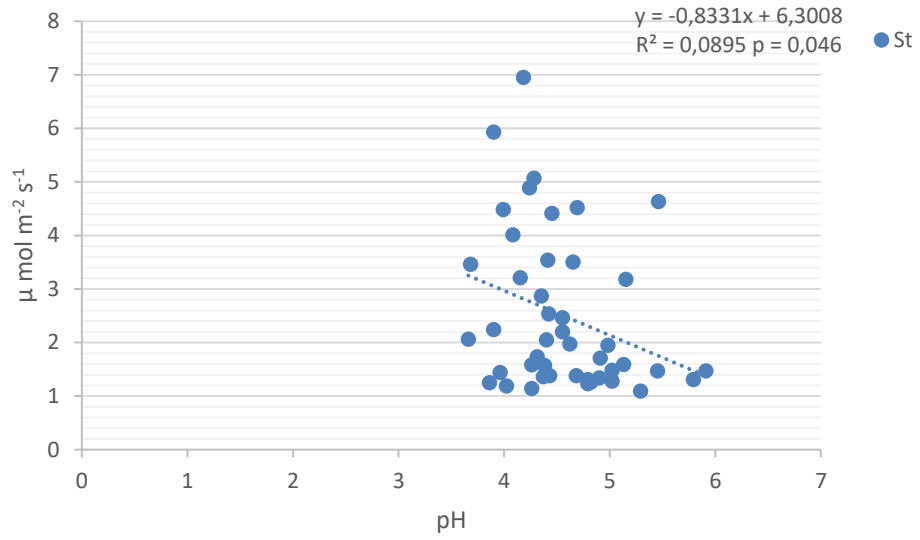
Ladin sahasının kontrol alanında S_T değişimindeki % 29'luk kısım, S_K değişimindeki % 9'luk kısım ve S_M değişimindeki % 10'luk kısım modele dâhil edilen C_O 'daki değişim ile açıklanmaktadır. Bu değişimde C_O 'daki bir birimlik artış ile S_T 2,682 birim, S_K 0,767 birim ve S_M 0,860 birim azalma eğilimindedir. Elde edilen anlamlı modele ($p < 0,05$) ilişkin grafik ve denklem Şekil 114'te verilmiştir.



Şekil 114. Ladin sahası kontrol alanında toplam solunum (S_T) ve mikroorganizma solunumu (S_M) ile organik karbonun (C_O) ilişkisi.

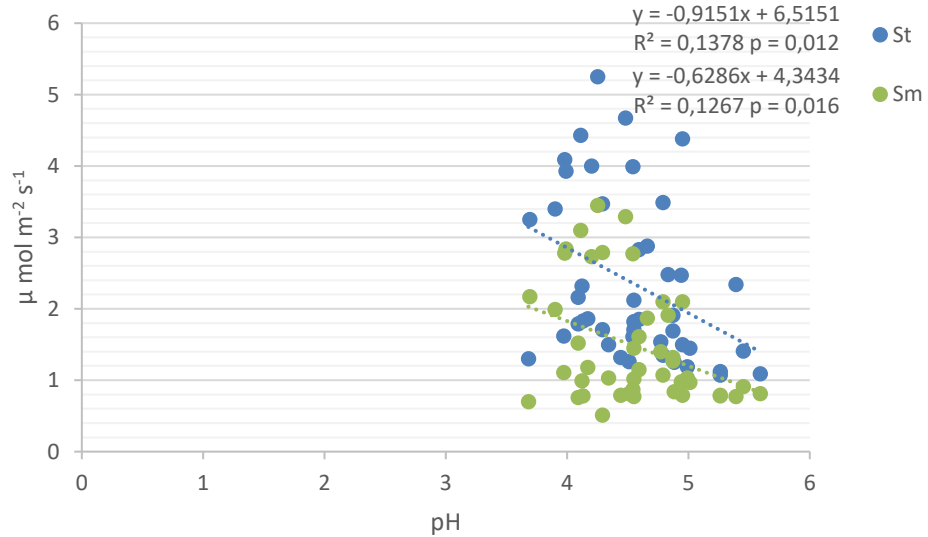
3.23.8 Toprak Solunumu ve Bileşenlerinin Toprak pH'sı ile İlişkileri

Ladin sahasının kontrol alanında S_T değişimindeki % 9'luk kısım modele dâhil edilen pH'daki değişim ile açıklanmaktadır. Bu değişimde pH'daki bir birimlik artış ile S_T 0,833 birim azalma eğilimindedir. Elde edilen anlamlı modele ($p < 0,05$) ilişkin grafik ve denklem Şekil 115'te verilmiştir.



Şekil 115. Ladin sahası kontrol alanında toplam solunum (S_T) ile toprak pH'sının ilişkisi.

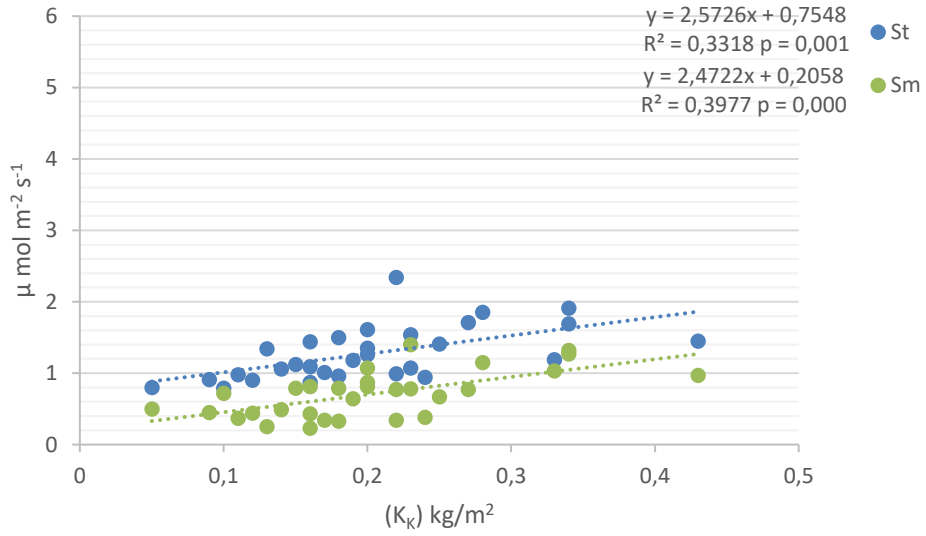
Ladin sahasının uygulama alanında S_T değişimindeki % 14'lük kısım ve S_M değişimindeki % 13'lük kısım modele dâhil edilen pH'daki değişim ile açıklanmaktadır. Bu değişimde pH'daki bir birimlik artış ile S_T 0,915 birim, S_M 0,629 birim azalma eğilimindedir. Elde edilen anlamlı modele ($p < 0,05$) ilişkin grafik ve denklem Şekil 116'da verilmiştir



Şekil 116. Ladin sahası uygulama alanında toplam solunum (S_T) ve mikroorganizma solunumu (S_M) ile toprak pH'sının ilişkisi.

3.23.9 Toprak Solunumu ve Bileşenlerinin Kılcal Kök Kütle ile İlişkileri

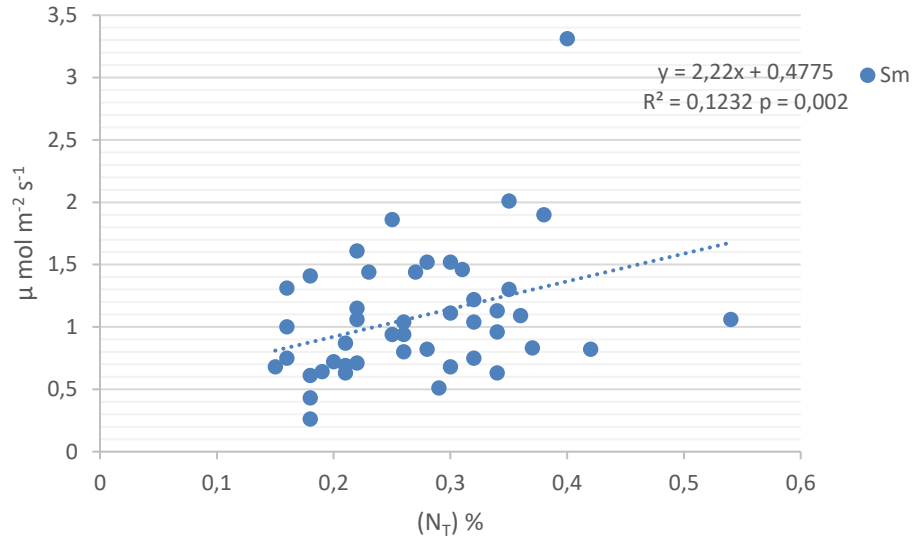
Ladin sahasının uygulama alanında S_T değişimindeki % 33'lük kısım ve S_M değişimindeki % 40'lık kısım modele dâhil edilen K_K 'daki değişimler ile açıklanmaktadır. Bu değişimde K_K 'daki bir birimlik artış ile S_T 2,572 birim, S_M 2,472 birim artma eğilimindedirler. Elde edilen anlamlı modele ($p < 0,05$) ilişkin grafik ve denklem Şekil 117'de verilmiştir.



Şekil 117. Ladin sahası uygulama alanında toplam solunum (S_T) ve mikroorganizma solunumu (S_M) ile toprakaltı kılcal kök kütlelerinin (K_K) ilişkisi

3.23.10 Toprak Solunumu ve Bileşenlerinin Toplam Azot ile İlişkileri

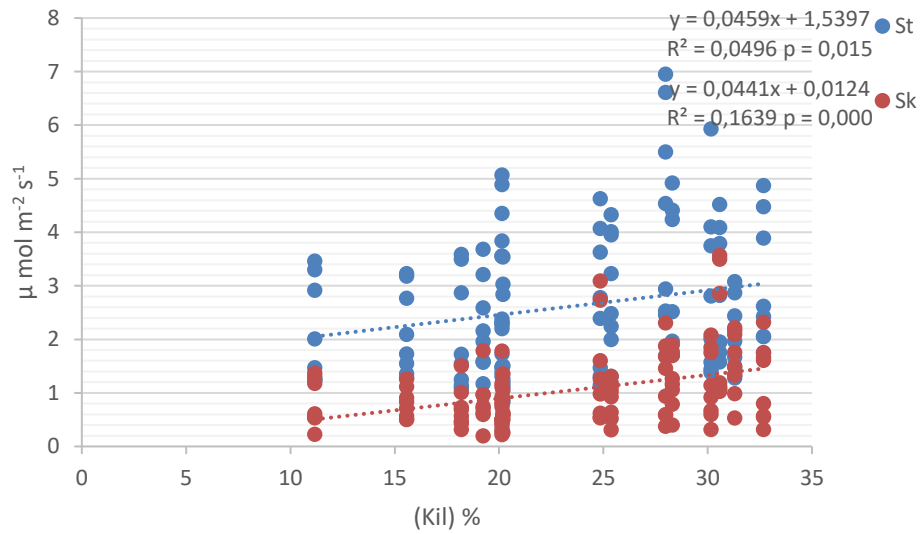
Kayın sahasının kontrol alanında S_M değişimindeki % 12'lik kısım modele dâhil edilen N_T 'daki değişim ile açıklanmaktadır. Bu değişimde N_T 'daki bir birimlik artış ile S_T 2,220 birim artma eğilimindedir. Elde edilen anlamlı modele ($p < 0,05$) ilişkin grafik ve denklem Şekil 118'de verilmiştir



Şekil 118. Kayın sahası kontrol alanında mikroorganizma solunumu (Sm) ile toplam azotun (N_T) ilişkisi.

3.23.11 Toprak Solunumu ve Bileşenlerinin Kil İçeriği ile İlişkileri

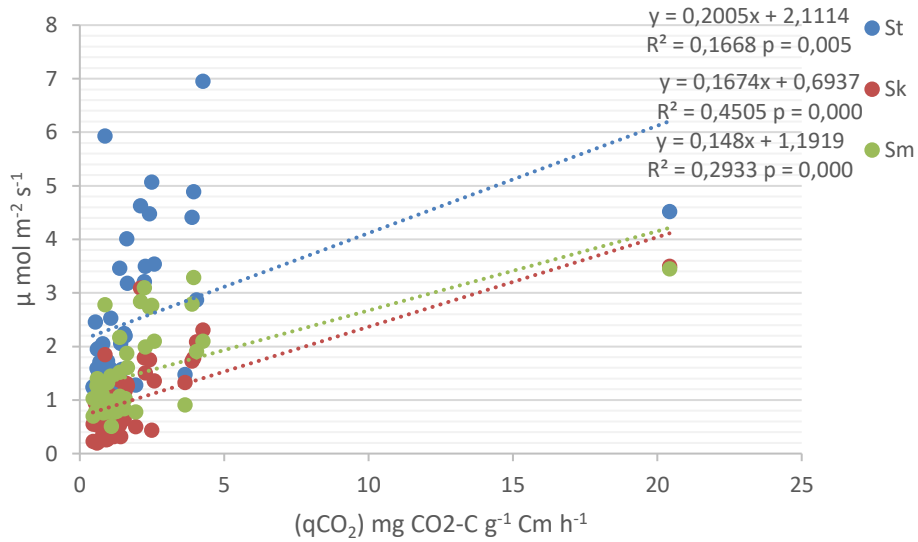
Ladin sahasının kontrol alanında S_T değişimindeki % 5'lik kısım ve S_K değişimindeki % 16'lık kısım modele dâhil edilen kil içeriğindeki değişimler ile açıklanmaktadır. Bu değişimde kil içeriğindeki bir birimlik artış ile S_T 0,046 birim, S_K 0,044 birim artma eğilimindedirler. Elde edilen anlamlı modele ($p < 0,05$) ilişkin grafik ve denklem Şekil 119'da verilmiştir



Şekil 119. Ladin sahası kontrol alanında toplam solunum (S_T) ve kök solunumu (S_K) ile kil içeriğinin ilişkisi.

3.23.12 Toprak Solunumu ve Bileşenlerinin Metabolik Katsayı ile İlişkileri

Ladin sahasının kontrol alanında S_T değişimindeki % 17'lik kısım, S_K değişimindeki % 45'lik kısım ve S_M değişimindeki % 29'luk kısım modele dâhil edilen qCO_2 'daki değişimler ile açıklanmaktadır. Bu değişimde qCO_2 'daki bir birimlik artış ile S_T 0,201 birim, S_K 0,167 birim, S_M 0,148 birim artma eğilimindedirler. Elde edilen anlamlı modele ($p < 0,05$) ilişkin grafik ve denklem Şekil 120'de verilmiştir



Şekil 120. ladin sahası kontrol alanında toplam solunum (S_T) kök solunumu (S_K) ve mikroorganizma solunumu (S_M) ile metabolik katsayının (qCO_2) ilişkisi.

3.23.13 Toprak Solunumu ve Bileşenlerinin Bazı Toprak Özellikleri ile İlişkileri

Çoklu doğrusal regresyon analizi sonucunda, kayın sahasında (kontrol alanı) S_T değişimindeki % 59'luk kısım, S_K değişimindeki % 57'lik kısım ve S_M değişimindeki % 50'lik kısım modele dâhil edilen toprak sıcaklığı (TS), toprak nemi (TN), toprak organik maddesi (TOM), toplam azot (N_T), pH ve kum ve kil içeriğindeki değişimler ile açıklanmaktadır. Bu değişkenlerdeki bir birimlik değişim ile S_T , S_K ve S_M için değişim katsayıları ve elde edilen anlamlı modele ($p < 0,05$) ilişkin denklem eşitlik 16, 17 ve 18'de verilmiştir.

$$S_T = -11,143 + 0,399TS - 0,012TN + 0,191pH + 0,908N_T + 0,143TOM + 0,076kum + 0,101kil \quad (16)$$

$$S_K = -7,879 + 0,234TS + 0,004TN + 0,428pH - 0,841N_T + 0,216TOM + 0,052kum + 0,039kil \quad (17)$$

$$S_M = -4,582 + 0,165TS + 0,014TN + 0,011pH + 0,610N_T + 0,084TOM + 0,024kum + 0,046kil \quad (18)$$

Çoklu doğrusal regresyon analizi sonucunda, ladin sahasında (kontrol alanı) S_T değişimindeki % 60'lık kısım, S_K değişimindeki % 56'lık kısım ve S_M değişimindeki % 53'lük kısım modele dâhil edilen toprak sıcaklığı (TS), toprak nemi (TN), toprak organik maddesi (TOM), toplam azot (N_T), pH ve kum ve kil içeriğindeki değişimler ile açıklanmaktadır. Bu değişkenlerdeki bir birimlik değişim ile S_T , S_K ve S_M için değişim katsayıları ve elde edilen anlamlı modele ($p < 0,05$) ilişkin denklem eşitlik 19, 20, 21'de verilmiştir.

$$S_T = 6,354 + 0,293TS + 0,090TN + 0,110pH - 0,716N_T - 1,256TOM - 0,033kum + 0,010kil \quad (19)$$

$$S_K = -4,609 + 0,172TS + 0,031TN + 0,461pH - 0,277N_T - 0,217TOM + 0,016kum + 0,045kil \quad (20)$$

$$S_M = 0,153 + 0,229TS + 0,045TN + 0,203pH - 1,266N_T - 0,140TOM - 0,027kum - 0,015kil \quad (21)$$

Çoklu doğrusal regresyon analizi sonucunda, kayın sahasında (kontrol alanı) S_T değişimindeki % 71'lik kısım, S_K değişimindeki % 69'luk kısım ve S_M değişimindeki % 58'lik kısım modele dâhil edilen toprak sıcaklığı (TS), toprak nemi (TN), mikrobiyal karbon (C_M), mikrobiyal azot (N_M), mineral azot (N_N), organik karbon (C_O), toplam karbon (C_T) ve toplam azot (N_T) içeriğindeki değişimler ile açıklanmaktadır. Bu değişkenlerdeki bir birimlik değişim ile S_T , S_K ve S_M için değişim katsayıları ve elde edilen anlamlı modele ($p < 0,05$) ilişkin denklem eşitlik 22,23 ve 24'te verilmiştir.

$$S_T = -1,295 + 0,277TS + 0,012TN - 0,001C_M - 0,007N_M + 0,477N_N + 0,243C_O - 0,056C_T + 1,555N_T \quad (22)$$

$$S_K = -0,423 + 0,157TS - 0,005TN - 0,001C_M - 0,003N_M + 0,359N_N + 0,228C_O - 0,075C_T + 0,860N_T \quad (23)$$

$$S_M = -2,031 + 0,150TS + 0,008TN + [9,364E-5]C_M + 0,002N_M + 0,122N_N + 0,149C_O - 0,066C_T + 0,695N_T \quad (24)$$

Çoklu doğrusal regresyon analizi sonucunda, ladin sahasında (kontrol alanı) S_T değişimindeki % 69'luk kısım, S_K değişimindeki % 56'lık kısım ve S_M değişimindeki % 65'lik kısım modele dâhil edilen toprak sıcaklığı (TS), toprak nemi (TN), mikrobiyal karbon (C_M), mikrobiyal azot (N_M), mineral azot (N_N), organik karbon (C_O), toplam karbon (C_T) ve toplam azot (N_T) içeriğindeki değişimler ile

açıklanmaktadır. Bu değişkenlerdeki bir birimlik değişim ile S_T , S_K ve S_M için değişim katsayıları ve elde edilen anlamlı modele ($p < 0,05$) ilişkin denklem eşitlik 25, 26 ve 27’de verilmiştir.

$$S_T = 6,069 + 0,213TS + 0,053TN - 0,003C_M + 0,027N_M + 0,432N_N - 2,116C_O - 0,403C_T - 9,876N_T \quad (25)$$

$$S_K = -0,359 + 0,130TS + 0,023TN - 0,001C_M + 0,012N_M + 0,254N_N - 0,276C_O + 0,107C_T - 2,412N_T \quad (26)$$

$$S_M = -0,358 + 0,142TS + 0,034TN - 0,001C_M + 0,012N_M + 0,369N_N - 0,122C_O + 0,059C_T - 2,912N_T \quad (27)$$

3.23.14 2019 Yılına İlişkin Regresyon Analizi Bulgular

2019 yılına ait verilerin çoklu doğrusal regresyon analizi sonucunda, kayın sahasında (kontrol alanı) S_T değişimindeki % 43’lük kısım ve S_M değişimindeki % 47’lik kısım modele dâhil edilen toprak sıcaklığı (TS), toprak nemi (TN), kılcal kök kütlesi (K_K) ve ince kök kütlesindeki (K_I) değişimler ile açıklanmaktadır. Bu değişkenlerdeki bir birimlik değişim ile S_T , S_K ve S_M için değişim katsayıları ve elde edilen anlamlı modele ($p < 0,05$) ilişkin denklemler eşitlik 28 ve 29’da verilmiştir.

$$S_T = -1,868 + 0,421TS + 0,009TN - 0,0003K_K + 0,001K_I \quad (28)$$

$$S_M = -1,334 + 0,181TS + 0,008TN + 0,0001K_K + 0,001K_I \quad (29)$$

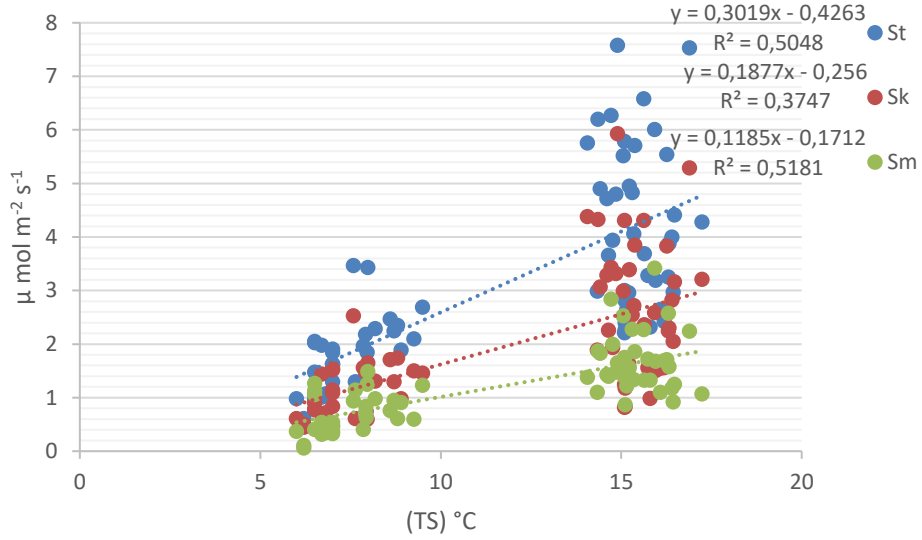
2019 yılına ait verilerin çoklu doğrusal regresyon analizi sonucunda, ladin sahasında (kontrol alanı) S_T değişimindeki % 77’lik kısım, S_K değişimindeki % 49’luk kısım ve S_M değişimindeki % 81’lik kısım modele dâhil edilen toprak sıcaklığı (TS), toprak nemi (TN), kılcal kök kütlesi (K_K) ve ince kök kütlesindeki (K_I) değişimler ile açıklanmaktadır. Bu değişkenlerdeki bir birimlik değişim ile S_T , S_K ve S_M için değişim katsayıları ve elde edilen anlamlı modele ($p < 0,05$) ilişkin denklemler eşitlik 30, 31, 32’de verilmiştir.

$$S_T = -1,854 + 0,392TS + 0,043TN - 0,0001K_K - 0,001K_I \quad (30)$$

$$S_K = -0,570 + 0,222TS + 0,008TN - 0,0004K_K - 0,001K_I \quad (31)$$

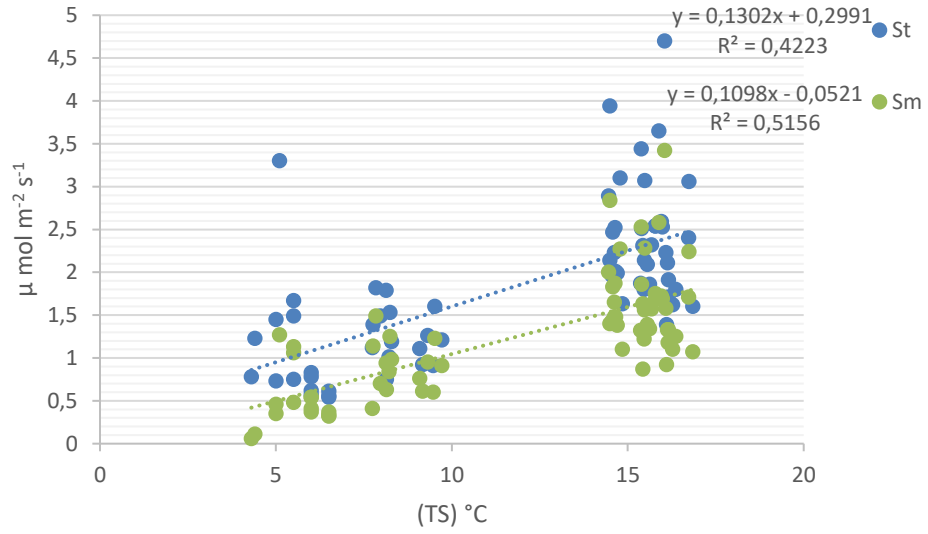
$$S_M = -1,491 + 0,216TS + 0,025TN + 0,0004K_K - 0,0002K_I \quad (32)$$

2019 yılına ait sıcaklık ve solunum verilerinin analizi sonucunda, kayın sahasının kontrol alanında S_T değişimindeki % 50'lik kısım, S_K değişimindeki % 37'lik kısım ve S_M değişimindeki % 52'lik kısım modele dâhil edilen TS 'daki değişimler ile açıklanmaktadır. Bu değişimde TS 'daki bir birimlik artış ile S_T 0,302 birim, S_K 0,188 birim, S_M 0,119 birim artma eğilimindedirler. Elde edilen anlamlı modele ($p < 0,05$) ilişkin grafik ve denklem Şekil 121'de verilmiştir.



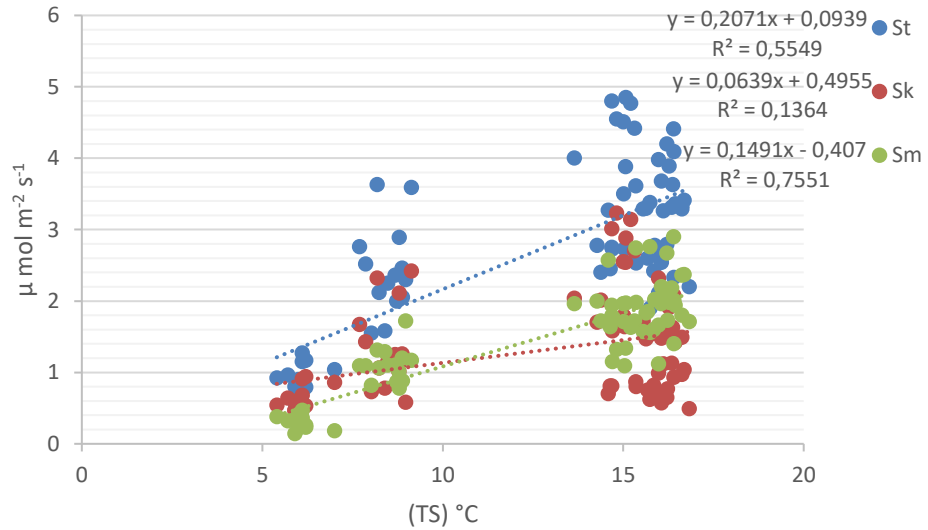
Şekil 121. Kayın sahası kontrol alanında toplam solunum (S_T) kök solunumu (S_K) ve mikroorganizma solunumu (S_M) ile toprak sıcaklığının (TS) ilişkisi.

2019 yılına ait sıcaklık ve solunum verilerinin analizi sonucunda, kayın sahasının uygulama alanında S_T değişimindeki % 42'lik kısım ve S_M değişimindeki % 52'lik kısım modele dâhil edilen TS 'daki değişimler ile açıklanmaktadır. Bu değişimde TS 'daki bir birimlik artış ile S_T 0,130 birim, S_M 0,101 birim artma eğilimindedirler. Elde edilen anlamlı modele ($p < 0,05$) ilişkin grafik ve denklem Şekil 122'de verilmiştir.



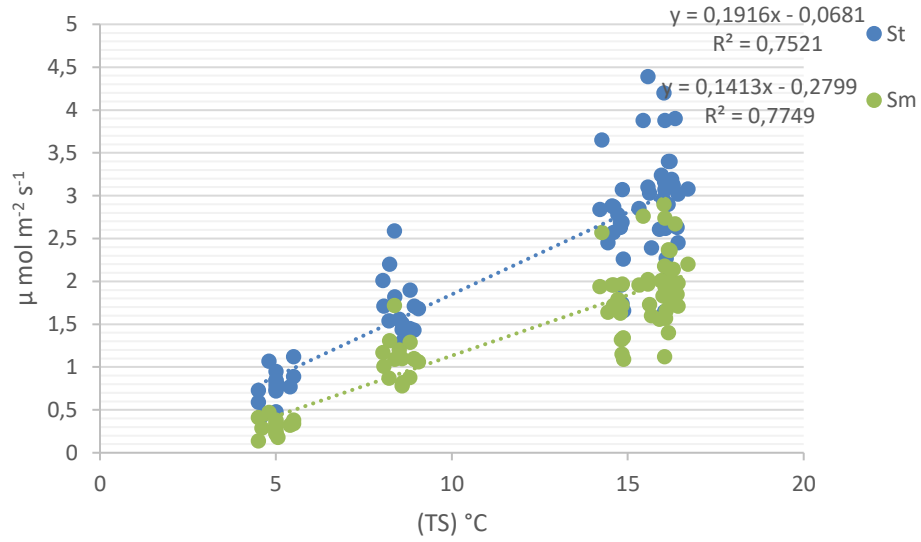
Şekil 122. Kayın sahası uygulama alanında toplam solunum (St) ve mikroorganizma solunumu (Sm) ile toprak sıcaklığının (TS) ilişkisi.

2019 yılına ait sıcaklık ve solunum verilerinin analizinde, ladin sahasının kontrol alanında S_T değişimindeki % 55’lik kısım, S_K değişimindeki % 14’lük kısım ve S_M değişimindeki % 76’lık kısım modele dâhil edilen TS’ndaki değişimler ile açıklanmaktadır. Bu değişimde TS’ndaki bir birimlik artış ile S_T 0,207 birim, S_K 0,064 birim, S_M 0,149 birim artma eğilimindedirler. Elde edilen anlamlı modele ($p < 0,05$) ilişkin grafik ve denklem Şekil 123’te verilmiştir.



Şekil 123. Ladin sahası kontrol alanında toplam solunum (St) kök solunumu (Sk) ve mikroorganizma solunumu (Sm) ile toprak sıcaklığının (TS) ilişkisi.

2019 yılına ait sıcaklık ve solunum verilerinin analizinde, ladin sahasının uygulama alanında S_T değişimindeki % 75'lik kısım ve S_M değişimindeki % 77'lik kısım modele dâhil edilen TS 'daki değişimler ile açıklanmaktadır. Bu değişimde TS 'daki bir birimlik artış ile S_T 0,192 birim, S_M 0,141 birim artma eğilimindedirler. Elde edilen anlamlı modele ($p < 0,05$) ilişkin grafik ve denklem Şekil 124'te verilmiştir.



Şekil 124. Ladin sahası uygulama alanında toplam solunum (S_T) ve mikroorganizma solunumu (S_M) ile toprak sıcaklığının (TS) ilişkisi

4 TARTIŞMA

4.1 Toprak Tekstürü

Çalışmamızda toprakların belirlenen kum, kil ve toz içerikleri için, kayın ve ladin sahaları arasında sadece kil içeriği farklılık göstermiş ve ladin sahasında anlamlı olarak daha fazla bulunmuştur. Her iki sahada uygulamanın kum, kil ve toz içeriklerine anlamlı bir etkisi olmamıştır. Her iki kayın ve ladin sahalarının toprakları için bulunan kum-kil-toz tane dağılımına göre toprak türü her ikisinde “kumlu killi balçık” olarak belirlenmiştir. Bu durum toprakların fiziksel ve kimyasal özelliklerinin bitki gelişimi için elverişli olduğunu; besin ve hava ekonomilerinin iyi olup, yüksek bir yararlanılabilir su tutma kapasitesine sahip olduklarını göstermektedir (Çepel, 2000).

Kayın sahası için bulduğumuz kum içeriği; aynı havzada yapılmış olan 750-1200 m yükselti aralığındaki ve farklı türlerin de incelendiği çalışmada (Ozalp ve ark., 2016) bulunan değerlerden (% 48,59) yüksek çıkmıştır. Ayrıca aynı çalışmadaki kil içeriği (% 31,96) çalışmamızda bulunan kil içeriğinden düşüktür.

Ladin sahamızın bulunduğu havza için yapılan bazı çalışmalarda (Akbaş, 2014; Doğan, 2012; Günlü, 2003) ladin meşçeresi bulunan mevkilerden alınan örneklerin toprak türü kumlu killi balçık olarak bulunmuştur. Bu çalışmalarda özellikle Doğan (2012)’ın bulduğu kum içeriği (% ~61) ve kil içeriği (%~20) değerleri çalışmamızla benzerlik göstermektedir.

4.2 Toprak Reaksiyonu

Çalışmamızda toprak reaksiyonu göstergesi olan pH değeri türler arasında anlamlı farklılık göstermemiştir. Kayın sahasında uygulama pH değerini Nisan ve Ekimde ve vejetasyon dönemi ortalamasında anlamlı arttırmıştır. Kayın sahasında mevsimsel olarak Nisan’dan Ekim’e kadar anlamlı bir düşüş seyri görülmüştür. Ladin sahasında uygulamanın pH değerlerine anlamlı etkisi olmamış, mevsimsel olarak Nisan’dan Temmuz’a anlamlı bir düşüş belirlenmiştir. Kayın sahasında 3,70-5,96 arasında değişen ve dolayısıyla hem orta derecede hem de şiddetli derecede asitlik sınıfına giren

pH değerlerinin ortalaması göz önüne alındığında toprak reaksiyonu uygulama etkisiyle veya mevsimsel olarak farklılık göstermiştir. Kayın sahasında vejetasyon dönemi boyunca kontrol alanı şiddetli asit reaksiyon gösterirken uygulama alanında Nisan ve Temmuz dönemlerinde orta derecede asit reaksiyon gözlenmiştir. Yine kayın sahası uygulama alanında Temmuz'da orta derece asitlikten Ekim döneminde reaksiyon şiddetli asit sınıfına dönmüştür. Ladin sahasında ise ortalama pH dikkate alındığında, orta derece asitliğin en alt sınırında ($\text{pH} = 5,0$) belirlenen nisan dönemindeki kontrol alanı toprağı hariç vejetasyon periyodu boyunca toprakta şiddetli derece asitlik gözlenmiştir. Bu durum sahalar için besin maddesi alınımını olumsuz etkileyebilecek ancak kil minerallerinin parçalanma hızını arttırabilecek bir durumdur.

Kafkasör yöresinde Ladin meşcerelerinde yapılan bir çalışmada topraklarda (0-15 cm) ortalama pH değerleri Temmuz ayında, diri örtülü yaşlı meşcerede 4,81 diri örtüsüz yaşlı meşcerede 4,32 ve genç meşcerede 4,60; Ekim ayında aynı meşcerelerde ortalama pH değerleri sırasıyla 4,87 4,56 ve 4,60 olarak bulunmuştur (Akbaş, 2014). Aynı alanda aynı meşcerelerde yapılan diğer bir çalışmada da pH değerleri aynı meşcereler için sırasıyla 4,67 4,67 ve 5,03 olarak bulunmuştur (Doğan, 2012). Yine aynı yörede ve aynı meşcerelerde yapılan daha önceki bir çalışmada ise pH değerleri sırasıyla 4,98 5,29 ve 5,41 olarak bulunmuştur (Tüfekçioğlu ve Küçük, 2004).

Kayın sahasının bulunduğu havzada yapılan bir çalışmada (Ozalp ve ark., 2016) bulunan pH değeri (5,89) bulduğumuz değerlerin oldukça üstündedir. Keza yapılan bir çalışmada (Bolat, 2011) kayın meşceresi altında bulunan toprak pH değerleri, çalışmamızdaki kayın sahası için bulduğumuz pH değerinden farklı (ilkbaharda 5,19 yazda 5,48 sonbaharda 5,00 kışta 5,33) ve genelde yüksektir. Çalışmamızda düşük pH değerleri lokal olarak fazla yağış almasından kaynaklanabilir. Nitekim Bolat (2011) güz döneminde ortalama 5,0 civarı pH değerini bulmuştur.

Bazı bölgelerde ilkbahardan sonbahara kadar toprakların pH derecesi düşmekte, sonra artmaya başlamaktadır. Bunun sebebi, vejetatif faaliyetin başlaması ile bitki köklerinin bir yandan topraktan katyonları almaları ve katyonların yerine H^+ iyonunun geçmesidir. Diğer bir sebep, köklerin ve diğer canlıların solunumu ile çıkan CO_2 'in ıslak toprakta zayıf bir asit olan H_2CO_3 'e dönüşmesidir. pH'nın kış mevsiminde yükselmesinin sebebi ise yaprak dökümü ile ayrılan ölü örtü katyonlarının toprağı

ulaşması ve vejetatif faaliyetin yavaşlaması olarak gösterilmektedir (Çepel, 2000; Kantarcı, 2000).

Kayın sahasında uygulamanın etkisiyle pH derecesinin artmasında, kökler ile bazik kationların alımı durduğundan toprak reaksiyonu asitlik derecesi azalmış olabilir.

4.3 Toprak Organik Maddesi

Çalışmamızda toprak organik maddesi (TOM) içeriği türe göre değişim göstermekle beraber TOM içeriğine uygulamanın ve mevsimselliğin etkisi her iki türün sahasında farklılık göstermiştir. TOM içeriği ladin sahasında Nisan ve Ekim’de dolayısıyla vejetasyon dönemi ortalamasında Kayına kıyasla anlamlı olarak daha fazladır. Kayın sahasında uygulamanın ve mevsimselliğin TOM içeriğine anlamlı bir etkisi olmamıştır. Ladinde ise uygulama sadece Ekim’de kontrole kıyasla anlamlı düşürmüş ve mevsimsel olarak Nisan’dan sonra anlamlı bir düşüş olmuştur.

Ladin sahamızın bulunduğu yörede aynı tür olan Doğu ladini meşcerelerinde yapılan bir çalışmada toprakların (0-15 cm) ortalama TOM içeriği Temmuz ayında, diri örtülü yaşlı meşcerede % 6,69 diri örtüsüz yaşlı meşcerede % 6,61 ve genç meşcerede % 6,26; Ekim ayında aynı meşcerelerde ortalama TOM içeriği sırasıyla % 6,74 % 6,57 ve % 6,18 olarak bulunmuştur (Akbaş, 2014). Aynı alanda yapılan diğer bir çalışmada da TOM içeriği aynı meşcereler için sırasıyla % 7,36 % 7,17 ve % 6,84 olarak bulunmuştur (Doğan, 2012). Yine aynı yörede ve aynı meşcerelerde yapılan daha önceki bir çalışmada ise TOM içeriği meşcerelerde sırasıyla % 6,11 % 7,57 ve % 6,54 olarak bulunmuştur (Tüfekçioğlu ve Küçük, 2004).

Ladin sahasında yüksek TOM bulunması alanda ölü örtünün kayın sahasına göre daha çabuk ayrışarak toprağa karışıyor olmasıdır. Yine ladin sahasında ilkbahardan yaza kadarki düşüşte organik maddenin hızlı bir ayrışması ve mineralizasyonu olabilir.

4.4 Kök Biyokütlesi

Çalışmamızın ilk yılında kılcal kök (< 2 mm) kütlesi türe göre farklılık göstermekle beraber kılcal kök kütlesine uygulamanın ve mevsimselliğin etkisi her iki türün sahasında farklılık göstermiştir. Türler arasında kılcal kök kütlesi vejetasyon dönemi

başında ve sonunda kontrol alanı için ladin sahasında kayına göre anlamlı fazladır. Kayın sahasında uygulama kılcal kök kütlesini Kasım'da anlamlı olarak azaltmıştır. Ladin sahasında ise vejetasyon başında ve sonunda uygulama kılcal kök kütlesini kontrole göre azaltmıştır. Kayın sahasında dönemsel değişim anlamlı değilken ladin sahasında uygulama alanında Nisan'a kıyasla Kasım'da anlamlı düşüş görülmüştür.

İlk yılda ince kök kütlesi (2-5 mm) ise türe göre ve örnekleme dönemine göre farklılık göstermezken uygulamanın etkisi her iki türün sahasında farklılık göstermiştir. Kayın sahasında uygulamanın ince kök kütlesine etkisi görülmezken ladin sahasında uygulama ince kök kütlesini vejetasyon periyodu başında ve sonunda kontrole kıyasla anlamlı azaltmıştır.

Çalışmamızın ilk yılında her iki türün sahasının kontrol alanlarında dönemsel değişim anlamlı görünmese de Nisan'dan Kasım'a hem kılcal hem ince kök kütlesi artış göstermiş ve dolayısıyla net kök üretimi gözlenmiştir. Uygulama alanlarında ise -kontrol alanının aksine- canlı kök olmadığından dönemsel azalma olmuş ve dolayısıyla ölü kök materyali ayrışması meydana gelmiştir. Özellikle dönemsel farkın anlamlı olduğu durumda ayrışmanın daha hızlı olduğu söylenebilir. Her bir dönemde uygulama alanında kontrol alanına kıyasla düşük kök kütlesi de ayrışma olduğunu teyit etmektedir.

Çalışmamızın ikinci yılında kılcal kök (< 2 mm) kütlesi türe göre ve dönemsel olarak anlamlı farklılık göstermemekle beraber uygulamanın etkisi ile hem Kayın hem de ladin sahasında vejetasyon başında ve sonunda kılcal kök kütlesi kontrole göre anlamlı azalmıştır. İnce kök kütlesi (2-5 mm) ise türe göre ve örnekleme dönemine göre farklılık göstermezken uygulamanın etkisi her iki türün sahasında farklılık göstermiştir. Kayın sahasında uygulama ince kök kütlesini Kasım'da kontrole kıyasla anlamlı azaltmıştır. Ladin sahasında uygulama ince kök kütlesini vejetasyon periyodu başında ve sonunda kontrole kıyasla anlamlı azaltmıştır.

Çalışmamızın ikinci yılında da her iki türün sahasının kontrol alanlarında dönemsel değişim anlamlı görünmese de Mayıs'tan Kasım'a kılcal kök kütlesi artış göstermiş ve dolayısıyla net kök üretimi gözlenmiştir. Uygulama alanlarında ise -kontrol alanının aksine- canlı kök olmadığından dönemsel azalma olmuş ve dolayısıyla ölü kök materyali ayrışması ikinci yılda da devam etmiştir. Yine önceki yıldaki gibi dönemsel

farkın anlamlı olduğu durumda ayrışmanın daha hızlı olduğu söylenebilir ve ayrıca uygulama alanında kontrol alanına kıyasla düşük kök kütlesi olduğu dönemler de ayrışma olduğunu teyit etmektedir.

İki yıllık kök kütlesi değerlerini kıyasladığımızda ikinci yılda kayın sahasındaki kontrol alanı kılcal kök miktarı ilk yıla oranla oldukça fazladır. Hatta ikinci yılda Ladindeki miktara ulaşmış ve kısmen üzerindedir. Ayrıca ladin sahasındaki uygulama alanı kılcal kök miktarı ilk yıldaki miktarın oldukça altına inmiş ve güz döneminde kontrol değerlerinin ¼'ünden daha aşağı düzeye gerilemiştir. Bu durumda ladin sahasında uygulamanın etkisi ile yaklaşık 2 yılda köklerin % 75'inden fazlası ayrışmıştır denilebilir.

Tufekcioglu ve ark. (2004) Artvin yöresinde Doğu Kayını ve Doğu Ladini meşcerelerinde yaptıkları çalışmada kılcal kök kütlesinin ladin meşceresinde anlamlı olarak daha fazla olduğunu belirtmişlerdir. Kılcal kök kütlesinin ladin meşceresinde 352 g/m² ile 1501 g/m² arasında; Kayın meşceresinde 411 g/m² ile 1452 g/m² arasında değişmekte olduğunu belirlemişlerdir.

Tüfekçioglu ve Küçük (2004) aynı yörede yapmış oldukları çalışmada Ekim ayında ölçtükleri kılcal kök kütlesini diri örtülü 90 yaşındaki ladin meşceresinde 404 g/m², diri örtüsüz 90 yaşındaki ladin meşceresinde 498 g/m², 15 yaşındaki genç ladin meşceresinde ise 564 g/m² bulmuşlardır.

Bahsedilen aynı tür ve yöredeki çalışmalar ile kıyaslanırsa kılcal kök kütlesi miktarlarımız nispeten benzer olmakla beraber daha düşük bulunmuştur. Bu farklılıkta çalışma alanlarının yükselti vs. gibi yetiştirme ortamı koşullarını değiştiren faktörler etkili olmuş olabilir. Çalışmamızda ayrıca kılcal kök ile ince kök kütlesinin pozitif korelasyonları, ağaçların su ve besin maddelerine ulaşmaları için ince kök gelişmesiyle beraber bitkiye alımı kolaylaştırmak için aynı oranda kılcal kök üretimi ile desteklendiği söylenebilir.

Díaz-Pinés ve ark. (2010) Avusturya dağ ormanındaki Avrupa ladini meşceresindeki çalışmada 2005 yılı haziranda yaptıkları hendek uygulamasından 4 ay ve 15 ay sonra kök örnekleme yapmışlardır. 4 ay sonrasında kılcal kök karbon miktarları uygulama alanında (270 g/m²) kontrol alanındakinden (230 g/m²) fazla bulunmuşken, 15 ay sonra

kılcal kök karbon miktarı uygulama alanında (190 g/m^2) kontrol alanındakinden (270 g/m^2) daha düşük miktarda bulunmuştur. Çalışmada kılcal kök uzunluğu, kılcal kök çapı ve kılcal kök hacmi uygulamadan etkilenmemiştir ve kontrol ile uygulama arasındaki kılcal kök biyokütlesindeki farklılığı Eylül 2006'da yaklaşık % 30 ve istatistiksel olarak anlamlı bulmuşlardır. Çalışmamızda hendek açma uygulaması 2017 yılı Temmuz-Eylül döneminde yapılmış ve yaklaşık 7 ay sonra kök örneklemesinde ladin sahasında uygulamanın etkisiyle kılcal kök kütlesi kontrole kıyasla azalmıştır. Kayın sahasında ise aynı sürede uygulamanın anlamlı etkisi görülmemiş, hendek açma uygulamasından yaklaşık 13 ay sonrasına denk gelen Kasım örneklemesinde kontrol alanından daha düşük kılcal kök kütlesi belirlenmiştir.

Bir Avrupa kayını meşceresinde hendek açma uygulamasından 2 yıl sonra kalan kılcal kök nekromaslarının ilk baştaki kılcal kök biyokütlesi ve nekromaslar ile karşılaştırılmasıyla alandaki kılcal köklerin % 53'ünün 2 yıl içinde kaybolduğu belirlenmiştir (Epron ve ark., 1999a). Savage ve ark. (2018) kılcal köklerin orijinal kütlelerinin % 90'ını kaybetmesinin 8 yıl alacağını önermiştir.

Elberling ve Ladegaard-Pedersen (2005) Kayın meşceresinde toprakta 80 cm derinliğe kadar yaptıkları çalışmada ortalama ($< 1 \text{ mm}$) kılcal kök kütlesini 1660 g/m^2 olarak bulmuş ilk ölçüm yaptıkları Nisan ayından son ölçümü Temmuz ayına kadar kılcal kök kütlesinin önemli ölçüde arttığını belirlemişlerdir. Leuschner ve ark. (2004) ise yaşlı bir kayın ormanı meşceresinde 40 cm derinliğe kadar $320\text{-}470 \text{ g/m}^2$ 'lik ortalama bir kök ($< 2 \text{ mm}$) biyokütlesi bulmuştur. Çalışmamızda kök örnekleme derinliği 30 cm'dir ve kayın sahası kılcal kök kütlesi bu derinliğe yakın yapılan çalışma ile benzerlik göstermektedir.

Ferréa ve ark. (2012) bir yarı doğal ormanda yaptıkları çalışmada kök yoğunluğu değerlerini $< 2 \text{ mm}$ ve $< 5 \text{ mm}$ çap sınıfı için sırasıyla $320 \pm 200 \text{ g/m}^2$ ve $560 \pm 300 \text{ g/m}^2$ olarak bulmuşlardır. Dünya çapında veri tabanı derlenerek yapılan bir çalışmada ortalama kılcal kök ($< 2 \text{ mm}$) kütlesi değeri ılıman yaprak döken ormanlarda 440 g/m^2 olarak bildirilmiştir (Jackson ve ark., 1997). Daha yakın zamanda 512 orman meşceresinin veri derlemesi yapan Finér ve ark. (2011), $< 2 \text{ mm}$ ve $< 5 \text{ mm}$ çaplı sınıfta kök kütlesini ortalama olarak sırasıyla $390 \pm 260 \text{ g/m}^2$ ve $580 \pm 410 \text{ g/m}^2$ olarak, kılcal kök sınıfı için analiz edilen 295 ve ince kök sınıfı için analiz edilen 64 ılıman ormanda

rapor etmişlerdir. Verilen değerler kılcal kök yoğunluğumuzun makul bir aralıkta olduğunu göstermektedir.

4.5 Toprak Mikrobiyal Karbonu

Çalışmamızda mikrobiyal (biyokütle) karbon (C_M) içeriği türe göre farklılık göstermekle beraber, C_M içeriğine uygulamanın ve mevsimselliğin etkisi her iki türün sahasında farklılık göstermiştir. Esasen (kontrol sahası için) ladin sahasında Kayına kıyasla -özellikle Temmuz ayında bir hızlı düşüş dolayısıyla vejetasyon dönemi ortalamasına yansıyan- anlamlı bir düşüklük vardır. Kayın sahasında uygulamanın ve mevsimselliğin etkisiyle C_M içeriğinde anlamlı bir değişim olmamıştır. Ancak ladin sahasında vejetasyon dönemi ortalamasında uygulama (esasen kontroldeki hızlı düşüşten dolayı) anlamlı arttırmış görünmekle beraber Ekim’de uygulama C_M içeriğini anlamlı azaltmıştır. Dolayısıyla ladin sahasında Nisan’da özellikle uygulama alanında diğer dönemlere kıyasla daha yüksek C_M içeriği bulunmaktadır.

Çalışmamızda bulduğumuz C_M değerleri özellikle ülkemizde bulunan değerler ile benzerlik göstermektedir. Akbaş (2014) çalışmamızdaki ladin sahamıza yakın ladin meşcerelerinde yaptığı çalışmada, C_M içeriğini 100 yaşlı meşcerede $743,80 \mu g g^{-1}$ ve 20 yaşlı meşcerede $694,00 \mu g g^{-1}$ olarak bulmuştur. Bolat (2011) kayın ve göknar sahalarının saf ve karışık meşcerelerinde yaptığı çalışmada kayın sahası topraklarında C_M içeriğini ilkbaharda $516,75 \mu g g^{-1}$ yazda $629,04 \mu g g^{-1}$ sonbaharda $650,51 \mu g g^{-1}$ olarak bulmuş ve mevsimsel olarak anlamlı bir farklılık olmadığını belirlemiştir. En yüksek C_M içeriğini göknar meşceresinde bulmuş ve saf göknar meşceresi ve karışık meşcerede mevsimler arasında anlamlı farklılık olduğunu belirlemiştir. Ayrıca ilkbaharda yaz ve sonbahara göre daha düşük C_M olduğunu vurgulamıştır. Bunun nedenleri olarak organik maddenin niteliği ve miktarı, toprak sıcaklığı ve toprağın nem içeriği sayılabileceğini ve araştırma alanı iklim verilerine göre araştırma alanında yazın dahi su noksanı olmadığını ifade etmiştir. Bu nedenle toprak sıcaklığı mikrobiyal biyokütle için çok önemli hale geldiğini yani toprak sıcaklığına bağlı olarak mikrobiyal biyokütlerde azalış veya artış meydana geldiğini belirtmiştir. Çalışmamızda C_M içeriği TS ile negatif ilişki gösterse de muhtemelen bu başka dolaylı bir etkileşimin neticesidir. Zira TOM’nin temel elementleri olan diğer karbon ve azot bileşenleri ile C_M ’un pozitif ilişkisi vardır.

Çalışmamızda türe bağlı değişimlerde sahalardaki ölü örtüden kaynaklanan organik maddenin kalite ve miktarına bağlı değişim olabilir. Zira ölü örtü durumu değişebilir karbonun (nişasta, karbonhidratlar ve aminler / amidler) çeşitliliğini ve işlevini ve türe göre toprak mikroorganizmalarının metabolik aktivitesini ve zor ayrışan karbon (polimerler) metabolizmasını etkileyebilir (Wang ve ark., 2019). Dolayısıyla türün ölü örtü bileşimi toprak çevresini ve besin alınabilirliğini değiştirerek, mikrobiyal karbon metabolizmasının fonksiyonunu etkileyebilir. Ayrıca uygulamanın etkisi ile olan değişimde, artan nem koşulları ve besin maddelerinin topraktan bitkiye kaldırılmaması etkili olmuş olabilir. Zira kayın sahasında nispeten ve Ladinde de önemli şekilde uygulama alanında C_M artmış görünmektedir. Ayrıca kayın sahasında C_M ile toprak nemi arasında pozitif ilişki söz konusudur. Mevsimsel değişimde organik maddenin azalması ile C_M miktarının azaldığını aralarındaki belirlediğimiz pozitif ilişki desteklemektedir. Nitekim Chen ve ark. (2000) tarafından orman ve mera alanlarında yapılan çalışmada organik maddenin tipi ve miktarının toprak mikrobiyal biyokütlesinde farklılıklara sebep olduğu bildirilmektedir. Başka bir çalışmada toprak sıcaklığı ve toprak neminin karbon mineralizasyon oranını, mikrobiyal biyokütlenin tür kompozisyonunu ve topraktan besin alınmasını etkileyebildiği ifade edilmektedir (Bauhus ve Khanna, 1999). Ayrıca başka bir çalışmada toprak verimliliği, mikrobiyal biyokütle, organik madde miktarı, ayrışma hızı ve azot mineralizasyonu arasında çok yakın bir ilişkinin olduğu vurgulanmaktadır (Bolat, 2011).

Pinus pinaster ormanı ve *Quercus robur* orman topraklarındaki mikrobiyal biyokütlenin mevsimsel farklılığının araştırıldığı bir çalışmada, toprakların C_M içeriklerinin mevsim, ağaç türü ve toprak tipine göre değişim gösterdiği belirtilmiştir. Çalışmada C_M 'un ortalama değerleri ilkbaharda $880 \mu g g^{-1}$, yazda $589 \mu g g^{-1}$, sonbaharda $560 \mu g g^{-1}$, kışta $787 \mu g g^{-1}$ şeklinde bulunmuş ve mevsimler arasında anlamlı fark olduğu belirlenmiştir. Çalışmada C_M 'da görülen bu değişkenliğin toprak sınıflarından ve örnekleme mevsimlerinden ileri geldiği bildirilmiştir (Díaz-Raviña ve ark., 1995).

Toprak mikroplarının çevre koşullarındaki mevsimsel değişikliklere ve substrat bulunabilirliğine reaksiyonları, muhtemelen mikrobik miktar ve topluluk yapısındaki

mevsimsel değişiklikleri açıklayabilir (Monson ve ark., 2006). Çalışmamızda mikrobiyal biyokütle ve mikrobiyal toplum yapısı uygulama ve kontrol parselleri arasında ve mevsimsel olarak özellikle ladin sahasında belirgin farklılık göstermiştir. Bu değişimde substrat alınabilirliği etkili olması muhtemeldir. Bazı araştırmacılar, yüzeysel toprak suyu içeriğindeki mevsimsel değişikliklerin mantar ve mikrobiyal biyokütleyi değiştirdiğini göstermiştir (McLean ve Huhta, 2000; Schimel ve ark., 1999). Hendek açmadan beş ay sonra bakterilerdeki hafif artış, başlangıçtaki kılcık kök ayrışmasından kaynaklanabilir (Díaz-Pinés ve ark., 2010). Kolayca ayrıştırılabilir kılcık kök karbonu ilk olarak ayrıştırıldığı için, bakteriler öncelikle bu aşamada dâhil olabilir (Kuzakov ve ark., 2000). Brant ve ark. (2006), hendek açıldıktan dört ay sonra mineral topraklardaki bakterilerde artış gözlemlemişlerdir. Çalışmamızda 7 ay sonra uygulama etkisiyle kayın sahasında nisbi artış görünse de değişim anlamlı değildi. Ladin sahasında uygulama alanındaki değişimin ise C/N oranı dikkate alındığında daha çok mantar popülasyonu değişimi olduğu sanılmaktadır.

4.6 Toprak Organik Karbonu

Çalışmamızda C₀ içeriği de türe göre değişim göstermekle beraber C₀ içeriğine uygulamanın ve mevsimselliğin etkisi her iki türün sahasında farklılık göstermiştir. C₀ içeriği ladin sahasında Nisan ve Ekim’de dolayısıyla vejetasyon dönemi genelinde Kayına kıyasla anlamlı olarak daha fazladır. Kayın sahasında uygulamanın ve mevsimselliğin C₀ içeriğine anlamlı bir etkisi olmamıştır. Ladinde de uygulamanın etkisi görülmemekle beraber mevsimsel olarak Nisan’dan sonra anlamlı bir düşüş olmuştur.

Çalışmamızda her iki sahada da toprak üzerinde TOM kaynağı olan ölü örtünün birikimi olmakla beraber bunların ayrışma hızı farklı olabileceğinden C₀ miktarı türe göre değişmektedir. Nitekim Artvin ili Genya yöresinde yapılan bir çalışmada Ladin ibrelerinin Kayın yapraklarından çok daha hızlı ayrıştığı belirtilmiştir (Sariyildiz ve ark., 2005). Aynı zamanda ölü örtünün bileşimi (lignin, selüloz, hemiselüloz vb.) ayrışma hızını etkilediğinden toprakların C₀ miktarı da değişebilmektedir. Mesela ölü örtü bileşiminde lignin miktarı arttıkça iğne ve geniş yaprakların ayrışma hızı da yavaşlamaktadır. Bartın yöresinde göknar ve kayın türlerinin saf ve karışık meşcerelerinde yapılan bir çalışmada ibre ve yapraklarda lignin miktarı en yüksek

kayında ve en düşük göknar meşceresinde bulunmuştur. Çalışmada göknar meşceresindeki ibrelerinin diğerlerine kıyasla çok daha kolay ayrıştığı ifade edilmektedir (Çakıroğlu, 2011). Bunlara binaen Ladin ibrelerinin hızlı ve kolay ayrışması nedeniyle ladin sahasına ait toprakların C_O içeriği daha fazla çıkmış olabilir. Bunun yanında ladin sahası için fazla kılcal kök kütlesi yanı sıra uygulama alanında ortaya çıkan Ladin için hızlı kök ayrışma oranı da ladin sahasında C_O içeriğinin artmasında etkili olmuş olabilir.

Bolat (2011) kayın ve göknar sahalarının saf ve karışık meşcerelerinde yaptığı çalışmada kayın sahası topraklarında (0-5 cm üst toprak) C_O içeriğini ilkbaharda % 3,26 yazda % 4,15 sonbaharda % 3,44 olarak bulmuş ve mevsimsel olarak anlamlı bir farklılık olduğunu yani ilkbaharda daha yüksek bulmuştur. Çalışmasında en yüksek C_O içeriğini göknar meşceresinde bulmuş ve ayrıca saf göknar meşceresi ve karışık meşcerede yazda diğer mevsimlere kıyasla anlamlı olarak daha düşük olduğunu belirlemiştir.

Ladin sahası topraklarının C_O'nun fazla olmasının başka bir nedeni de, toprakların kil içeriği ile alakalı olabilir. Ladin sahası topraklarının kil içeriği kayın sahasına göre daha fazladır. Toprakların kil içeriğinin C_O içeriği üzerinde oldukça etkili olduğunu ve kil içeriği arttıkça toprakların C_O içeriklerinin arttığını bazı araştırmacılar belirtmişlerdir (Brady, 1984; Foth, 1991). Zira protein molekülleri kil minerallerinin yüzeyinde absorbe edilmiş olduğundan ayrışmaya karşı direnç gösterirler. Organik maddenin böylece yavaş ayrışması neticesinde C_O toprakta birikmiş olur. Benzer şekilde, toprakların kil içeriği ile organik madde arasında pozitif bir ilişki belirlenmiştir (Coyne ve Thompson, 2006).

Çalışmada elde ettiğimiz C_O değerleri, diğer araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalardakiler ile benzerlik göstermektedir. Kayın ve karaçam meşcerelerinde yapılan bir çalışmada, Kayın meşceresinde C_O içeriği % 4,14 ve karaçam meşceresinde C_O içeriği % 2,51 bulunmuş ve aralarında istatistiksel olarak anlamlı bir farkın bulunmadığı belirlenmiştir. Çalışmada toprak özelliklerini ölü örtünün miktarı ve kalitesinden etkilendiği ve dolayısıyla ağaç türlerine bağlı olarak C_O da değişebildiği vurgulanmaktadır (Kara ve Bolat, 2008).

Başka bir çalışmada toprakların C_O içeriği; kayın meşceresinde % 4,29, göknar meşceresinde % 6,09 ve göknar-kayın meşceresinde % 4,51 olarak belirlenmiş, meşcerelerin organik C içerikleri arasında anlamlı farklılığın olduğu belirtilmiştir (Şentürk, 2009).

Satti ve ark. (2003) yaptıkları bir çalışmada iğne yapraklı üç ayrı türe ait ormandaki toprakların C_O içeriğinin % 4,0-7,4, herdem yeşil geniş yapraklı üç ayrı türe ait orman topraklarının C_O içeriğinin % 5,4-10,8 ve yaprağını döken geniş yapraklı dört ayrı türe ait ormandaki toprakların C_O içeriğinin % 7,4-14,2 arasında değiştiğini ifade etmişlerdir. Aynı zamanda çalışmalarında türler bakımından C_O içerikleri arasında anlamlı fark olduğunu belirtmişlerdir.

4.7 Toprak Toplam Karbonu

Çalışmamızda C_T içeriği türe göre değişim göstermekle beraber C_T miktarına uygulamanın ve mevsimselliğin etkisi her iki türün sahasında farklılık göstermiştir. C_T miktarı ladin sahasında vejetasyon dönemi boyunca kayına kıyasla anlamlı olarak daha fazladır. Kayın sahasında uygulama sadece Nisan döneminde C_T içeriğini anlamlı olarak arttırmıştır. Kayın sahasında C_T içeriğinde anlamlı bir mevsimsel değişim olmamıştır. Ladin sahasında ise Temmuz ve Ekim’de ve vejetasyon dönemi ortalamasında uygulama C_T içeriğini kontrole göre anlamlı düşürmüştür. Ladin sahasında da C_T içeriğinde anlamlı bir mevsimsel değişim bulunmamıştır.

Díaz-Pinés ve ark. (2010) dağ ormanında yaptıkları çalışmada mineral toprağın üst 15 cm’si için toplam C stokunu, kontrol ve hendek uygulanmış arazilerde sırasıyla ortalama 227.4 ± 8.3 ve 192.9 ± 8.4 Tm C ha⁻¹ bulmuş ve uygulamaya bağlı farklılıkların herhangi bir örnekleme tarihinde istatistiksel olarak anlamlı olmadığını belirtmişlerdir.

Çalışmamızda iki türün sahasında uygulamanın etkisiyle birinde artış diğesinde azalma olmuştur. Artmasında toprağa ani olarak kök ölü materyalinden kaynaklı organik substrat girişi (Bond-Lamberty ve ark., 2004) neden olabileceği gibi azalmasında ayrışan ölü kök materyalin zor ayrışan karbon bileşiklerini de ayrışmaya teşvik etmesi (priming effect) (Savage ve ark., 2018) neden olabilir.

4.8 Toprakta Mikrobiyal Azot

Çalışmamızda N_M içeriği de türe göre değişim göstermekle beraber N_M miktarına uygulamanın ve mevsimselliğin etkisi her iki türün sahasında farklılık göstermiştir. N_M miktarı kayın sahasında vejetasyon dönemi boyunca ladine kıyasla anlamlı olarak daha fazladır. Kayın sahasında uygulamanın N_M içeriğine anlamlı etkisi görülmemiş ve mevsimsel olarak Nisan'dan Temmuz'a N_M içeriğinde anlamlı bir düşüş olmuştur. Ladinde de uygulamanın etkisi ile sadece Nisan döneminde kontrole kıyasla anlamlı azalma olmuştur. Mevsimsel olarak ladin sahası N_M içeriğinde Nisan'dan sonra anlamlı bir düşüş olmuştur.

Kayın sahasında daha yüksek N_M içeriğinde toprak neminin etkisi olabilir. Zira kayın sahasının kontrol alanında N_M 'un toprak nemi ile hem çok yüksek pozitif anlamlı ilişkisi vardır hem de kayında TN ladin sahasına kıyasla anlamlı olarak daha fazladır. Ayrıca bu durumu teyit eden hem de mevsimsel değişimi açıklayan ladin sahasında da N_M içeriğinin TN ile kuvvetli ilişkisidir. Çünkü her iki sahada N_M içeriği Nisan'dan yaza toprak nemi ile beraber anlamlı olarak düşmüştür. Mevsimsel değişimde aynı zamanda mikrobiyal biyokütlenin miktarına Nisandan sonra artan toprakaltı kök faaliyetinin etkisi olmuş olabilir. Zira kök metabolizması artışı ile alınabilir azotun bitkiye daha çok geçmesiyle mikroorganizmaların azotu biyokütle olarak bağlama olanağı azalmış olabilir. Bu durumu N_M ile S_T arasındaki negatif anlamlı ilişki desteklemektedir. S_K ile de N_M 'un kayın sahasında negatif anlamlı ilişkisi, artan kök solunumu ile düşen N_M durumunu bu sahada belirginleştirmektedir.

Birçok çalışma toprakta mikrobiyal biyokütle ve faaliyet üzerinde toprak organik maddesinin oldukça etkili olduğundan bahsetmiştir (Arunachalam ve Arunachalam, 2000; Jenkinson, 1988; Patel ve ark., 2010). Çalışmamızda her iki kayın ve ladin sahalarında C_M yanı sıra N_M ile C_O 'un anlamlı ilişkisi vardır.

Çalışmamızdaki N_M değerleri ülkemizdeki bazı çalışmalarda bulunan miktarlardan oldukça düşük bulunmuştur. Akbaş (2014) çalışmamızdaki ladin sahamıza yakın ladin meşcerelerinde yaptığı bir çalışmada, N_M içeriğini 100 yaşlı meşcerede $201,11 \mu g g^{-1}$ ve 20 yaşlı meşcerede $183,08 \mu g g^{-1}$ olarak bulmuştur. Bolat (2011) kayın ve göknar türlerinin saf ve karışık meşcerelerinde yaptığı çalışmada Kayın meşceresi topraklarında N_M içeriğini ilkbaharda $280,14 \mu g g^{-1}$ yazda $205,15 \mu g g^{-1}$ sonbaharda

315,21 $\mu\text{g g}^{-1}$ kışta 143,47 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak bulmuş ve mevsimsel olarak anlamlı bir farklılık olduğunu belirlemiştir. En yüksek N_M içeriğini göknar meşceresinde bulmuş ve her üç meşcerede mevsimler arasında anlamlı farklılık olduğunu belirlemiştir. Bunun nedeni olarak ölü örtü ayrışmasıyla toprağa ulaşan organik karbon ve toplam azot miktarının diğer iki meşcereye kıyasla daha yüksek olmasıyla ilgili olduğunu bildirmiştir. Ayrıca sonbahar ve ilkbaharda, yaz ve kışa göre daha yüksek N_M olduğunu vurgulamıştır. Bunun sebebi olarak da ilkbaharda vejetasyonun başlangıcında bitkiler ile toprak mikroorganizmaları arasında besin elementleri alımındaki rekabet olabileceğini ileri sürmüştür. Çalışmamızdaki N_M miktarının nispeten oldukça düşük olmasında organik maddenin kalitesi ve azotun mikroorganizma bünyesinde immobilizasyonundaki farklılıklardan ileri gelebilir.

Yine de bulduğumuz N_M miktarları daha önce yurtdışında yapılan bazı çalışmalardakiler ile benzerlik göstermektedir. Çeşitli ağaç türleri bulunan orman topraklarının (0-10 cm) mikrobiyal biyokütle ve faaliyetin incelendiği çalışmada toprakların N_M içeriği 59-142 $\mu\text{g g}^{-1}$ arasında değişim göstermiştir. Çalışmada *Quercus robur* L. meşceresinde kış mevsiminde 123-142 $\mu\text{g g}^{-1}$ arasında, ilkbahar mevsiminde 71-90 $\mu\text{g g}^{-1}$ arasında değişiklik göstermiştir. *Pinus radiata* D. Don. meşceresinde ise kış mevsiminde 76-104 $\mu\text{g g}^{-1}$, ilkbahar mevsiminde 60-80 $\mu\text{g g}^{-1}$ arasında değişiklik göstermiştir (Alvarez ve ark., 2009).

Orman topraklarında (0-15 cm) mikrobiyal biyokütlenin mevsimlere, ağaç türüne ve toprak tipine göre incelendiği bir çalışmada orman toprakların N_M içeriklerinin 42-191 $\mu\text{g g}^{-1}$ arasında değişiklik gösterdiği belirlenmiştir. Çalışmada N_M 'daki değişkenliğin toprak sınıfları ve örnekleme mevsimlerinin farklılığından kaynaklandığı belirtilmiştir (Díaz-Raviña ve ark., 1995).

Satti ve ark. (2003)'nın yaptıkları çalışmada, toprakta N_M içerikleri üç ayrı türün olduğu iğne yapraklı ormanda 27,6-61,3 $\mu\text{g g}^{-1}$, herdem yeşil geniş yapraklı üç ayrı türün bulunduğu ormanda 55,5-148,8 $\mu\text{g g}^{-1}$ ve yaprağını döken geniş yapraklı dört ayrı türden müteşekkil ormanda 71,2-199,2 $\mu\text{g g}^{-1}$ arasında değişim göstermiştir. Çalışmada, türler arasında N_M içeriği bakımından anlamlı fark olduğu bildirilmiştir.

4.9 Toprakta Mineral Azot

Çalışmamızda mineral ($\text{NH}_4 + \text{NO}_3$) azot (N_N) miktarı türe göre değişim göstermekle beraber N_N miktarına uygulamanın ve mevsimselliğin etkisi her iki türün sahasında benzerlik göstermiştir. Türler arasında Nisan ve Ekim ile vejetasyon dönemi ortalamasında kayın sahasında anlamlı olarak fazladır. Her iki kayın ve ladin sahalarında uygulama N_N miktarını vejetasyon dönemi boyunca anlamlı arttırmıştır. Mevsimsel değişimde de her iki sahada Nisan döneminden Temmuz'a anlamlı artış olmuştur. Temmuz döneminde artmasında nem içeriğinin düşmesiyle nitrat bileşeni artmış olabilir. Zira nitrat miktarının kuru topraklarda nemli topraklara kıyasla daha yüksek olduğunu bazı çalışmalar ortaya koymuştur (Anggria ve ark., 2012). Ayrıca N_N miktarının dönemsel artışında Nisan'dan sonra artan mikroorganizma faaliyeti ile TOM'nden mineralleşmenin artması olabilir. Bunun yanında çalışmamızda uygulamanın etkisiyle artan mineral azot, bitki kökleri ile alınması ortadan kalktığı için olabilir (Li ve ark., 2016; Song ve ark., 2013).

Coşkun (2018) Kayın ve Kızılağaç türlerinin bulunduğu plantasyon sahasında dikimden 3 yıl sonra yaptığı çalışmada toprakların (0-10 cm) toplam mineral azot içeriğini kayın alanında 9,64 kg/ha, kızılağaç alanında 9,57 kg/ha, kayın-kızılağaç karışım alanında 10,43 kg/ha ve kontrol alanında 9,04 kg/ha olarak bulmuştur ve alanlar arasında anlamlı fark olmadığını belirlemiştir.

Küçük (2013) Artvin Saçinka yöresinde farklı eğim ve bakılardaki meşe meşcereleri ve mera alanlarında yaptığı çalışmada toprakların (0-5 cm) ortalama toplam mineral azot miktarını meşe meşceresinde Kasım (2011)'da 13,89 kg/ha, Mayıs (2012)'ta 12,99 kg/ha, Temmuz (2012)'da 12,16 kg/ha ve Eylül (2012)'de 9,09 kg/ha bulmuştur. Mera alanında ortalama toplam mineral azot miktarını Kasım (2011)'da 14,79 kg/ha, Mayıs (2012)'ta 13,97 kg/ha, Temmuz (2012)'da 14,26 kg/ha ve Eylül (2012)'de 10,97 kg/ha bulmuştur. Bitki örtüsü bakımından anlamlı farklılık bulunduğu çalışmada Meşe meşceresinde eğim ve bakının anlamlı etkisi olmadığını belirlemiştir.

Ünver (2007) alpin ve subalpin bölgesinde yaptığı çalışmada toprakların (0-5 cm) toplam yıllık ortalama mineral azot miktarları *Plantago* topluluğu alanında 6,17 kg/ha, *Juniperus* topluluğu alanında 3,54 kg/ha, *Alyssum* topluluğu alanında 5,91 kg/ha

olarak bulmuş ve tür bakımından alanlar arasında istatistiksel anlamlı fark belirlemiştir. Çalışmasında *Juniperus* ve *Alyssum* topluluklarının bulundukları alanlarda örnekleme zamanı bakımından anlamlı farklılık bulmuştur. Ayrıca *Juniperus* topluluğu alanında en yüksek Haziran ve Temmuz aylarında en düşük Eylül ayında belirlemiştir.

4.10 Toprakta Toplam Azot

Çalışmamızda N_T içeriği türe ve mevsime göre anlamlı değişim göstermemekle beraber N_T içeriğine uygulamanın etkisi her iki türün sahasında farklılık göstermiştir. Kayın sahasında uygulama sadece Nisan'da N_T içeriğini kontrole kıyasla anlamlı arttırmıştır. Ladin sahasında ise uygulama Temmuz döneminde ve vejetasyon dönemi ortalamasında kontrole kıyasla N_T içeriğini anlamlı olarak düşürmüştür. Genelde toprakta toplam azot % 0,1'den az olduğunda “çok düşük”, % 0,1–0,2 ise “düşük” % 0,2-0,5 ise “orta”, % 0,5-1 ise “yüksek” % 1'den fazla ise “çok yüksek” olarak değerlendirilir (Çepel, 2000; Metson, 1956). Buna göre N_T içeriği ortalamaları değerlendirildiğinde sadece ladin sahası uygulama alanında Nisan'dan sonra topraktaki azot düşük düzeyde kalırken diğer alanlarda vejetasyon dönemi genelinde orta düzeyde kalmıştır.

Bolat (2011) Gökmar ve Kayın türlerinin saf ve karışık meşcerelerinde yaptığı çalışmada N_T içeriğini ilkbaharda % 0,20 yazda % 0,26 sonbaharda % 0,23 ve kışta % 24 olarak bulmuştur. Çalışmasında mevsimler boyunca en yüksek N_T içeriğinin göknarda olduğunu ve ayrıca kayın meşceresi ve karışık meşcere için mevsimler arasında N_T içeriği bakımından anlamlı farklılık olduğunu bulmuştur. Burada düşük N_T içeriğinin nedeni olarak, meşcereye ait C_0/N_T oranının (ayırışma hızı) ve yağış suları ile azotun yıkanarak ortamdan uzaklaşması olabileceğini belirtmiştir.

Çalışmamızda da ladin sahasının özellikle uygulama alanındaki düşük N_T içeriği bu duruma bağlanabilir. Yani köklerin hariç tutulduğu alanda canlı kök olmadığı için azot bitkiye alınmadığından artan nem içeriği ile toprakta yıkanmış olabilir. Kantarcı (2000) da ayırışma sonrasında, mineralize olan azotun kökler tarafından alınmaması halinde azotun yağış suları ile yıkanıp ortam uzaklaşacağını vurgulamıştır. Ayrıca şu da var ki ölü materyalde ayırışma öncesi azot konsantrasyonunda artış olmaktadır.

Dolayısıyla uygulama alanında ölü köklerin ayrışma öncesi azot immobilizasyonu da N_T içeriğini düşürmüş olabilir.

Kayın ve karaçam meşcerelerinde yapılmış olan bir çalışmada kayında N_T % 0,32 ve karaçamda N_T % 0,23 olarak belirlenmiş ve istatistiksel anlamlı bir farklılığın olmadığı anlaşılmıştır (Kara ve Bolat, 2008).

Kara (2002) iki farklı yörede yaptığı çalışmada üst toprakta ortalama N_T içeriğini; Şarapnel yöresi için kayın meşceresinde % 0,134–0,360, meşe meşceresinde % 0,129–0,311 ve karaçam meşceresinden % 0,118–0,375 arasında belirlemiştir. Kadınkule yöresi için ise N_T içeriğinin kayın meşceresinde % 0,198–0,477, meşe meşceresinde % 0,149–0,267 ve karaçam meşceresinde % 0,302–0,438 arasında değiştiğini belirtmiştir.

4.11 C_M/C_O Yüzdesi

Çalışmamızda C_M/C_O yüzdesi türe göre değişim göstermekle beraber mevsimselliğin etkisi her iki türün sahalarında farklılık göstermiştir. Türler arasında kayın sahasında Temmuz döneminde ve vejetasyon dönemi ortalamasında anlamlı fazladır. Her iki kayın ve ladin sahasında uygulama sadece Temmuz döneminde kontrol alanına kıyasla C_M/C_O yüzdesini anlamlı olarak arttırmıştır. Kayın sahasında C_M/C_O yüzdesine mevsimselliğin etkisi görülmezken ladin sahası kontrol alanında Nisan dan sonraki anlamlı düşüşün ardından Temmuz'dan Ekim'e aynı şekilde anlamlı yükselme görülmüştür. Uygulama alanında ise C_M/C_O yüzdesinde sadece Nisan'dan Temmuz'a anlamlı düşüş olmuştur.

C_M/C_O yüzdesi mikroorganizmalar tarafından karbonun alınabilirliğini gösteren bir parametredir. C_M/C_O yüzdesinin düşük olması toprakta mikroorganizma bünyesine substrat alınabilirliğinin nispeten düşük olduğunun göstergesidir. Diğer bir ifade ile organik maddenin kalitesi hakkında bir değerlendirme imkânı sunar. Nispeten yüksek C_M/C_O yüzdesi alınabilir karbon bileşiklerinin toprakta sınırlandırılmamış olduğunu gösterir (Khan ve Joergensen, 2006). Mikrobiyal biyokütlenin karbon temininde zorlanması halinde C_M ve C_O arasında genellikle kuvvetli bir korelasyon gözlemlenir.

C_M/C_O yüzdesinin düşük olması toprak organik maddesinin toprakta mikroorganizmalar tarafından metabolize edilebilir kısmının çok az olduğu anlamına gelmektedir. Bu yüzdesel oran toprak organik madde dinamiğinin tahmin edilmesine imkân sağlar. Dolayısıyla net karbon kaybını ya da birikimini izlemek için bir gösterge olmaktadır (Anderson ve Domsch, 1989; Bauhus ve Khanna, 1999; Bauhus ve ark., 1998). Patel ve ark. (2010) yüksek C_M/C_O yüzdesinin, immobilizasyonun fazla olduğunu gösterdiğini bildirmişlerdir. Solunum için çok fazla miktarda karbon harcanırken neredeyse hiç biyokütle üretimi olmaması halinde C_M/C_O yüzdesi çok düşük çıkacaktır ve bu durumda stres söz konusu olacaktır (Anderson, 2003). Dolayısıyla çalışmamızda Nisan döneminden sonra her iki kayın ve ladin sahasında düşen C_M/C_O yüzdesi, mikroorganizma substrat etkileşiminde karbonun mobilize olarak net kayba uğradığını ve mikrobiyal biyokütle bünyesine fazla geçemediğini göstermektedir. Bunu Temmuz döneminde en yüksek seviyelere çıkan CO_2 salınımı da teyit etmektedir.

Anderson ve Domsch (1993) tarafından nötr reaksiyonlarda C_M/C_O yüzdesinin % 2-3 arasında olabildiği ve pH ile arasında kuvvetli bir ilişkinin olduğu bildirilmiş ve pH'nın artışıyla C_M/C_O yüzdesinin de arttığına dikkat çekilmiştir. Orman ve tarım topraklarında reaksiyonun nötr (pH 7,0) olduğu ve C_M/C_O yüzdesinin % 2,0-4,4 arasında değişim gösterdiği bir çalışmada C_M/C_O yüzdesinin % 2,0 altında olduğu durumlarda stresin söz konusu olduğu ifade edilmektedir (Anderson, 2003). C_M/C_O yüzdesi için söz konusu sınır değerler dikkate alındığında çalışmamızda kayın sahasında substratın alınabilir karbon bileşikler fazla ve mikrobiyal biyokütlenin de bunları bünyesinde alıkoyma oranının fazla olduğu anlaşılmaktadır. Diğer taraftan ladin sahasında özellikle uygulamanın etkisi ile sınır değerlerin altındaki C_M/C_O yüzdesi değerleri burada organik madde kalitesinin farklı olduğunu ve mikroorganizmaların bunu daha çok enerji için kullanarak bünyesinde fazla tutmadığı söylenebilir. Ladin sahasında pH düşük olduğu için bu durum stres olarak değerlendirilmeyebilir. Zira verilen sınır değerler nötr reaksiyon koşulları için daha çok geçerlidir.

Bolat (2011) Kayın ve Gökmar türlerinin saf ve karışık meşcerelerinde yaptığı çalışmada kayın meşceresinde C_M/C_O yüzdesi ortalamasını ilkbaharda % 1,67 yazda % 1,69 sonbaharda % 1,93 ve kışta % 1,90 bulmuştur. En yüksek C_M/C_O yüzdesini

göknar-kayın karışık meşçeresinde özellikle yaz mevsiminde (% 3,53) bulmuştur. Ayrıca C_M/C_O yüzdesini meşçere tipleri arasında değiştiğini (kış hariç) ancak mevsimler arasında sadece Kayın meşçeresinde anlamlı değişmediğini belirlemiştir. Çalışmasında düşük değerlere neden olan faktörlerin meşçerelere ait mevsimlerde C_M ve C_O içeriklerinde meydana gelen azalış ve artışlarından kaynaklandığını belirtmiş ve pH değerlerinin 7'nin altında kaldığını vurgulamıştır.

Sparling (1997) yaptığı çalışmada C_M/C_O yüzdesinde meşçereler arasında ve mevsimlerde görülen değişkenliğin toprak organik maddesinin ayrışmasının, mineralizasyonun ve immobilizasyon olaylarının farklılık gösterdiğinden ortaya çıkışını belirtmiştir.

4.12 C_M/N_M Oranı

Çalışmamızda C_M/N_M oranı türe göre değişim göstermekle beraber C_M/N_M oranına uygulamanın ve mevsimselliğin etkisi her iki türün sahasında farklılık göstermiştir. C_M/N_M oranı türler arasında Nisan ve Ekim dönemleri ile vejetasyon dönemi ortalamasında ladin sahasında anlamlı olarak fazladır. Kayın sahasında C_M/N_M oranına uygulamanın etkisi olmamakla beraber mevsimsel değişimde Nisan'dan Temmuz'a anlamlı artış olmuştur. Ladin sahasında ise uygulama Nisan döneminde kontrol alanına kıyasla C_M/N_M oranını anlamlı arttırırken Ekim döneminde anlamlı azaltmıştır. Mevsimsel değişimde ladin sahasında uygulama alanında Nisan'dan Temmuz'a anlamlı düşüş olurken kontrol alanında Temmuz'dan Ekim'e anlamlı yükselme görülmüştür.

C_M/N_M oranı mikrobiyal biyokütlede bulunan bakteriler, mantarlar ve aktinomisetler gibi canlı gruplarından ortamda hâkim olanın hangi grubun olduğunu tahmin etmek için kullanılmaktadır. C_M/N_M oranı yüksek (10-12) ise mikrobiyal popülasyonda mantarların daha baskın olduğuna, düşük (3-5) ise bakterilerin daha çok olduğuna gösterge olabilmektedir (Jenkinson ve Ladd, 1981). Özetle bu oran mikrobiyal topluluğun yapısını ve durumunu hakkında bir fikir vermektedir (García-Oliva ve ark., 2006; Joergensen ve ark., 1995; Yuan ve ark., 2007). Söz konusu değerler dikkate alındığında çalışmamızda kayın sahasında C_M/N_M oranı değerleri vejetasyon dönemi boyunca 5-10 arasında seyir ettiğinden bir canlı grubu değişimi olmamış gibi

görülmektedir. Ayrıca uygulamanın da hâkim canlı grubunu değiştirecek bir etkisi olmamış gibidir. Ancak ladin sahasında ise mevsimsel değişimde Temmuz döneminden sonra yükselen C_M/N_M oranı değeri ortamda mantar grubuna doğru bir değişim olmuş gibi göstermektedir. Ayrıca uygulama alanında kontrole göre yüksek çıkan C_M/N_M oranı değeri Nisan döneminde uygulamanın etkisi ile mantar grubu baskınlığına geçiş ihtimalini göstermektedir. Ekim döneminde de uygulama alanında yüksek C_M/N_M oranı mantar topluluğu hâkimiyeti ihtimaline işaret etmektedir. Bu değişimlerde toprağın nem içeriği farklılığı neden olmuş olabilir. Zira hem uygulama alanında nem içeriği artmış hem de güz döneminde yağışların etkisi ile toprağın nem içeriği artmıştır. Zira Scott-Denton ve ark. (2006), mantarların egemen olduğu bir kış topluluğundan karbon substratlarının da tükenmesiyle rizosferik bakterilerin egemen olduğu bir yaz topluluğuna geçiş şeklinde mikrobiyal topluluk değişimine dikkat çekmişlerdir. Yine de bu oran mikrobiyal topluluk yapısı için kesin fikir vermediğinden doğrudan analiz ile belirlenmesi gereklidir.

4.13 N_M/N_T Yüzdesi

Çalışmamızda N_M/N_T yüzdesi türe göre değişim göstermekle beraber N_M/N_T yüzdesine uygulamanın ve mevsimselliğin etkisi her iki türün sahasında farklılık göstermiştir. Türler arasında kayın sahasında vejetasyon mevsimi boyunca N_M/N_T yüzdesi anlamlı olarak daha fazladır. Kayın sahasında uygulamanın etkisiyle sadece Nisan ayında kontrole kıyasla N_M/N_T yüzdesi anlamlı azalmış. Mevsimsel değişimde kayın sahasında Nisan'dan Temmuz'a anlamlı düşüş görülmüştür. Ladin sahasında ise Temmuz'da ve vejetasyon dönemi ortalamasında uygulama N_M/N_T yüzdesini anlamlı arttırmış. Ladin sahasında uygulama alanında mevsimsel anlamlı bir değişim bulunmamış ancak kontrol alanında Nisan'dan Temmuz'a anlamlı düşüş belirlenmiştir.

Nispeten yüksek N_M/N_T yüzdesi genellikle alınabilir azot bileşiklerinin sınırlandırılmadığını gösterir (Khan ve Joergensen, 2006). Ayrıca yüksek N_M/N_T değerleri mikroorganizmalar tarafından bütün organik substratların etkin bir şekilde alınabildiğini, bitki kalıntılarının dengeli bir şekilde ayrışarak toprağa karıştığını ve düşük toprak organik madde içeriğini de göstermektedir. Bauhus ve ark. (1998) N_M/N_T yüzdesindeki azalışın substrat niteliğindeki bir azalış demek olduğunu ifade

etmektedirler. Buna karşın N_M/N_T yüzdesindeki fazlaca artış azotun önemli bir kısmının mikroorganizmalar tarafından alıkonulduğunu ve bu durumun toprakta bitkiler için azot noksanlığına yol açabileceğini belirtmişlerdir.

Çalışmamızda kayın sahasında azot bileşiklerinin alınabilirliği daha yüksek ve mikroorganizmaların bunu daha etkin bir şekilde kullandıkları anlaşılmaktadır. Bu durumu iki türün sahaslarındaki N_T içeriğinin yakın olması ve kayın sahasındaki daha düşük TOM içeriği desteklemektedir. Yine kayın sahasında uygulamanın etkisi ile Nisan döneminde substrat niteliğinin azaldığı veya canlıların bundaki azotu bünyelerinde alıkoyma oranının düştüğü söylenebilir. Ancak ladin sahasında ise uygulamanın özellikle Temmuz döneminde alınabilir azot bileşiğini arttırdığı veya mikroorganizmaların organik substratları bünyelerinde kullanımını arttırdığı söylenebilir. Mevsimsel değişime baktığımızda ise özellikle kontrol alanlarında Nisan döneminde sonra Temmuz itibarıyla substrat niteliğinde bir azalma gibi düşünülse de aslında mikrobiyal azotun alanlarda azalması da söz konusudur.

Bolat (2011) kayın ve göknar türlerinin saf ve karışık meşcerelerinde yaptığı çalışmada kayın meşceresinde N_M/N_T yüzdesi ortalamasını ilkbaharda % 3,91 yazda % 4,74 sonbaharda % 5,51 ve kışta % 4,30 bulmuştur. En yüksek yüzdesini göknar meşceresinde özellikle güz mevsiminde (% 6,33) bulmuştur. Ayrıca yüzdesini meşcere tipleri arasında sadece yaz mevsiminde değiştiğini ve mevsimler arasında sadece her üç meşcerede anlamlı değiştiğini belirlemiştir. Çalışmasında artan N_M/N_T yüzdesini N_M içeriğine bağlamıştır.

4.14 Toprakta Mikrobiyal (Bazal) Solunum

Çalışmamızda mikrobiyal (bazal) solunum (S_{MB}) miktarı türe göre ve uygulamanın etkisiyle anlamlı değişim göstermemekle beraber mevsimsel değişimde sadece kayın sahasında Nisan'dan Temmuz'a S_{MB} miktarı anlamlı artış göstermiştir. Toprak bazal solunumu toprağın mikrobiyal havuzunda gerçekleşen reaksiyonu yansıttığı gibi bu havuzda harcanan enerji potansiyelini göstermektedir. Bu nedenle topraktaki mikrobiyal faaliyetin değerlendirilmesi için kullanılabilir (Anderson, 2003; Anderson ve Domsch, 1993; Tian ve ark., 2008). Dolayısıyla her iki kayın ve ladin sahasları arasındaki mikrobiyal faaliyet potansiyeli farkı önemsiz denilebilir. Ancak

toprak solunumu bileşenleri (S_K ve S_M) ve mikrobiyal biyokütle sahalar arasında farklılık göstermektedir. Bu durumda S_{MB} miktarının C_M yanı sıra diğer K_K , C_O ve C_T ile pozitif ilişkileri dikkat çekmektedir. Dolayısıyla 25°C inkubasyon koşullarında gözlemlenen enerji potansiyeli, arazide TOM ayrışma süreci ve kök salgılarına bağlı olarak değişebilmektedir. Ayrıca ladin sahasında nispeten ve kayında anlamlı şekilde Nisan'dan sonra Temmuz'da mikrobiyal faaliyet artmış görünmektedir. Burada S_{MB} miktarının toprak sıcaklığı ile pozitif ilişkisi göze çarpmaktadır. Artan sıcaklıklar ile beraber substrat mevcudiyetini veya alınabilirliğini olumlu etkilenmiş olabilir. Ayrıca S_{MB} 'un C_T ve N_T ile pozitif anlamlı ilişkileri bunu desteklemektedir.

Bolat (2011) göknar ve kayın türlerinin saf ve karışık meşcerelerinde yaptığı çalışmada kayın meşceresi topraklarında S_{MB} miktarını ilkbaharda 0,50 $\mu\text{g CO}_2\text{-C g}^{-1}$ yazda 0,53 $\mu\text{g CO}_2\text{-C g}^{-1}$ sonbaharda 0,74 $\mu\text{g CO}_2\text{-C g}^{-1}$ ve kışta 0,62 $\mu\text{g CO}_2\text{-C g}^{-1}$ olarak bulmuştur. En fazla S_{MB} miktarını göknar meşceresinden bulmuş ve her üç meşcere arasında ve meşcerelerde mevsimler arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık belirlemiştir.

Çeşitli iğne yapraklı ve geniş yapraklı türlerin altındaki orman topraklarının (0-10 cm) bazal solunum değerleri 0,49-1,94 $\mu\text{g CO}_2\text{-C g}^{-1}$ toprak h^{-1} arasında değişmektedir (Tian ve ark., 2008).

Huang ve ark. (2016) *Pinus massoniana* ve *Castanopsis chinensis* (Spreng.) türlerinin bulunduğu ormanda yaptıkları çalışmada bazal toprak solunumunun hendek açma ile azalmasının karbon alınabilirliğini yani kök sızıntıları ve döngüsünden kaynaklanan değişebilir karbondaki bir azalmayı yansıttığını vurgulamışlardır.

Lee ve ark. (2010) göknar ve meşe meşcerelerinde yaptıkları çalışmada, kontrol ve hendek kazılmış parseller arasında potansiyel mikrobiyal aktivitelerde anlamlı bir fark ve mevsimsel olarak belirgin bir değişiklik olmadığını bulmuşlardır. Gerçek mikrobiyal aktiviteler muhtemelen potansiyel mikrobiyal aktivitelerden farklı olabileceğini, böylece daha yoğun örneklemenin mevsimsel bir eğilim ortaya çıkarabileceğini ifade etmişlerdir.

4.15 Metabolik Katsayı (qCO_2)

Çalışmamızda metabolik katsayı (qCO_2) türe göre değişim göstermemekle beraber qCO_2 değerine uygulamanın ve mevsimselliğin etkisi her iki türün sahasında farklılık göstermiştir. Kayın sahasında qCO_2 uygulamanın etkisiyle Temmuz'da ve Vejetasyon dönemi ortalamasında kontrole kıyasla anlamlı azalmıştır. Kayın sahasında qCO_2 Nisan'dan Temmuz'a anlamlı olarak yükselmiştir. Ladin sahasında ise uygulamanın etkisi olmamakla beraber mevsimsel olarak kontrol alanında Nisan dan sonraki anlamlı artışın ardından Temmuz'dan Ekim'e aynı şekilde anlamlı düşüş görülmüştür. Uygulama alanında ise sadece Nisan'dan Temmuz'a anlamlı artış olmuştur.

Metabolik katsayı (qCO_2), topraktaki mikrobiyal faaliyeti ve toprak kalitesini değerlendirmede kullanılabilen etkili ve hassas bir göstergedir. Genel anlamda yüksek metabolik katsayı mikrobiyal biyokütlenin solunumda sarf ettiği enerjiyi temin edebilmesi için yüksek miktarda substrata (organik maddeye) gereksinim duyduğunun bir belirtisidir. Diğer bir ifade ile metabolik katsayının yüksek olması halinde ortamda canlıların kullanımı için substrat miktarı çok azdır (Bauhus ve Khanna, 1999). Düşük metabolik katsayı ise gelişimini tamamlamış bir ekosistemde herhangi bir stresin olmadığını göstermektedir.

Mikrobiyal canlıların sitoplazmaları dikkate alındığında genel olarak toprak mikroorganizmaları için en uygun pH değerleri 6-8 civarındır (Kantarcı, 2000; Miller ve Donahue, 1995). Dolayısıyla düşük pH'larda yüksek metabolik katsayı (qCO_2) toprakta mikrobiyal popülasyon için stresin olduğunu gösterebilir (Anderson ve Domsch, 1993). Nötr topraklar için metabolik katsayının (qCO_2) $0,5-2,0 \text{ mg CO}_2\text{-C g}^{-1} \text{ Cm h}^{-1}$ arasında olması halinde toprakta herhangi bir stres durumu olmadığı bildirilmiş ve $2,0 \text{ mg CO}_2\text{-C g}^{-1} \text{ Cm h}^{-1}$ üzerindeki değerlerin topraklar için kritik olduğu vurgulanmıştır (Anderson, 2003).

Çalışmamızda pH değerleri söz konusu değer in altında olmasına rağmen qCO_2 değerlerinin genelde 2,0 den küçük olması alanlarda enerji için organik substratların etkin bir şekilde kullanıldığını göstermektedir. Ancak sadece Temmuz döneminde ladin sahasının kontrol alanında çıkan yüksek (3,74) qCO_2 düşük mikrobiyal biyokütleden kaynaklanmış olabilir. Zira metabolik katsayı, bazal solunum/ C_M oranına göre belirlendiği için C_M 'un azalması da metabolik katsayıyı arttırabilir.

Dolayısıyla mikrobiyal biyokütlenin asimile/absorbe edeceği karbon miktarının düşük olması metabolik katsayının yüksek çıkmasını netice verebilir. Benzer şekilde mikrobiyal biyokütle için alınabilir karbon miktarının az olması halinde metabolik katsayının yüksek olabileceği belirtilmiştir (Anderson ve Domsch, 1986). Sparling (1997) metabolik katsayının mikroorganizma solunumunda kullanılan organik karbonun miktarı ve kalitesinden etkilendiğini bildirmiştir.

Bolat (2011) kayın ve göknar türlerinin saf ve karışık meşcerelerinde yaptığı çalışmada kayın meşceresinde qCO_2 değeri ortalamasını ilkbaharda $0,99 \text{ mg CO}_2\text{-C g}^{-1} \text{ Cm h}^{-1}$ yazda $0,91 \text{ mg CO}_2\text{-C g}^{-1} \text{ Cm h}^{-1}$ sonbaharda $1,19 \text{ mg CO}_2\text{-C g}^{-1} \text{ Cm h}^{-1}$ ve kışta $1,13 \text{ mg CO}_2\text{-C g}^{-1} \text{ Cm h}^{-1}$ bulmuştur. En yüksek qCO_2 değerini göknar meşceresinde özellikle yaz mevsiminde ($2,41 \text{ mg CO}_2\text{-C g}^{-1} \text{ Cm h}^{-1}$) bulmuş ve ayrıca qCO_2 değerinin meşcere tipleri ve meşcerelerde mevsimler arasında anlamlı değiştiğini belirlemiştir.

Birçok çalışmada ise iğne ve geniş yapraklı orman toprakları için çok yüksek qCO_2 değerleri ($1,42\text{-}10,17 \text{ mg CO}_2\text{-C g}^{-1} \text{ Cm h}^{-1}$) belirlenmiştir (Mahia ve ark., 2006; Tian ve ark., 2008).

4.16 Toprak Sıcaklığı

Çalışmamızın ilk yılında toprak (0-10 cm) sıcaklığı (TS) değişimi mevsimsel hava koşulları doğrultusunda olmuş ve en yüksek sıcaklıklar Ağustos'ta, en düşük Kasım'da belirlenmiştir. Kayın ve ladin sahaları arasında TS Nisan, Eylül, Ekim ve Kasım aylarında Kayında anlamlı fazla bulunmuş ancak genel ortalama sıcaklıkta (Kayında $12,6^\circ\text{C}$, Ladinde $12,3^\circ\text{C}$) farklılık bulunmamıştır. Her iki sahada uygulamanın etkisiyle Eylül, Ekim ve Kasım aylarında kontrole kıyasla sıcaklık düşük bulunmuş ancak genel ortalamada bir farklılık bulunmamıştır.

İkinci yılda da TS değişimi mevsimsel seyir izlemiş ve en yüksek sıcaklıklar Haziran ve Ağustos'ta, en düşük sıcaklıklar Kasım'da görülmüştür. Kayın ve ladin sahaları arasında TS değişiminde, Haziran ayında ladin için ve Kasım ayında kayın için anlamlı fazla bulunmuş ancak genel ortalama sıcaklıkta (Kayında $11,97^\circ\text{C}$, Ladinde $12,28^\circ\text{C}$) farklılık bulunmamıştır. İkinci yıl TS değerleri için dikkati çeken her iki türün kontrol ve uygulama sahalarında Temmuz'da diğer yaz ayları olan Haziran ve Ağustos'a

kıyasla anlamlı düşüş olmasıdır. Her iki sahada ikinci yılda uygulamanın etkisiyle Kasım ayında kontrole kıyasla sıcaklık anlamlı düşük bulunmuş ancak genel ortalama da bir farklılık bulunmamıştır. Bunun yanında haziran ayında kayın sahasında uygulama TS'nı anlamlı arttırmıştır.

Díaz-Pinés ve ark. (2010) 5 cm derinlikteki toprak sıcaklığını, kontrol parsellerinde ortalama 10.3 ± 0.6 ° C ve hendek uygulanmış parsellerde 10.4 ± 0.6 ° C olarak belirlemiş, hendek uygulamasının anlamlı bir etkisini bulmamıştır. Benzer şekilde toprak sıcaklığı üzerinde anlamlı hendek uygulaması etkisi bulamayan çalışmalar vardır (Yan ve ark., 2015).

4.17 Toprak Nemi

Çalışmamızın ilk yılında toprak neminin (TN) değişimi mevsimsel yağış koşulları doğrultusunda olmuş ve TN en fazla Nisan'da, en düşük Eylül'de bulunmuştur. İkinci yılda ise en yüksek TN Mayıs'ta en düşük TN ise kayın sahası için yaz aylarında ladin sahası için Kasım'da görülmüştür. Ancak yıllara ait yağış oranlarını dikkate aldığımızda ikinci yılda da mevsimsel yağış koşullarına bağlı bir durum söz konusudur. Her iki yılda kayın ve ladin sahaları arasında TN içeriği Kayında anlamlı olarak fazla bulunmuştur. Bunun nedeni açıkça kayın sahasında toprak yüzeyinde buharlaşmayı azaltan ölü örtü tabakası ve genelde ladin türüne kıyasla kayın türünde intersepsiyonun düşük (Çepel, 1986) olmasıdır. Her iki sahada uygulamanın etkisiyle TN içeriği kontrole kıyasla anlamlı artış göstermiştir. Hendek uygulanarak köklerin kesildiği alanda artan toprak neminin nedeni ağaç transpirasyonunun ortadan kaldırılmasıdır (Kukumägi ve ark., 2017; Lee ve ark., 2003; Peng ve ark., 2008; Tian ve ark., 2011). Dolayısıyla ilk yılda uygulama alanlarında bahardan sonra güze kadar doğrusal düşüş (kontrolde olan) yerine bahardan yaza geçişlerde dalgalanmalar yani tekrar artarak sonra güze kadar düşüş görülmüştür. İkinci yılda ise kayın sahasında Temmuz'da muhtemelen sıcaklık düşüşü ile buharlaşmanın azalması nedeniyle TN içeriğinde hazirandan sonra bir anlamlı artış söz konusudur. Daha sonra TN içeriği, Kasım'da kayın sahası için tekrar anlamlı artarken ladin sahasında hafifçe düşüş belirlenmiştir.

4.18 Toprak Solunumu ve Bileşenleri

Çalışmamızda ilk yılda toprakların CO₂ salınımı (S_{CO₂}) her iki sahanın kontrol ve uygulama alanlarında Temmuz'da en yüksek, kısmen Nisan'da ve özellikle Kasım'da en düşük düzeylerde bulunmuştur. Özellikle kontrol alanı için türler arasında (Ekim hariç) vejetasyon periyodu genelinde anlamlı farklılık olmadığından S_{CO₂} mevsimsel seyri de iki türün sahasında benzerdir. Birçok çalışma toprak solunumunun yaz aylarında en yüksek seviyeler çıktığını belirlemiştir.

İkinci yılda ise toprakların CO₂ salınımı (S_{CO₂}) her iki sahanın sadece kontrol alanlarında Temmuz'da en yüksek, Kasım'da en düşük düzeylerde bulunmuştur ve uygulama alanlarında muhtemelen toprak sıcaklığında Temmuz'daki düşüşten kaynaklı olarak artış olmadığı gibi ladin sahası için uygulama alanında Temmuz'da düşüş görülmüştür. Ayrıca ikinci yılda kontrol alanında Temmuz'daki artış kayın sahasında ilk yıla göre oldukça fazla olduğundan ikinci yılda Temmuz itibarıyla ladin sahasına göre kayında anlamlı bir fazlalığa neden olmuştur.

Comstedt ve ark. (2011) ladin ormanında yaptığı çalışmada kontrol parsellerinden toprak solunum oranlarının Nisan-Haziran aylarında 37-78 mg C m⁻² sa⁻¹ arasında iken keskin bir artış ile 3 haftadan kısa bir süre içinde % 300'den fazla arttığını ve solunumun 2003 yılında 30 Haziran'da (162 mg C m⁻² sa⁻¹) ve 20 Temmuz 2004'te (229 mg C m⁻² sa⁻¹) zirveye ulaştığını ve her sezonun sonuna doğru 72 ile 122 mg C m⁻² sa⁻¹ arasında değişen değerlere gerilediğini bulmuşlardır. Epron ve ark. (1999a) kontrol alanında, toprak CO₂ çıkışının, kışın 0,5 µ mol m⁻² s⁻¹ 'den yaz aylarında 4 µ mol m⁻² s⁻¹ 'den daha fazla değerlere kadar değiştiğini bulmuşlardır.

İlk yılda uygulama, kayın sahasında (Nisan hariç) vejetasyon dönemi boyunca S_{CO₂}'ni anlamlı olarak kontrole kıyasla düşürmüştür. Ladin sahasında ise uygulamanın bazen arttırma bazen azaltma şeklinde kısmen anlamlı ancak vejetasyon dönemi genelinde anlamlı olmayan bir etkisi vardır. Ladin sahasında uygulamanın sadece Eylül'de anlamlı arttırma ve Kasım'da anlamlı azaltma şeklinde dönemlere mahsus etkisi vardır.

İkinci yılda ise uygulama, kayın sahasında Haziran ve Kasım'da kısmen diğer ölçüm dönemlerinde anlamlı olarak S_{CO₂}'ni kontrole kıyasla düşürmüştür. Ladin sahasında

ise Mayıs ve Temmuz dönemlerinde uygulama anlamlı olarak SCO_2 'nı kontrole kıyasla düşürmüştür. Diğer dönemlerde ise ladin sahasında önceki yılda görülen durum yani uygulamanın kontrole kıyasla SCO_2 'nı arttırması görülmemiş yine de kontrole çok yakın düzeylerde olmuştur.

Hendek açma uygulamasından sonra birçok çalışmada durum farklı olabilmektedir. Yapılan çalışmalara göre uygulamadan sonra, toprak yüzeyinden CO_2 salınımı belli bir süre için hendek uygulanmış alanlarda hemen artabilir (Lee ve ark., 2003; Uchida ve ark., 1998) veya bir başlangıç döneminde neredeyse hiç değişmeden kalabilir (Epron ve ark., 1999a; Wang ve Yang, 2007) veya hızla azalabilmektedir (Sayer ve Tanner, 2010).

Tian ve ark. (2011) yaptıkları çalışmada, toprak CO_2 salınım oranlarının hendek uygulanmış alanlarda kontrol alanları ile karşılaştırıldığında hemen düştüğünü ancak uygulamadan sonra 100-150. günler arasında belirgin bir fark olmadığını ve bunun öldürülmüş köklerin ayrışmasından kaynaklandığını belirtmişler. Benzer şekilde, tropikal ormanlarda hendek açıldıktan sonra yüksek kök ayrışması oranları nedeniyle uygulama alanında nispi yüksek solunum ölçümü 7 ay (Sayer ve Tanner, 2010) ve 9 ay (Silver ve ark., 2005) sürmüştür.

ArchMiller ve Samuelson (2016), Güney Sarıçamı meşcerelerinde kök dışlama tüpü uygulaması yaptığı çalışmada tüm ölçüm tarihleri boyunca, kontrol toprak solunumunun uygulama halkasındaki toprak solunumundan anlamlı olarak değil marjinal olarak daha yüksek olduğunu ancak dördüncü, altıncı ve son ölçüm tarihlerinde ortalama kontrol toprak solunumunun, uygulamadakinden anlamlı derecede yüksek olduğunu bulmuştur.

Hendek açma yönteminin temel varsayımı, hendek açılmış bölgedeki köklerin solunum aktivitesinin, enerji arzının olmaması nedeniyle tamamen bastırılmasıdır (Lee ve ark., 2003). Önceki çalışmalara uygun olarak fotosentez ürünlerinin tepe tacından toprağa akışını önlemenin bir sonucu olarak toprak solunması kayın sahamızda uygulama alanında önemli ölçüde bastırılmıştır (Bond-Lamberty ve ark., 2011; Huang ve ark., 2016). Ancak ladin sahamızda uygulamanın bu etkisi ilk yılda görülmemekle beraber ikinci yılda kısmen görülmüş ve heterotrofik katkıyı fazla vermiş gibi gözükmektedir. Hendek uygulaması ile doğrudan kök dışlama yöntemi en yaygın

olarak kullanılmıştır. Ayrıca diğer yöntemlere kıyasla daha düşük kök solunumu oranları ile sonuçlanabilmektedir ve bunun nedeni muhtemelen mikrobiyal solunum için artan substrat arzıdır (Chen ve Yang, 2011; Ferréa ve ark., 2012). Dolayısıyla uygulama alanında yüksek salınım, alanlarda mikroplara substrat sağlayan ve böylece mikroorganizma solunumunu uyaran ölü köklere atfedilebilir (Bond-Lamberty ve ark., 2004; Huang ve ark., 2016).

Yine uygulama alanında köklerin canlılığın devam edip etmediği tartışmalıdır. Ancak kökler siyaha dönmüş yani uygulamadan sonra çürümeye başlamışsa kök solunumunun ihmal edilebilir olduğu varsayılmıştır (Lee ve ark., 2003). Bu arada, tüm canlı kökleri hendek parsellerinden hariç tutmak zor ve neredeyse imkânsızdır. Bununla birlikte, kök solunumunun çoğuna kılcal kökler katkıda bulunur ve önceki çalışmalar, kılcal köklerin çoğunun üst 30 cm toprak katmanlarına dağıldığını bulmuştur (Dickmann, 1992; Li ve ark., 2006).

Kök solunumunu belirlemek için hendek açma yöntemiyle ilişkili temel bir sorun, toprak bozulmasının CO₂ emisyonunu arttırması veya azaltmasıdır ki bunun ya dikkate alınması gerektiği veya sistem dengesine dönene kadar ölçümlerin ertelenmesi gerektiği savunulmuştur (Bowden ve ark., 1993; Edwards, 1991; Wang ve ark., 2008).

Çalışmamız yapılan uygulama ile köklerin hariç tutulup toplam solunuma kıyas edilmesiyle toprak solunumu bileşenlerinin belirlenmesi esasına dayanmaktadır. Burada kontrol alanları için belirlenen toprak yüzeyinden S_{CO₂} toplam solunuma (S_T) atfedilmektedir. Uygulama alanındaki S_{CO₂} ise canlı kök katkısı olmayan toprak solunumu kabul edilse de kalan ölü kök materyalin ayrışmasından kaynaklı ilave CO₂ salınımı söz konusudur. Ayrıca uygulama alanlarında anlamlı şekilde artan toprak nemi içeriğinin yol açtığı mikrobiyal değişiklik ile fazladan CO₂ salınımı da söz konusudur. Uygulama alanındaki S_{CO₂} miktarından bu ilave salınımları hariç tutan kök ve nem düzeltmeleri ile elde edilen salınım oranı mikroorganizma solunumuna (S_M) atfedilmiştir.

Ayrışan köklerin toprak solunumu üzerindeki etkisi, hendek açma uygulayan daha önceki çalışmalarda nadiren ve son zamanlardaki çalışmalarda daha fazla incelenmiştir (ArchMiller ve Samuelson, 2016; Bowden ve ark., 1993; Ewel ve ark., 1987; Fahey ve ark., 1988; Lee ve ark., 2003; Lee ve ark., 2010; Li ve ark., 2016; Ngao ve ark.,

2007; Subke ve ark., 2006; Tang ve ark., 2016; Yan ve ark., 2015). Köklerin artan ayrışması ve toprak suyu içeriğindeki değişiklikler dikkate alınmadan S_M tahmini, doğrudan tahmin edilenden daha fazla veya daha az abartılı olacaktır (Comstedt ve ark., 2011; Kukumägi ve ark., 2017; Ngao ve ark., 2007; Subke ve ark., 2006). Epron ve ark. (1999a) kontrol ve hendek uygulama alanları için tahminler arasındaki fark anlamlı olsa bile, toprak solunum bileşenlerini belirlemek için hendek açarak öldürülen köklerin ayrışması için uygulama alanı solunum değerlerinin düzeltilmesi gerektiğini bildirmiştir.

Comstedt ve ark. (2011) hendek uygulamasının yapaylık etkisine (artifact) bağlı iki durumdan birincisinde nem fazlalığı etkisinin, hendek uygulaması parsellerinden kaydedilen solunumun % 29'unu oluşturduğunu ve ikincisinde kök ve misel ayrışmasından kaynaklanan ilave katkının, uygulama parsellerinde kaydedilen solunumun % 16'sı kadar olduğu tahmin etmişlerdir.

Kukumägi ve ark. (2017) uygulanan düzeltmelerin mikroorganizma solunumu katkı oranını % 28' ile % 31' kadar düşürdüğünü, azalmanın % 23'ünün sadece artan nem içeriğinden kaynaklandığını bildirmişlerdir. Çalışmamızda kök ayrışması ve nem farkı düzeltmeleri kayın sahasında ilk yılda heterotrofik katkıyı sırasıyla % 26,6 ve % 6,8; ladin sahasında yine sırasıyla % 26,9 ve % 10,9 oranında düşürmüşlerdir. İkinci yılda ise kök ayrışması ve nem farkı düzeltmeleri kayın sahasında ilk yılda heterotrofik salınımı sırasıyla % 22,4 ve % 9,8; ladin sahasında yine sırasıyla % 23,5 ve % 13,0 oranında düşürmüşlerdir.

Díaz-Pinés ve ark. (2010) hendek uygulanan alanda kılcal köklerin ayrışmasından kaynaklanan fazladan CO_2 salınımı dikkate alınarak, ototrofik solunumun 2005 ve 2006 sezonları için sırasıyla % 20'den % 26'ya ve % 30'dan % 44'e yükseldiğini belirlemişlerdir. Bir çalışmada hendek uygulamasının yapaylık etkisine bağlı düzeltmelerden sonra, kök solunumunun toplam solunuma katkısı 2013 yılında % 23 ten 34 ve 2014 yılında % 9 dan 21 olmuştur. Çalışmada, düzeltme ile heterotrofik solunum 2013'te % 6,5 ve 2014'te % 3,5 azalmıştır (Savage ve ark., 2018).

Çalışmamızda, kök ve misel ayrışmasının etkisinin, toprak nemi içeriğindeki farklılıkların etkisinden kat kat daha büyük olduğu görülmektedir. Bu büyük etkinin kök ayrışmasından kaynaklandığı ve sadece küçük bir kısmın toprak suyu içeriğindeki

farklılıklardan kaynaklandığı tahmin edilen kayın ormanlarında yapılan iki çalışmanın (Epron ve ark., 1999a; Ngao ve ark., 2007) sonuçlarıyla tutarlıdır. Hendek deneylerinde toprak neminin göreceli önemindeki farklılıklar, yağış düzenlerindeki alan farklılıkları, toprak su tutma kapasitelerindeki farklılıkların yanı sıra kök yoğunluklarındaki farklılıklar nedeniyle ortaya çıkabilir (Comstedt ve ark., 2011). Sahalarımızın balçık toprağında, su tutma kapasitesi nispeten iyi olduğundan; köklerle su alımı olması veya olmaması, kontrol ve uygulama alanları arasında toprak nemi içeriğinde önemli farklılıklara neden olmuştur.

Hendek açmaya bir tepki sadece köklerin ayrışmasının artması değil, aynı zamanda muhtemelen fazla köksel-ektomikorizal miselinin ayrışmasının da artmasıdır (Högberg ve Högberg, 2002). Bu şekilde solunuma katkı olsa da çalışmamızda hendek uygulaması ile ilk solunumu ölçümü arasında geçen 7 aylık zaman bu ihtimali azaltmaktadır. Zira Koide ve Malcolm (2009) ölü materyal torbalarında sarılmış miselin (tek bir hif içeren), orman toprağında 1 ay inkübasyonundan sonra kuru maddesinin % 20-80 kadarının kaybolduğunu bulmuşlardır. Dolayısıyla hif dağılımı ve sayısı bu durumu değiştirebilir.

Hendek uygulaması yöntemlerinin yaygın bir varsayımı, hendek açıldıktan sonra kök kaynaklı toprak solunmasının tamamen bastırılmasıdır (Hanson ve ark., 2000; Lee ve ark., 2003). Ancak köklerin optik şekli ve esnekliğinin, hendek açıldıktan sonraki ilk birkaç ay kadar sürede çok fazla değişmemesi kılcal köklerin, hendek açıldıktan sonra nişasta rezervlerini kullandığına ve uzun süreli kök solunumu olduğuna işaret olabilir (Díaz-Pinés ve ark., 2010; Ewel ve ark., 1987; Lee ve ark., 2003). Bununla birlikte, birkaç çalışma, ana gövdeden kesilen köklerin kesimden sonra bir süre hayatta kalabileceğini ve solunumu sürdürebildiğini göstermiştir (Lee ve ark., 2003; Tate ve ark., 1993; Uchida ve ark., 1998). Ancak çalışmamızda ladin sahası uygulama alanlarında uygulamadan 7 ay sonra kılcal kök miktarı hem anlamlı azalmış hem de cansız görünüyordu. Kayın sahası uygulama alanında nispeten esnek kökler bulunsa da uzun süreli kök solunumunun etkisi önemli görünmüyordu, çünkü uygulama alanlarından salınan CO₂ hendek açıldıktan 8 ay sonra farklılaşmıştır.

Uygulama alanında yeni ölen köklerin ayrışması, heterotrofik toprak solunması oranını şişirir ve dolayısıyla ototrofik fraksiyonun düşük tahminine neden olabilir

(Epron ve ark., 1999a; Hanson ve ark., 2000; Kuzyakov, 2006). Bununla beraber uygulama alanında rizosfer salgılarının ayrışmaya teşvik etkisi ortadan kalkmıştır. O yüzden ilave kök ayrışması mevcudiyeti, diğer zor ayrışan bileşiklerin ayrışmasını başlatmak için yeterli karbonu sağlamış olabilir. Başlatma etkilerinin (priming effect) ölçülen büyüklüğü bitki türleri arasında büyük ölçüde değişebilmektedir (Abramoff ve Finzi, 2016; Phillips ve ark., 2008; Phillips ve ark., 2011; Savage ve ark., 2018).

Çalışmamızın ilk yılında S_T , Ekim ayında kayın sahasındaki anlamlı fazlalık hariç türler arasında anlamlı bir değişim göstermemiştir. Buna karşılık S_T bileşenleri olan kök (S_K) ve mikroorganizma (S_M) solunumu türler arasında anlamlı farklılık göstermiştir. Burada S_K kayın sahasında (Nisan, Mayıs, Haziran ve Kasım hariç) vejetasyon dönemi genelinde Ladine göre anlamlı fazla iken, S_M ladin sahasında (Ağustos ve Ekim hariç) kayına kıyasla anlamlı olarak fazladır. Her bir sahayı kendi içerisinde bileşenlere göre ele aldığımızda; kayın sahasında S_K Haziran, Temmuz, Ekim ve Kasım aylarında ve vejetasyon dönemi ortalamasında S_M miktarına kıyasla anlamlı olarak fazladır. Ladin sahasında ise S_M tüm vejetasyon dönemi boyunca S_K miktarına göre anlamlı fazladır. Dolayısıyla vejetasyon dönemi ortalamasında katkı oranları, kayın sahasında S_K ve S_M için sırasıyla % 57,6 ve % 42,4 ladin sahasında S_K ve S_M için sırasıyla % 41,7 ve % 58,3 şeklinde olmuştur.

Çalışmamızın ikinci yılında ise S_T Temmuz, Ağustos ve Kasım aylarında kayın sahasında anlamlı bir fazlalık göstermiştir. Bununla beraber S_T bileşenleri olan kök (S_K) ve mikroorganizma (S_M) solunumu türler arasında anlamlı farklılık göstermiştir. Burada S_K kayın sahasında (Mayıs ve Haziran hariç) vejetasyon dönemi genelinde ladine göre anlamlı fazla iken, S_M ladin sahasında (Temmuz ve Ağustos hariç) kayına kıyasla anlamlı olarak fazladır. Her bir sahanın kendi içerisinde bileşenlere göre ele aldığımızda; kayın sahasında S_K , Haziran hariç diğer aylarda ve vejetasyon dönemi ortalamasında S_M miktarına kıyasla anlamlı olarak fazladır. Ladin sahasında ise S_M Haziran ve Ağustos aylarında S_K miktarına göre anlamlı fazla iken Kasım ayında anlamlı şekilde düşüktür. Dolayısıyla vejetasyon dönemi ortalamasında katkı oranları, kayın sahasında S_K ve S_M için sırasıyla % 60,05 ve % 39,95 olurken ladin sahasında S_K ve S_M için sırasıyla % 49,96 ve % 50,04 şeklinde olmuştur.

İkinci yıl ölçümlerimiz uygulamanın etkisiyle ilave karbon salınımının sonraki yılda azaldığını göstermektedir. Zira her iki türün sahasında kök solunumunun (S_K) katkı oranı ilk yıla kıyasla ikinci yılda artış göstermiştir. Benzer şekilde Comstedt ve ark. (2011) modellenmiş ototrofik solunumun (S_K) kontroldeki toprak solunumuna (S_T) göreceli katkısını 2003 yılında % 55 (hendek açma ve sonrasında hesaplanmıştır) ve 2004'te % 64 olarak bulmuşlardır. Burada uygulama alanındaki ölü köklerin azalması veya ayrışma hızlarının düşmesi söz konusu olabilir. Lee ve ark. (2003) da köklerin ayrışması yoluyla karbon emisyonuna ilave katkının ilk yılın büyüme mevsiminde (Temmuz-Ekim 2000) yaklaşık % 16 olduğunu, ancak ikinci yılda (2001) yaklaşık % 7'ye düştüğünü belirtmişlerdir.

Çalışmamızdaki ladin sahasındaki kök solunumu katkı oranı; bir Avrupa ladini ormanında (% 46-48) (Kukumägi ve ark., 2017) ve bir bataklık ladini (*Picea mariana*) ormanında (% 37-53) (Schuur ve Trumbore, 2006) belirtilen değerler aralığındadır. Kayın sahamızdaki kök solunumu katkı oranı; bir kayın ormanında daha önce (% 60) (Epron ve ark., 1999a) ve sonra (% 52) (Epron ve ark., 2001) belirtilen değerler aralığında kalmaktadır.

Daha önceki birçok çalışma, S_K ve S_M bileşenlerinin toplam solunuma nispi oranının, farklı orman türleri, kök boyutları, orman yaşları, arazi kullanım değişiklikleri ve çevre koşullarında değişen nispeten geniş bir aralığa sahip olduğunu göstermiştir (Tian ve ark., 2011; Trumbore, 2006).

Hanson ve ark. (2000) yayınlanmış ~ 50 yayının sonuçlarını bir araya getirmiş ve köklerin toplam toprak solunumuna biyomlar üzerindeki katkısının % 10 ila 90 arasında değiştiğini, orman ekosistemleri için ortalama % 45-50 değerleri arasında olduğunu bulmuşlardır. Ayrıca kök bileşeninin altı ılıman ormandaki toplam solunumun % 52-83'ünü (Wang ve Yang, 2007), serin-ılıman yaprak döken ormanlarda % 27-71'ini (Lee ve ark., 2003), Güney Çin'deki subtropikal ormanlarda % 18-35'ini (Yi ve ark., 2007) ve tropikal bir ormanda % 38'ini (Sayer ve Tanner, 2010) oluşturduğu bildirilmiştir.

Yapılan çalışmalarda nem fazlalığı ve kök ayrışmasıyla ilgili düzeltmeler ile elde edilen katkı oranları düzeltmede kullanılan yöntem, ağaç türü, mevsim vs. faktörlere göre değişiklik gösterebilmektedir. Ladin ormanında yapılan bir çalışmada nem

modellemesi ile düzeltilen heterotrofik solunumdan modellenen ototrofik solunumun toplam toprak solunmasına nisbi katkısı düşük ve % 0 ila % 43 arasında değişerek her mevsimin başlarında (Nisan - Haziran başı) değişken olduğu daha sonra artarak Haziran ortasından itibaren % 35 ila 72 arasında değiştiği bulunmuştur. Çalışmada ototrofik solunumun nisbi oranındaki uç noktalar, Ağustos ve Eylül aylarının sonunda 2002'de % 63, 2003'te % 66 ve 2004'te % 72 olarak belirlenmiştir (Comstedt ve ark., 2011).

Çalışmamızın ilk yılında kayın sahasında en yüksek katkı oranı S_K için Ekimde % 64,6 ve S_M için Nisanda % 52,1 olarak belirlenmiştir. Ladin sahasında en yüksek katkı oranı S_K için Kasımda % 69,7 ve S_M için Eylülde % 66,9 bulunmuştur. İkinci yılda ise kayın sahasında en yüksek katkı oranı S_K için Temmuzda % 67,3 ve S_M için Haziranda % 50,8 olarak belirlenmiştir. Ladin sahasında en yüksek katkı oranı S_K için Kasımda % 65,2 ve S_M için Haziranda % 65,4 bulunmuştur. Bununla beraber solunum miktarının fazlalığı veya azlığına rağmen katkı oranları belli dönemlerde belirgin fazlalıklar göstermiştir.

Lee ve ark. (2010) göknar ve meşe meşcerelerinde yaptıkları çalışmada S_K 'nın S_T 'a katkısındaki mevsimsel değişiklik paterninin iki meşcere arasında farklılık gösterdiğini bildirmişler. Çalışmada S_K 'nın göknar meşceresindeki S_T 'a ortalama katkısı yaz aylarında en yüksek (Haziran-Ağustos, % 40) ve daha sonra azalırken, meşe meşceresinde günde (Eylül-Kasım, % 37) zirve yapmıştır.

Comstedt ve ark. (2011) Ladin ormanında kök solunumunun toplam toprak solunumuna göreceli katkısının, Ağustos-Eylül aylarında % 63-72 arasında zirve yaptığını bulmuşlardır. Bu dönemin aynı zamanda mikorizal köklerin ektramatrik miselyum üretiminin en büyük olduğuna inanıldığı zaman olan büyüme mevsimi zamanı ile de örtüştüğünü vurgulamışlardır.

Widén ve Majdi (2001) karışık *Picea abies* (L.) Karst.-*Pinus sylvestris* L. ormanı için Mayıs ayında % 33-62 olan kök solunumu katkı değerlerinin, Ekim ayında % 12-16'ya düştüğünü bildirmiştir.

Çalışmanın ilk yılında S_K ve S_M salınım değerleri S_T 'a benzer bir mevsimsel değişim seyri (Temmuzda en yüksek Nisan veya Kasım'da en düşük) göstermiştir. Ancak her

iki sahada özellikle kayın sahasında güz döneminde kök solunumunun ani artışı dikkati çekmektedir ve S_M düşüşü devam etmiştir. Dolayısıyla mevsimsel paternleri (T_S ve T_N değişimleri) göz önüne aldığımızda S_T 'daki değişimi kayın sahasında S_K 'nın etkilediği ladin sahasında S_M 'nın etkilediği teyit edilmiş olacaktır. Çünkü S_K 'nın Eylül'den sonraki nem artışına verdiği tepki kayın sahasında aynı şekilde S_T da bir ani artışla neticelenmiştir. S_M ise bu nemdeki ani değişime tepki vermeden düşen sıcaklıklar ile beraber kasıma kadar düşüş göstermiştir. İkinci yılda ise S_T 'un dönemsel değişimine (Temmuzda en yüksek Kasım'da en düşük) sadece S_K değerleri benzer eğilim göstermiştir. S_M ise temmuz ayında hızlı bir düşüş ile Ağustos'ta tekrar artmıştır. Aslında S_M T_S 'nın mevsimsel paternlerine bağlı bir trend ile temmuzdaki ani sıcaklık düşüşüne tepki vererek yaz döneminde özellikle ladin sahasında iniş çıkış şeklinde dalgalanma göstermiştir. Aynı temmuz döneminde S_K 'nın hızlı arttığı (Haziran'a göre 2-2,5 kat) kayın sahasında T_N artışı da S_K 'nın T_N 'deki ani değişimlerden etkilendiğini ve S_M 'nın T_S 'ndaki mevsimsel değişimlere bağlı olduğunu ikinci yılda da teyit etmiştir. Bu şekilde kayın sahasında S_K 'nın S_T 'da etkin olduğu ikinci yılda da görülmekle beraber ladin sahasında S_T 'a katkı S_M tarafından fazla olsa da özellikle yaz döneminde S_K 'nın daha etkin olabileceği anlaşılmaktadır.

Comstedt ve ark. (2011) Avrupa ladini ormanında mikroorganizma solunumu yerine, kök solunumu hızlarının kontrol parsellerindeki toplam toprak solunum hızları ile güçlü bir şekilde ilişkili olarak büyük zamansal değişimler gösterdiğini ve kök solunumunun toprak solunum oranlarındaki zamansal varyasyonlar üzerinde büyük bir etkiye sahip olduğunu ifade etmişlerdir. Wang ve ark. (2008) yaz başlarında yüksek kök solunum hızının, kök büyümesi ile ilişkili, yüksek fizyolojik aktivite ve besin alımı nedeniyle olabileceğini ifade etmişlerdir.

Savage ve ark. (2018) solunum bileşenlerinin mevsimsel eğilimler gösterdiğini ve S_K 'nın ağaçların en aktif olduğu yaz ortasında zirveye ulaştığını belirtmiştir. Daha sonra yaz ortalarından güze doğru azalma eğiliminde olup yer altı süreçlerini desteklemek için yer üstü karbonhidrat taşınmasının azaldığını belirlemiştir.

Çalışmamızda her iki yılda ve her iki sahada S_T ve bileşenleri olan S_K ve S_M 'nın T_S ile daima kuvvetli bir şekilde pozitif korelasyonları, nadiren ve zayıf şekilde T_N ile negatif korelasyonları olmuştur. Bu durum T_S 'na bağlı yüksek solunum değerlerinin

görüldüğü yaz aylarında nem azlığına, yine TS'na bağlı düşük solunum değerlerinin görüldüğü güz ve bahar aylarında yağış artışına bağlı bir ilişkidir. Yani TS solunumu doğrudan etkilerken toprak solunumunun TN ile negatif ilişkisi dolaylı bir durumdur. Dolayısıyla kısa dönemli ani TN değişimlerinin solunum miktarına etkisi bütün verilerin değerlendirilmesinde ortaya çıkmamış olabilir.

Çalışmamızdaki toprak solunumu ve bileşenlerinin mevsimsel seyrini ve TS ile pozitif ilişkilerini dikkate aldığımızda gerek S_T gerekse bileşenleri olan S_M ve S_K toprağın sıcaklık değişiminden oldukça etkilenmektedir. Andersen ve ark. (2005) Avrupa ladin ve Avrupa kayını ormanlarında yaptıkları çalışmada sıcaklığın toprak solunumunda mevsimsel değişiklikleri etkileyen baskın faktör olarak ortaya çıktığını ve toprak sıcaklığının, Ağustos 2002'den Mayıs 2003'e kadar gözlenen toprak solunumundaki mevsimsel değişimin kabaca üçte ikisini açıkladığını belirtmişlerdir. Çalışmamızda toplam toprak solunumun toprak sıcaklığı ile etkileşiminde TS TN ile birlikte, S_T 'daki değişimin kayın sahasında ilk yılda % 21 ikinci yılda %50'sini, ladin sahasında ilk yılda % 25 ikinci yılda % 55'ini açıklamıştır. Diğer birçok çalışma da özellikle toprak suyu stresi bulunmadığında toprak solunumunun kontrolünde sıcaklığın baskın rolünü göstermiştir (Andersen ve ark., 2005; Hanson ve ark., 2000; Janssens ve Pilegaard, 2003; Raich ve Schlesinger, 1992; Yuste ve ark., 2003). Solunum ve toprak sıcaklığı arasında bulduğumuz korelasyon, daha önce bildirilen diğer çalışmalardan elde edilen sonuçlarla tutarlıdır (Maier ve Kress, 2000; Raich ve Schlesinger, 1992; Rey ve ark., 2002; Striegl ve Wickland, 2001; Tian ve ark., 2011; Tüfekçioğlu ve Küçük, 2004).

Çalışmamızda toplam solunum ve bileşenlerinin sıcaklıkla olan ilişkisi toprak neminde daha az görülmüştür. Ladin sahasında TN ile S_M 'nın pozitif ve kayın sahasında TN ile S_K 'nın negatif ilişkileri olsa da, etkileşimlerinde toprak nemi bu bileşenlerin değişiminin ancak % 5'ini açıklamıştır. Bu durum mevsimsel solunum değişimini kontrol eden faktörlerin toprak solunumunun iki bileşeni (kök ve mikroorganizma) arasında farklı olduğunu ve kök solunumunun sadece abiyotik faktörler tarafından değil, aynı zamanda bitkilerin fenolojik değişimleri tarafından da kontrol edildiğini göstermektedir (Lee ve ark., 2003). Muhtemelen S_K , fotosentezden substrat sağlanmasına TS'na göre daha bağımlıdır (Hartley ve ark., 2007; Hopkins ve ark., 2013; Högborg ve ark., 2001). Bu nedenle solunumdaki varyasyonun altında yatan başka neden de biyotik faktörler olabilir. Ilıman ormanlarda, ince kök büyümesinin

çoşmasının çoğu, ilkbaharda veya yaz başında tepe tacı gelişimine karşılık gelir, bu da yaprak genişlemesi aktifken, toprak sıcaklığı hala düşük olduğunda daha yüksek kök solunumunun meydana gelebileceği anlamına gelir. Bu nedenle, ağaç fenolojisi ve kök büyümesi, S_K 'nın mevsimsel kalıplarının kontrolünde daha önemli roller oynayabilir (Yan ve ark., 2015).

Önceki çalışmalar, bitki fotosentezi, son fotosentez ürünlerinin tahsisi ve kök üretimi gibi toprak fiziksel koşulları dışındaki faktörlerin, yıllık S_K 'nın kontrolünde daha önemli olabileceğini düşündürmektedir (Högberg ve ark., 2001; Rey ve ark., 2002; Yan ve ark., 2015).

Lee ve ark. (2010) S_K 'nın sonbaharda meşe meşceresinde yüksek ortalama katkısı, ince kök büyümesi (büyüme solunumu) ile ilişkili yüksek fizyolojik aktiviteden kaynaklanmış olabileceğini belirtmişlerdir. Eylül ortasından Ekim sonuna kadar olan dönem, benzer geniş yapraklı yaprak döken ormanlarda yüksek kök büyümesi ve döngüsü ile karakterizedir (Satomura ve ark., 2006).

Her ne kadar toprak üstü ölü örtü üretimi kayın sahasında ladinden daha yüksek olmasına rağmen ladin sahasında S_M kayından daha yüksekti. Bunun nedeni ladinde toprak organik karbonu olarak daha fazla karbonun yeraltına taşınması olabilir (Li ve ark., 2006).

Çalışmamızda ladin sahasında nispeten yüksek heterotrofik katkı, toprağın yüksek organik karbon içeriğinin bir sonucu olabilir. Bu, düşük ototrofik katkı ile sonuçlanır ki bu da su sınırlaması olmayan çok elverişli alan koşulları ve orman meşceresinin oldukça rekabetçi yapısı ile açıklanabilir. Su veya besin maddeleri için rekabetin azalması durumunda, bitkiler ışık için rekabet etmek için yer üstüne daha fazla karbon yatırımı yapabilirler (Ferréa ve ark., 2012). Chen ve Yang (2011)'in analizine göre, yer üstünde karbon tahsisini elverişli hale getiren koşullar, kök solunumunun toplam solunuma katkısının azalmasına neden olacaktır. Buna ek olarak, çalışma sahamızın diğer ılıman ormanlarla karşılaştırıldığında nispeten düşük ince kök biyokütle yoğunluğu bu fikri desteklemektedir. Ladin sahasında daha yüksek toprak organik karbon içeriği ayrıca mikroorganizma solunumu için daha fazla substrat kaynağı sağlamış olabilir (Luo ve ark., 2012).

Heterotrofik toprak solunumu ile toplam toprak azotu içeriği arasındaki yüksek korelasyonun, azot mevcudiyetinin nemli tropik ormanlardaki ayrışma süreci için de kritik olabileceği belirtilmiştir (Li ve ark., 2006). Mikrobiyal aktivite ve mikrobiyal biyokütle, toprakta organik madde substratları ile güçlü bir şekilde ilişkilidir (Lee ve Jose, 2003).

S_M esas olarak toprak sistemlerindeki biyofiziksel ortamlar ve substrat alınabilirliği/mevcudiyeti tarafından kontrol edilirken (Cisneros-Dozal ve ark., 2006) S_K , çoğunlukla yer altı C tahsisi (Högberg ve ark., 2009), kök büyümesi ile ilgili fizyolojik faaliyetlerle (Lee ve ark., 2003) ve ağaç türlerinin fenolojik karakterleri (Yi ve ark., 2007) tarafından düzenlenmektedir.

Çalışmamızda toprak solunumunun bileşenlerinin baskınlığının türe göre değişmesinde karbon ve azot dinamikleri etkili olmuş görünmektedir. Kayın sahasında S_T ve S_K ile N_M arasındaki negatif ilişki bitki besin maddesi alımında mikroorganizmalar baskın oldukça köklerin besin maddesi alımı ile metabolik faaliyetinin azaldığına işaret eder. Yine bu sahada S_{MB} ile S_M arasındaki pozitif ilişki nedeniyle bu alanda mikroorganizmaların organik substratları etkin şekilde kullanarak daha fazla biyokütle ürettiğini ancak enerji için nispeten ladine göre az karbon harcadığı düşünülebilir. Ladin sahasında ise S_T ve S_M ile qCO_2 arasında pozitif ilişki yüksek çıkan S_M oranını açıklamaktadır. Yani mikroorganizmalar organik substratları etkin bir şekilde kullanarak enerji için kullanıp CO_2 üretmektedirler. Bu durumu aynı bileşenin C_M ve C_O ile negatif ilişkisi teyit etmektedir. Mikroorganizmalar organik maddeyi hızlı bir şekilde ayrıştırarak CO_2 üretirken C_O kaynaklarını azaltmakta ve mikrobiyal biyoküttele bünyesine kattığı karbon azalmaktadır. Ayrıca ladin sahasında C_M , S_M 'ndaki değişikliklerin % 41'ini açıklamaktadır. En önemlisi her iki sahada toplam solunum ve bileşenlerinin N_N ile pozitif ilişkileridir. Zira ladin sahasında ayrışma ile beraber hızlı bir mineralizasyon görülmektedir. Kayın sahasında ise alınabilir azot bileşikleri arttıkça kök aktivitesi artmıştır. Keza mineral azot da toprak solunumu ve bileşenlerinin yaklaşık % 30'unu izah etmektedir. Ladin sahasında da yine S_K ile S_{MB} arasındaki pozitif ilişki köklerle rizosferik bakterilerin ilişkisine veya mikrobiyal faaliyet ile artan mineral azotun köklere alımının arttığına işaret olabilir.

Toprak solunumu ve bileşenlerinin birçok toprak özelliği ile birebir doğrudan anlamlı ilişkileri solunumdaki değişimleri izah etmektedir. Bununla beraber toprağın sıcaklığı, nemi, organik madde ve azot içeriği, toprak reaksiyonu ve tekstürü; bunlar toprak solunumu ve bileşenleri için modellendiğinde, solunumdaki varyasyonun % 60 kadarını açıklamaktadırlar. Dolayısıyla toprak solunumu ve bileşenlerinin çevresel iklim koşulları yanı sıra biyojeokimyasal faktörler ile ilişkili olduğu ve bunlardaki değişime solunumdaki her bir bileşenin farklı tepki verdiği söylenebilir. İkinci yılda biyokimyasal faktörler belirlenmediğinden toprak nemi ve sıcaklığı ile beraber kılcal ve ince kök değerleri, solunum için modele dahil edilmiş ve kayın sahasında toplam solunumdaki değişiminin % 47'sini, ladin sahasında ise toplam solunumun % 77'lik kısmını açıklamışlardır. Zira kök örneklemesine tekabül eden Mayıs ve özellikle Kasım'da anlamlı şekilde kök solunumu ladin sahasında yüksek çıkmıştır. Dolayısıyla kök solunumu toplam solunumu açıklayan bileşen olmuştur. Ayrıca her döneme ait kök verilerinin elde edilmesi, toplam solunum ile onun önemli bir kaynağı olan köklerin ilişkisini ortaya koymada önemlidir.

5 SONUÇ VE ÖNERİLER

1. Her iki kayın ve ladin sahasında topraklar “kumlu killi balçık” türündedir ve kil içeriği ladin sahasında daha fazladır. Toprakların tekstürel yapısı bitki gelişimi için elverişli olup besin ve hava ekonomileri ve su tutma kapasiteleri iyidir.

2. Kayın ve ladin sahasında topraklar şiddetli derecede asit reaksiyon göstermekte ve kayın sahası uygulama alanında toprağın ortamının daha nemli olması ve canlı kök olmaması asitlik derecesini azaltmaktadır.

3. Ladin sahası toprak organik maddesi içeriği kayın sahasından daha fazladır ve ladin sahasında ilkbahardan sonra azalmıştır. Türler arasındaki farklılıkta ölü örtü bileşimi ve ayrışma hızı etkili olmaktadır. Özellikle mevsimsel değişimde TOM’nin mikrobiyal biyokütle ve faaliyet ile karşılıklı ilişkileri etkili görülmektedir.

4. Toprakaltı kök biyokütlerde kılcal ve ince kök kütlesi ilk yılda ladin sahasında kayın sahasından daha fazla iken ikinci yılda birbirine yakındır. Her iki sahada iki yılda nispeten kılcal kök üretimi görülmüştür. Hendek açama uygulamasının etkisiyle kesilen ve ölen kökler ise ayrılmıştır. Ladin sahasında ölü köklerin % 75’inden fazlası ayrılarak kayına göre daha hızlı ayrışma görülmüştür.

5. Toprak mikrobiyal karbonu kayın sahasında ladin sahasına göre fazladır ve ladin sahasında ilkbahardan sonra düşmüştür. Mikrobiyal karbonu organik maddenin kalite ve miktarı etkilemekle beraber uygulamanın etkisiyle daha nemli ve köksüz ortamda artmıştır. Mevsimsel değişimde toprak sıcaklığı ile ters yönde değişen karbon ve azot bileşenleri mikrobiyal biyokütle ve popülasyonu etkilemiş görünmektedir.

6. Toprakta organik karbon içeriği de organik madde gibi ladin sahasında daha fazladır ve ladin sahasında ilkbahardan sonra azalmıştır. Türler arasındaki farklılık ölü örtü bileşimlerinden ve ayrışma derecesinden kaynaklanabilir. Ayrıca ladin sahasında kök kütlesinin fazla olması ve kök ayrışmasının daha hızlı olması bu durumu desteklemektedir. Bunun yanında ladin sahasında kil içeriğinin fazla olması da organik C içeriğini arttırmış olabilir.

7. Toprak toplam karbonu da ladin sahasında kayın sahasına göre daha fazladır ve bunda toplam karbonun önemli bir kısmı olan organik C içeriğinin ladin sahasında daha fazla olması etkindir. Toplam karbon miktarı sahalarda mevsimsel bir değişim göstermemiş ancak uygulamanın türe göre değişen etkisi görülmüştür. Kayın sahasında ölü köklerin yavaş ayrışması ile karbon birikimi toplam karbonu arttırmış gibi görünürken, ladin sahasında şiddetli ölü kök ayrışması zor ayrışan kısmı da ayrışmaya teşvik etmiş olabilir.

8. Toprakta mikrobiyal azot miktarı da mikrobiyal karbon gibi kayın sahasında Ladine kıyasla fazladır. Her iki sahada mikrobiyal azot miktarı ilkbahardan sonra düşmüştür. Bu değişimlerinde toprak nemi ile ilişkili olarak mikrobiyal azotta azalış veya artışlar olduğu düşünülmektedir.

9. Toprakta mineral azot miktarı kayın sahasında ladin sahasına göre daha fazladır. Her iki sahada mineral azot miktarı ilkbahardan sonra artmıştır. Uygulamanın etkisiyle kök faaliyeti olmayan ortamda bitkiye alım ortadan kalktığı için mineral azot miktarı artmıştır. Nisan'dan sonra artan mikrobiyal faaliyet yoluyla TOM ayrışması, mineralizasyon ile neticelendiğinden ilkbahardan sonraki mineral azot artışına yol açmış olabilir.

10. Toprak toplam azot içeriği her iki kayın ve ladin sahasında benzerdir ve mevsimsel olarak değişim olmamıştır. Ladin sahasında uygulamanın etkisiyle bitkiye alınmayan mineralize olmuş azot yağışla yıkanmasıyla toplam azot azalmıştır.

11. Toprakta substratların karbon bileşiklerinin alınabilirliği kayın sahasında fazladır ve mikrobiyal biyokütle bünyesinde alıkonulma oranı fazladır. Ladin sahasında da kısmen benzerdir ancak uygulamanın etkisiyle, enerji kullanımı ile karbon salınımı artarken organik substratın mikrobiyal bünyede tutulması azalmıştır. Her iki sahada mevsimsel olarak yaza doğru karbonun mineralizasyonu artarken mikrobiyal biyokütle bünyesine fazla geçmemiştir.

12. Kayın sahasında azot bileşiklerinin alınabilirliği ladin sahasına göre daha fazladır. Yine kayın sahasındaki Ladine kıyasla düşük TOM, organik maddenin etkin bir şekilde kayın sahasında ayrıştırıldığını göstermektedir. Ayrıca ladin sahasında

uygulamanın etkisiyle artan bu yüzde uygulama alanında nispeten düşük organik madde ile de ilişkilidir.

13. Mikrobiyal enerji potansiyelini gösteren toprakta mikrobiyal bazal solunum Her iki kayın ve ladin sahasında benzerdir. İlkbahardan sonra kayın sahasında daha önemli düzeyde olarak artmıştır. Artan sıcaklık ile ilişkili bulduğumuz bazal solunumun artmasında substrat mevcudiyetinin etkili olduğunu C_T ve N_T ile pozitif ilişkisi gösterebilir.

14. Her iki kayın ve ladin sahasında enerji için organik substratların etkin bir şekilde kullanıldığı görülmektedir. Sadece ladin sahasında yaz döneminde substrat kullanımındaki stresten ziyade mikrobiyal biyokütle az olması yanında organik karbonun da azalmış olması söz konusudur.

15. Toprak sıcaklığı mevsimsel bir değişim izlemiş ve en yüksek sıcaklıklara Ağustos ayında en düşük sıcaklıklara Kasım ayında rastlanmıştır. Serin ve nemli aylarda her iki saha arasındaki sıcaklıklar nispeten farklı olmuştur. İki yılın toprak sıcaklıklarını göz önünde bulundurduğumuzda, aynı ayda ölçülen iki yıla ait toprak sıcaklıkları farklı olabilmektedir.

16. Toprak nemi içeriği de mevsimsel bir değişim izlemiş yağışların yaz boyunca azalması ile eylülde en düşük, yağışlı dönemlerde en yüksek miktara ulaşmıştır. Kayın sahası buharlaşmayı azaltan daimi ölü örtü tabakası ve nispeten düşük intersepsiyon nedeniyle ladin sahasına göre daha fazla nem içeriğine sahiptir.

17. Topraktan karbon salınımında kontrol alanları esas (uygulamanın etkisi tür farkını değiştireceğinden) alındığında kayın ve ladin sahaları arasında ilk yılda farklılık olmazken ikinci yılda Temmuz'dan itibaren anlamlı olarak kayında fazladır. Ayrıca her iki sahada hendek açma uygulamasının etki düzeyi her iki yılda farklı olmuştur. Her iki yılda kayın sahasında uygulama CO_2 salınımını oldukça düşürürken, ladin sahasında ilk yılda uygulama yaz ortasında kadar kısmen düşürse de güz başında anlamlı arttırıp güz sonunda ise anlamlı şekilde düşürmüştür. Ladin sahasında uygulama alanı kök kütlesi değişimine dayanarak; kontrol alanına kıyasla yüksek veya çok yakın karbon salınımının, ortamda mikrobiyal solunumu arttıran substrat arzı olduğu düşünülmektedir. Bu şekilde heterotrofik solunum olduğundan fazla tahmin

edilir. Alanlar arasında nem farkından da kaynaklanan bu durumda, kontrol ve uygulama arasındaki farkın anlamlı olup olmadığına bakılmaksızın mikroorganizma solunumuna atfedilen uygulama alanı karbon salınımı için düzeltme gereklidir.

Dolayısıyla nem artması ve kök ayrışması yapaylık etkileri göz önüne alınarak belirlenen solunum bileşenleri katkısı her iki sahada çok farklı olmuştur. Kayın sahasında baskın toprak solunumu bileşeni kök solunumu olurken ladin sahasında baskın toprak solunumu bileşeni mikroorganizma solunumu olmuştur. Yine de bazı aylarda özellikle ikinci yılda ladin sahasında kök solunumunun kısmen fazla veya baskın olduğu aylara rastlanılmıştır.

Toprakta kök ve mikroorganizma bileşenlerinin katkı oranları türlere ve mevsime göre değişiklik göstermiştir. Toprak solunumu bileşenlerinin her iki yıldaki katkı oranlarını dikkate aldığımızda; kayın sahasında kök solunumunun ortalama katkısı % 58,8 ve mikroorganizma solunumunun ortalama katkısı % 41,2 olmuşken, ladin sahasında kök solunumunun ortalama katkısı % 45,8 ve mikroorganizma solunumunun ortalama katkısı % 55,2 olmuştur.

Toplam toprak solunumu ve bileşenleri, mevsimsel olarak değişen toprak sıcaklığı ile ilişkili olmuşlar ve özellikle mikroorganizma solunumu daha kuvvetli ilişki göstermiştir. Toprak nemi ile nadiren ve zayıf bir ters korelasyon görülse de kayın sahasında kısa dönemli toprak nemi değişimlerinde kök solunumu aynı yönde tepki vermiştir. Burada kök solunumu değişiminde türe özgü biyotik faktörler de etkili olabilir. Ayrıca solunum bileşenlerinin varyasyonunda karbon ve azot dinamiklerinin türe ve mevsime bağlı değişimlerinin etkili olduğu düşünülmektedir. Söz konusu faktörler beraber birden solunum için modellendiğinde toprak solunumu ve bileşenlerinin önemli kısmını açıklamaktadır.

Toprak solunumu ve bileşenlerinin çevresel iklim koşullar yanı sıra biyojeokimyasal faktörler ile ilişkili olduğu ve bunlardaki değişime solunumdaki her bir bileşenin farklı tepki verdiği söylenebilir.

18. Çalışmamız kayın ve ladin türlerinin Artvin ilindeki bazı meşcereleri için toprak solunumunun kök ve heterotrofik bileşenlerinin ayrımını hendek uygulaması yöntemiyle ortaya koymuştur. Bu ve buna benzer çalışmalarda hendek

uygulamasından başka yöntemlerle ayrıca veya entegre olarak kullanılması bileşenlerin katkı oranlarını mukayese edilmesinde yararlı olacaktır. Bu yöntemlerden mesela kabuk soyma yönteminde toprağın nem içeriğinde önemli değişim olmadığından çalışmamızda kullandığımız hendek uygulamasının nem artırma etkisi de ortadan kalkmış olacaktır. Bunun yanı sıra kök solunumu içinde kabul edilen rizosferdeki mikrobiyal solunumun ayrımını sağlayan uygun yöntemler de beraber düşünülebilir.

Solunum bileşenlerinin tam anlamıyla ayrımı için rizo-mikrobiyal solunum ayrımı gerekli olduğu gibi ölü örtüden kaynaklı karbon salınımının da ortaya konulması gereklidir. Bunun için de kontrol ve uygulama parsellerinde ayrıca ölü örtüden arındırılmış noktalarda solunum ölçümleri yapılabilir. Toprak solunumunun kök bileşeni türe göre değiştiğinden türün doğrudan etkisi altında olan ölü örtü solunumunun belirlenmesi karbon salınımında ağaç türünün etkisini ortaya koymaya yardımcı olacaktır. Ölü örtü ayrışması ve miktarının belirlenmesi ile bunun yorumlanmasına da katkı sağlanabilir. Ek olarak bu çalışmalarda fotosentez (karbon assimilasyonu) potansiyeli yanı sıra ölü örtüdeki, toprak üstü biyokütledeki ve toprakaltı biyokütledeki karbon stokları da ortaya konulursa orman ekosisteminin karbon döngüsündeki rolünü anlamada yardımcı olacaktır.

Toprak solunumu bileşenlerinin kaynağı olan ölü örtü ve organik maddenin kimyasal bileşimleri ve kök miktarı birçok faktörün etkisiyle değişebildiği literatürde geniş şekilde ortaya konulmuştur. Çalışmamızda türe ve mevsime göre değerlendirdiğimiz toprak solunumunun kök ve mikroorganizma bileşenlerini; yine bu yörede ve ülkemizde diğer bakı, meşcere yaşı, yamaç konumu, yükselti vb. faktörlere göre değerlendiren çalışmalar da gereklidir.

Çalışmamızda ölçtüğümüz parametreler yanı sıra, mineralizasyon potansiyeli, kök bazal solunumu, mikrobiyal topluluk belirlenmesi (bakteri mantar sayımı) gibi parametrelerin de ölçülmesi; hem bileşen ayrımının yorumlanmasını hem de uygulama etkisinin anlaşılmasını kolaylaştırabilir. Daha da önemlisi bu önerdiğimiz ve bu çalışmada belirlediğimiz parametrelerin daha sık periyotlarda özellikle solunum ölçümleri ile eş zamanlı olarak yapılması daha anlamlı korelasyonlar sağlayacaktır.

Çalışmamız iki yıl sürmüş ve söz konusu yıllarda alanların konumu itibariyle vejetasyon periyodu diyebileceğimiz süreçte gerçekleşmiştir. Meşcerelerin yıllık toplam solunumunu ortaya koymada bütün yılı veya başladığı dönemden itibaren 12 ayı kapsayan çalışmalar daha açıklayıcı olacaktır. Ayrıca iki yılın sonuçlarında türe göre solunum miktarı değişiminde iki yıl arasında farklılıklar olduğundan ve aynı zamanda yağış dağılımında farklılık olduğundan bu çalışmalar iki yıldan daha uzun sürelerle yayılabilir.

Çalışmamızda hendek açma uygulamasının etkisi ile alanlarda mineral azot miktarının birkaç kat artması, silvikültürel açıdan toprakaltı ölü köklerin önemini göstermektedir. Zira toprak üstünde ölü materyal artışına yol açan kesim artıklarının ayrışması sürecinde toprağa kazandırılacak besin maddesi yanında kök ayrışması ile önemli miktarda mineral azot artışı da müdahalenin (gençleştirme vs.) başarısına katkı sağlayabilir. Dolayısı ile uygulamada bu durum dikkate alınabilir.

Bitkilerin karbon asimilasyonu, küresel ısınmayı hafifletmede karbon depolama potansiyeli ile ormanların önemini göstermektedir. Bununla beraber bitki ve toprak solunumu ile karbon salınım fonksiyonu da göz ardı edilmemelidir. Çalışmamızda kayın türü kök solunumu ile toprak solunumuna daha fazla katıldığından ladin türüne göre daha fazla karbon salınımına yol açmıştır. Yöredeki bu meşcerelerin yönetiminde fonksiyonel ormancılık uygulamalarında (iklim değişikliğini önleme fonksiyonu) bu türler için bu durum göz önünde bulundurulabilir.

6 KAYNAKLAR

- Aber, J. D., Melillo, J. M., Nadelhoffer, K. J., McClaugherty, C. A. ve Pastor, J., 1985. Fine root turnover in forest ecosystems in relation to quantity and form of nitrogen availability: a comparison of two methods, *Oecologia*, 66(3), 317-321.
- Abramoff, R. Z. ve Finzi, A. C., 2016. Seasonality and partitioning of root allocation to rhizosphere soils in a midlatitude forest, *Ecosphere*, 7(11), e01547.
- Adachi, M., Bekku, Y. S., Rashidah, W., Okuda, T. ve Koizumi, H., 2006. Differences in soil respiration between different tropical ecosystems, *Applied soil ecology*, 34(2-3), 258-265.
- Akbaş, M., 2014. Artvin Kafkasör yöresindeki doğu ladini meşçereleri ve bitişindeki çayırılık alanlarda bazı fiziksel ve kimyasal toprak özelliklerinin belirlenmesi ve mikrobiyal biyokütle içeriği değişiminin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Artvin Çoruh Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Artvin.
- Akburak, S., 2008. Belgrad ormanında farklı ağaç türleri altında toprak solunumunun mevsimsel değişimi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Akburak, S., Oral, H., Ozdemir, 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.
- Alef, K., 1995. *Soil respiration*, Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry, In: Nannipieri, K.A.a.P. (Ed.), Academic Press, London, 214–218.
- Alvarez, E., Torrado, V. M., Fernández Marcos, M. L. ve Díaz-Raviña, 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.
- Andersen, C. P., Nikolov, I., Nikolova, P., Matyssek, R. ve Häberle, K.-H., 2005. Estimating “autotrophic” belowground respiration in spruce and beech forests: decreases following girdling, *European Journal of Forest Research*, 124(3), 155.
- Anderson, T.-H., 2003. Microbial eco-physiological indicators to asses soil quality, *Agriculture, ecosystems & environment*, 98(1), 285-293.
- Anderson, T.-H. ve Domsch, K., 1990. Application of eco-physiological quotients (qCO₂ and qD) on microbial biomasses from soils of different cropping histories, *Soil Biology and Biochemistry*, 22(2), 251-255.

- Anderson, T.-H. ve Domsch, K., 1993. The metabolic quotient for CO₂ (qCO₂) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils, *Soil Biology & Biochemistry*, 25(3), 393-395.
- Anderson, T.-H. ve Domsch, K. H., 1989. Ratios of microbial biomass carbon to total organic carbon in arable soils, *Soil Biology and Biochemistry*, 21(4), 471-479.
- Anderson, T. ve Domsch, K., 1986. Carbon link between microbial biomass and soil organic matter, *Perspectives in Microbial Ecology*, 21, 467-471.
- Andrews, J. A., Harrison, K. G., Matamala, R. ve Schlesinger, W. H., 1999. Separation of root respiration from total soil respiration using carbon-13 labeling during free-air carbon dioxide enrichment (FACE), *Soil Science Society of America Journal*, 63(5), 1429-1435.
- Anggria, L., Kasno, A. ve Rochayati, S., 2012. Effect of organic matter on nitrogen mineralization in flooded and dry soil, *Journal of Agricultural and Biological Science*, 7(8), 586-590.
- Anonim, 1984. Çoruh Havzası Toprakları, Yayın no 756, Tarım ve Köyişleri Bakanlığı Topraksu Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Anonim, 1987. Artvin İli Arazi Varlığı, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Yayınları, İl Rapor No 28, TC Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı, Ankara.
- Anonim, 2005. Artvin İl Gelişme Planı (AGEP), T.C. Artvin Valiliği, Artvin.
- Anonim, 2006a. Artvin Orman Bölge Müdürlüğü, Artvin İşletme Müdürlüğü, Saçinka İşletme Şefliği Orman Amenajman Planı (2006-2025), Artvin.
- Anonim, 2006b. Artvin Orman Bölge Müdürlüğü, Artvin Orman İşletme Müdürlüğü, Artvin İşletme Şefliği Orman Amenajman Planı (2006-2025). , Artvin.
- ArchMiller, A. A. ve Samuelson, L. J., 2016. Partitioning longleaf pine soil respiration into its heterotrophic and autotrophic components through root exclusion, *Forests*, 7(2), 39.
- Arunachalam, A. ve Arunachalam, K., 2000. Influence of gap size and soil properties on microbial biomass in a subtropical humid forest of north-east India, *Plant and soil*, 223(1-2), 187-195.
- Atalay, İ., 2006. Toprak oluşumu, sınıflandırılması ve coğrafyası, Çevre ve Orman Bakanlığı.
- Bauhus, J. ve Khanna, P., 1999. *The significance of microbial biomass in forest soils*, Going Underground - Ecological Studies in Forest Soils, In: J. N.R.a., Bauhus (Eds.), Research Signpost, Trivandrum, India, pp. 77-110.

- Bauhus, J., Paré, D. ve Co té, L., 1998. Effects of tree species, stand age and soil type on soil microbial biomass and its activity in a southern boreal forest, *Soil Biology and Biochemistry*, 30(8), 1077-1089.
- Bhupinderpal-Singh, Nordgren, A., Ottosson Löfvenius, M., Högberg, M., Mellander, P. E. ve Högberg, P., 2003. Tree root and soil heterotrophic respiration as revealed by girdling of boreal Scots pine forest: extending observations beyond the first year, *Plant, Cell & Environment*, 26(8), 1287-1296.
- Bolat, İ., 2011. Kayın, göknar ve göknar-kayın meşcerelerinde üst toprak ve ölü örtüdeki mikrobiyal biyokütle karbon (C_{mic}), azot (N_{mic}), fosfor (P_{mic}) ve mikrobiyal solunumun mevsimsel değışimi, Doktora Tezi, Bartın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bartın.
- Bond-Lamberty, B., Bronson, D., Bladyka, E. ve Gower, S. T., 2011. A comparison of trenched plot techniques for partitioning soil respiration, *Soil Biology and Biochemistry*, 43(10), 2108-2114.
- Bond-Lamberty, B., Wang, C. ve Gower, S. T., 2004. Contribution of root respiration to soil surface CO₂ flux in a boreal black spruce chronosequence, *Tree Physiology*, 24(12), 1387-1395.
- Bond-Lamberty, B., Wang, C. ve Gower, S., 2002. Annual carbon flux from woody debris for a boreal black spruce fire chronosequence, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 107(D23), WFX 1-1-WFX 1-10.
- Bond-Lamberty, B., Wang, C. ve Gower, S. T., 2004. A global relationship between the heterotrophic and autotrophic components of soil respiration?, *Global Change Biology*, 10(10), 1756-1766.
- Boone, R. D., Nadelhoffer, K. J., Canary, J. D. ve Kaye, J. P., 1998. Roots exert a strong influence on the temperature sensitivity of soil respiration, *Nature*, 396(6711), 570.
- Borken, W. ve Beese, F., 2005. Soil respiration in pure and mixed stands of European beech and Norway spruce following removal of organic horizons, *Canadian journal of forest research*, 35(11), 2756-2764.
- Borken, W., XU, Y. J., Davidson, E. A. ve Beese, F., 2002. Site and temporal variation of soil respiration in European beech, Norway spruce, and Scots pine forests, *Global Change Biology*, 8(12), 1205-1216.
- Bowden, R. D., Nadelhoffer, K. J., Boone, R. D., Melillo, J. M. ve Garrison, J. B., 1993. Contributions of aboveground litter, belowground litter, and root respiration to total soil respiration in a temperate mixed hardwood forest, *Canadian journal of forest research*, 23(7), 1402-1407.
- Brady, N. C., 1984. The nature and properties of soils, MacMillan Publishing Company, New York, 0029460301, 750 pp.

- Brant, J. B., Myrold, D. D. ve Sulzman, E. W., 2006. Root controls on soil microbial community structure in forest soils, *Oecologia*, 148(4), 650-659.
- Bremner, J. M. ve Keeney, D. R., 1965. Steam distillation methods for determination of ammonium, nitrate and nitrite, *Analytica Chimica Acta*, 32, 485-495.
- Brookes, P., Landman, A., Pruden, G. ve Jenkinson, D., 1985. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: a rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil, *Soil Biology and Biochemistry*, 17(6), 837-842.
- Buchmann, N., 2000. Biotic and abiotic factors controlling soil respiration rates in *Picea abies* stands, *Soil Biology and Biochemistry*, 32(11-12), 1625-1635.
- Burton, A. J., Zogg, G. P., Pregitzer, K. S. ve Zak, D. R., 1997. Effect of measurement CO₂ concentration on sugar maple root respiration, *Tree Physiology*, 17(7), 421-427.
- Butnor, J. R., Johnsen, K. H., Oren, R. ve Katul, G. G., 2003. Reduction of forest floor respiration by fertilization on both carbon dioxide-enriched and reference 17-year-old loblolly pine stands, *Global Change Biology*, 9(6), 849-861.
- Ceylan, S., 1995. Artvin yöresinin coğrafi etüdü, Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Erzurum.
- Chen, C., Condron, L., Davis, M. ve Sherlock, R., 2003. Seasonal changes in soil phosphorus and associated microbial properties under adjacent grassland and forest in New Zealand, *Forest Ecology and Management*, 177(1-3), 539-557.
- Chen, C. R., Condron, L. M., Davis, M. R. ve Sherlock, R. R., 2000. Effects of afforestation on phosphorus dynamics and biological properties in a New Zealand grassland soil, *Plant and soil*, 220(1), 151-163.
- Chen, G.-s. ve Yang, Y.-s., 2011. Relationships between carbon allocation and partitioning of soil respiration across world mature forests, *Plant Ecol*, 212, 195-206.
- Chen, X., Eamus, D. ve Hutley, L. B., 2004. Seasonal patterns of fine-root productivity and turnover in a tropical savanna of northern Australia, *Journal of Tropical Ecology*, 20(2), 221-224.
- Cheng, W., 1999. Rhizosphere feedbacks in elevated CO₂, *Tree Physiology*, 19(4-5), 313-320.
- Cisneros-Dozal, L. M., Trumbore, S. ve Hanson, P. J., 2006. Partitioning sources of soil-respired CO₂ and their seasonal variation using a unique radiocarbon tracer, *Global Change Biology*, 12(2), 194-204.
- 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.

- Coleman, D. C. ve Crossley Jr, D., 2003. Fundamentals of soil ecology, Academic press, London, UK, 0121797279, 205 s.
- Comstedt, D., Boström, B. ve Ekblad, A., 2011. Autotrophic and heterotrophic soil respiration in a Norway spruce forest: estimating the root decomposition and soil moisture effects in a trenching experiment, *Biogeochemistry*, 104(1-3), 121-132.
- Coşkun, K., 2018. Dikimle oluşturulmuş kayın, kızılğaç ve kayın-kızılğaç sahalarında toprak azot mineralizasyonu ve mikrobiyal solunum potansiyelinin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Artvin Çoruh Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Coûteaux, M.-M., Bottner, P. ve Berg, B., 1995. Litter decomposition, climate and litter quality, *Trends in ecology & evolution*, 10(2), 63-66.
- Coyne, M. S. ve Thompson, J. A., 2006. Fundamental soil science, 0766842665.
- Craine, J. M., Fierer, N. ve McLauchlan, K. K., 2010. Widespread coupling between the rate and temperature sensitivity of organic matter decay, *Nature Geoscience*, 3(12), 854-857.
- Curtis, P., Vogel, C., Gough, C., Schmid, H., Su, H. B. ve Bovard, B., 2005. Respiratory carbon losses and the carbon-use efficiency of a northern hardwood forest, 1999–2003, *New Phytologist*, 167(2), 437-456.
- Çakıroğlu, K., 2011. Bartın ili Arıt yöresindeki kayın, göknar, göknar-kayın meşcerelerindeki ölü örtü ayrışması ve yıllık yaprak dökülmesinin araştırılması, Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Çepel, N., 1986. Barajların yukarı yağış havzaları için arazi kullanım planlamasının ekolojik esasları, *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 17-27.
- Çepel, N., 2000. Toprak ilmi, 2. baskı, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi, İstanbul, 296 s.
- Davidson, E. A., Richardson, A., Savage, K. ve Hollinger, D., 2006. A distinct seasonal pattern of the ratio of soil respiration to total ecosystem respiration in a spruce-dominated forest, *Global Change Biology*, 12(2), 230-239.
- Davidson, E. A., Trumbore, S. E. ve Amundson, R., 2000. Biogeochemistry: soil warming and organic carbon content, *Nature*, 408(6814), 789.
- Dhaliwal, G. S., Gupta, N., Kukal, S. S. ve Kaur, M., 2011. Standardization of Automated Vario EL III CHNS Analyzer for Total Carbon and Nitrogen Determination in Soils, *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 42(8), 971-979.
- Díaz-Pinés, E., Schindlbacher, A., Pfeffer, M., Jandl, R., Zechmeister-Boltenstern, S. ve Rubio, A., 2010. Root trenching: a useful tool to estimate autotrophic soil respiration? A case study in an Austrian mountain forest, *European Journal of Forest Research*, 129(1), 101-109.

- Díaz-Raviña, 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.
- Dickmann, D. I., 1992. The structure and dynamics of woody plant root systems, *Ecophysiology of short rotation forest crops*, 95-123.
- Dixon, R., Brown, S., Houghton, R., Solomon, A. ve Trexler, M., 1994. Carbon Pools and Flux of Global Forest Ecosystems, *American Association for the Advancement of Science*, 263(5144), 185-190.
- Doğan, Y., 2012. Artvin-Kafkasör yöresi yaşlı ve genç ladin meşcerelerinde ve bitişindeki çayırılık alanlardaki azot mineralizasyonunun belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Artvin Çoruh Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Artvin.
- Dornbush, M. E., 2007. Grasses, litter, and their interaction affect microbial biomass and soil enzyme activity, *Soil Biology and Biochemistry*, 39(9), 2241-2249.
- Edwards, C., Reichle, D. ve Crossley, D., 1973. *The role of soil invertebrates in turnover of organic matter and nutrients*, Analysis of temperate forest ecosystems, Springer, 147-172.
- Edwards, N., 1982. The use of soda-lime for measuring respiration rates in terrestrial systems, *Pedobiologia*, 23, 321-330.
- Edwards, N. T., 1991. Root and soil respiration responses to ozone in Pinus taeda L. seedlings, *New Phytologist*, 118(2), 315-321.
- Eissenstat, D. ve Yanai, R., 1997. *The ecology of root lifespan*, Advances in ecological research, Elsevier, 1-60.
- Ekblad, A. ve Högberg, P., 2001. Natural abundance of ^{13}C in CO_2 respired from forest soils reveals speed of link between tree photosynthesis and root respiration, *Oecologia*, 127(3), 305-308.
- Elberling, B. ve Ladegaard-Pedersen, P., 2005. Subsurface CO_2 Dynamics in Temperate Beech and Spruce Forest Stands, *Biogeochemistry*, 75(3), 479.
- Epron, D., Farque, L., Lucot, E. ve Badot, P.-M., 1999a. Soil CO_2 efflux in a beech forest: the contribution of root respiration, *Annals of forest science*, 56(4), 289-295.
- Epron, D., Farque, L., Lucot, É. ve Badot, P.-M., 1999b. Soil CO_2 efflux in a beech forest: dependence on soil temperature and soil water content, *Annals of forest science*, 56(3), 221-226.
- Epron, D., Le Dantec, V., Dufrene, E. ve Granier, A., 2001. Seasonal dynamics of soil carbon dioxide efflux and simulated rhizosphere respiration in a beech forest, *Tree Physiology*, 21(2-3), 145-152.

- Eriksen, J. ve Jensen, L. S., 2001. Soil respiration, nitrogen mineralization and uptake in barley following cultivation of grazed grasslands, *Biology and Fertility of Soils*, 33(2), 139-145.
- Ewel, K. C., Cropper, Jr, W. P. ve Gholz, H. L., 1987. Soil CO₂ evolution in Florida slash pine plantations. II. Importance of root respiration, *Canadian journal of forest research*, 17(4), 330-333.
- Fahey, T. J. ve Hughes, J. W., 1994. Fine root dynamics in a northern hardwood forest ecosystem, Hubbard Brook Experimental Forest, NH, *Journal of ecology*, 533-548.
- Fahey, T. J., Hughes, J. W., Pu, M. ve Arthur, M. A., 1988. Root Decomposition and Nutrient Flux Following Whole-Tree Harvest of Northern Hardwood Forest, *Forest Science*, 34(3), 744-768.
- Ferréa, C., Zenone, T., Comolli, R. ve Seufert, G., 2012. Estimating heterotrophic and autotrophic soil respiration in a semi-natural forest of Lombardy, Italy, *Pedobiologia*, 55(6), 285-294.
- Finér, L., Ohashi, M., Noguchi, K. ve Hirano, Y., 2011. Factors causing variation in fine root biomass in forest ecosystems, *Forest Ecology and Management*, 261(2), 265-277.
- Foth, H. D., 1991. Fundamentals of soil science, John Wiley and Sons, Inc., New York, NY 10158-0012, 0471529958, xv + 360 pp.
- García-Oliva, F., Lancho, J. F. G., Montaña, N. M. ve Islas, P., 2006. Soil Carbon and Nitrogen Dynamics Followed by a Forest-to-pasture Conversion in Western Mexico, *Agroforestry Systems*, 66(2), 93-100.
- Gattinger, T., 1962. Explonatory text of geological map of Turkey, Yayın No 36, Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü, Ankara, 75 s.
- Gaudinski, J. B., Trumbore, S. E., Davidson, E. A. ve Zheng, S., 2000. Soil carbon cycling in a temperate forest: radiocarbon-based estimates of residence times, sequestration rates and partitioning of fluxes, *Biogeochemistry*, 51(1), 33-69.
- George, K., Norby, R., Hamilton, J. ve DeLucia, E. H., 2003. Fine-root respiration in a loblolly pine and sweetgum forest growing in elevated CO₂, *New Phytologist*, 160(3), 511-522.
- Gerlach, A., 1973. Metdhodische Untersuchungen zur Bestimmung der Stickstoffnettonmineralisation, *Scripta Geobotanica*, 5.
- Giardina, C. P., Binkley, D., Ryan, M. G., Fownes, J. H. ve Senock, R. S., 2004. Belowground carbon cycling in a humid tropical forest decreases with fertilization, *Oecologia*, 139(4), 545-550.
- Giardina, C. P. ve Ryan, M. G., 2000. Evidence that decomposition rates of organic carbon in mineral soil do not vary with temperature, *Nature*, 404(6780), 858.

- Gill, R. A. ve Jackson, R. B., 2000. Global patterns of root turnover for terrestrial ecosystems, *The New Phytologist*, 147(1), 13-31.
- Gilmour, J. T., Clark, M. D. ve Sigua, G. C., 1985. Estimating Net Nitrogen Mineralization from Carbon Dioxide Evolution, *Soil Science Society of America Journal*, 49(6), 1398-1402.
- Goncharova, O., Matyshak, G., Udovenko, M., Semenyuk, O., Epstein, H. ve Bobrik, A., 2020. Temporal dynamics, drivers, and components of soil respiration in urban forest ecosystems, *CATENA*, 185, 104299.
- Goulden, M. L., Munger, W., Fan, S.-M., Daube, B. C. ve Wofsy, S. C., 1996. Measurements of carbon sequestration by long-term eddy covariance: methods and a critical evaluation of accuracy, *Global Change Biology*, 2, 182.
- Gregorich, E., Carter, M., Angers, D., Monreal, C. ve Ellert, B., 1994. Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils, *Canadian Journal of Soil Science*, 74(4), 367-385.
- Grier, C. C., Vogt, K. A., Keyes, M. R. ve Edmonds, R. L., 1981. Biomass distribution and above-and below-ground production in young and mature *Abies amabilis* lzone ecosystems of the Washington Cascades, *Canadian journal of forest research*, 11(1), 155-167.
- Grogan, P. ve Chapin III, F., 1999. Arctic soil respiration: effects of climate and vegetation depend on season, *Ecosystems*, 2(5), 451-459.
- Gülçur, F., 1974. Toprağın fiziksel ve kimyasal analiz metodları, Yayın No 1970, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi yayınları, Kutulmuş, İstanbul.
- Gülenay, S., 2009. Artvin-Murgul yalancı akasya (*Robinia pseudoacacia*) ağaçlandırma sahasında ve bitişigindeki çayırılık alanda toprak solunumunun belirlenmesi, Yüksek Lisans, Artvin Çoruh Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Artvin.
- Güleryüz, G., 1992. Uludağ Alpin Zonu Bazı Bitki Topluluklarında Besin Maddesi Dolaşımı ve Verimlilik Üzerinde Araştırmalar, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Güner, S., 2000. Artvin-Genya Dağı'ndaki orman toplumları ve silvikültürel özellikleri, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Günlü, A., 2003. Artvin-Genya Dağı Orman Yetiştirme Ortamı Birimlerinin Ayrılması ve Haritalanması Üzerine Araştırmalar,, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Han, G., Zhou, G., Xu, Z., Yang, Y., Liu, J. ve Shi, K., 2007. Biotic and abiotic factors controlling the spatial and temporal variation of soil respiration in an agricultural ecosystem, *Soil Biology and Biochemistry*, 39(2), 418-425.

- Hanson, P., Edwards, N., Garten, C. T. ve Andrews, J., 2000. Separating root and soil microbial contributions to soil respiration: a review of methods and observations, *Biogeochemistry*, 48(1), 115-146.
- Hartley, I. P., Heinemeyer, A., Evans, S. P. ve Ineson, P., 2007. The effect of soil warming on bulk soil vs. rhizosphere respiration, *Global Change Biology*, 13(12), 2654-2667.
- Haynes, B. E. ve Gower, S. T., 1995. Belowground carbon allocation in unfertilized and fertilized red pine plantations in northern Wisconsin, *Tree Physiology*, 15(5), 317-325.
- Heinemeyer, A., Di Bene, C., Lloyd, A., Tortorella, D., Baxter, R., Huntley, B., Gelsomino, A. ve Ineson, P., 2011. Soil respiration: implications of the plant-soil continuum and respiration chamber collar-insertion depth on measurement and modelling of soil CO₂ efflux rates in three ecosystems, *European journal of soil science*, 62(1), 82-94.
- Heinemeyer, A., Hartley, I. P., Evans, S. P., Carreira de La Fuente, J. A. ve Ineson, P., 2007. Forest soil CO₂ flux: uncovering the contribution and environmental responses of ectomycorrhizas, *Global Change Biology*, 13(8), 1786-1797.
- Hendrick, R. L. ve Pregitzer, K. S., 1992. The demography of fine roots in a northern hardwood forest, *Ecology*, 73(3), 1094-1104.
- Hendrick, R. L. ve Pregitzer, K. S., 1993. The dynamics of fine root length, biomass, and nitrogen content in two northern hardwood ecosystems, *Canadian journal of forest research*, 23(12), 2507-2520.
- Hopkins, F., Gonzalez-Meler, M. A., Flower, C. E., Lynch, D. J., Czimczik, C., Tang, J. ve Subke, J.-A., 2013. Ecosystem-level controls on root-rhizosphere respiration, *New Phytologist*, 199(2), 339-351.
- Horwath, W. R., Pregitzer, K. S. ve Paul, E. A., 1994. 14C allocation in tree-soil systems, *Tree Physiology*, 14(10), 1163-1176.
- Houghton, R. A., 2003. Revised estimates of the annual net flux of carbon to the atmosphere from changes in land use and land management 1850–2000, *Tellus B*, 55(2), 378-390.
- Houghton, R. A. ve Woodwell, G. M., 1989. Global climatic change, *Scientific American*, 260(4), 36-47.
- Högberg, M. N. ve Högberg, P., 2002. Extramatrical ectomycorrhizal mycelium contributes one-third of microbial biomass and produces, together with associated roots, half the dissolved organic carbon in a forest soil, *New Phytologist*, 154(3), 791-795.
- Högberg, P., Löfvenius, M. O. ve Nordgren, A., 2009. Partitioning of soil respiration into its autotrophic and heterotrophic components by means of tree-girdling in old boreal spruce forest, *Forest Ecology and Management*, 257(8), 1764-1767.

- Högborg, P., Nordgren, A., Buchmann, N., Taylor, A. F., Ekblad, A., Högborg, M. N., Nyberg, G., Ottosson-Loefvenius, M. ve Read, D. J., 2001. Large-scale forest girdling shows that current photosynthesis drives soil respiration, *Nature*, 411(6839), 789.
- Högborg, P. ve Read, D. J., 2006. Towards a more plant physiological perspective on soil ecology, *Trends in ecology & evolution*, 21(10), 548-554.
- Huang, W., Han, T., Liu, J., Wang, G. ve Zhou, G., 2016. Changes in soil respiration components and their specific respiration along three successional forests in the subtropics, *Functional Ecology*, 30(8), 1466-1474.
- Jackson, R. B., Mooney, H. A. ve Schulze, E.-D., 1997. A global budget for fine root biomass, surface area, and nutrient contents, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 94(14), 7362-7366.
- Janssens, I., Sampson, D., Curiel-Yuste, J., Carrara, A. ve Ceulemans, R., 2002. The carbon cost of fine root turnover in a Scots pine forest, *Forest Ecology and Management*, 168(1-3), 231-240.
- Janssens, I. A., Crookshanks, M., Taylor, G. ve Ceulemans, R., 1998. Elevated atmospheric CO₂ increases fine root production, respiration, rhizosphere respiration and soil CO₂ efflux in Scots pine seedlings, *Global Change Biology*, 4(8), 871-878.
- Janssens, I. A. ve Pilegaard, K., 2003. Large seasonal changes in Q₁₀ of soil respiration in a beech forest, *Global Change Biology*, 9(6), 911-918.
- Jassal, R. S. ve Black, T. A., 2006. Estimating heterotrophic and autotrophic soil respiration using small-area trenched plot technique: theory and practice, *Agricultural and Forest Meteorology*, 140(1-4), 193-202.
- Jassal, R. S., Black, T. A., Novak, M. D., Gaumont-Guay, D. ve Nesic, Z., 2008. Effect of soil water stress on soil respiration and its temperature sensitivity in an 18-year-old temperate Douglas-fir stand, *Global Change Biology*, 14(6), 1305-1318.
- Jenkinson, D., 1988. Determination of microbial biomass carbon and nitrogen in soil, *Advances in nitrogen cycling*, 368-386.
- Jenkinson, D. ve Ladd, J., 1981. Microbial Biomass in Soil Measurement and Turnover, *Soil biochemistry*, 5, 415-471.
- Jenkinson, D. S., 1990. The turnover of organic carbon and nitrogen in soil, *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 329(1255), 361-368.
- Jobbágy, E. G. ve Jackson, R. B., 2000. The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation, *Ecological Applications*, 10(2), 423-436.

- Joergensen, R. G., Anderson, T. H. ve Wolters, V., 1995. Carbon and nitrogen relationships in the microbial biomass of soils in beech (*Fagus sylvatica* L.) forests, *Biology and Fertility of Soils*, 19(2), 141-147.
- Kacar, B., 2009. Toprak analizleri, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara, 6053951846.
- Kantarıcı, M., 2000. Toprak ilmi, İÜ Yayın No: 4261, İÜ Orman Fakültesi Yayınları, İstanbul, 296.
- Kara, Ö., 2002. Kuzey Trakya Dağlık Yetiştirme Ortamı Bölgesinde Kayın, Meşe ve Karaçam Ormanlarındaki Toprak Mikrofunguslarının Mevsimsel Değişimi, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Kara, Ö. ve Bolat, I., 2008. Soil microbial biomass C and N changes in relation to forest conversion in the Northwestern Turkey, *Land Degradation & Development*, 19(4), 421-428.
- Karhu, K., Fritze, H., Hämäläinen, K., Vanhala, P., Jungner, H., Oinonen, M., Sonninen, E., Tuomi, M., Spetz, P. ve Kitunen, V., 2010. Temperature sensitivity of soil carbon fractions in boreal forest soil, *Ecology*, 91(2), 370-376.
- Kelly, J. M. ve Strickland, R. C., 1984. CO₂ efflux from deciduous forest litter and soil in response to simulated acid rain treatment, *Water, Air, and Soil Pollution*, 23(4), 431-440.
- Kelting, D. L., Burger, J. A. ve Edwards, G. S., 1998. Estimating root respiration, microbial respiration in the rhizosphere, and root-free soil respiration in forest soils, *Soil Biology and Biochemistry*, 30(7), 961-968.
- Ketin, İ., 1949. Artvin bölgesinin jeolojik etüdü hakkında memuar, MTA Enstitü Yayınları, Ankara.
- Keyes, M. R. ve Grier, C. C., 1981. Above-and below-ground net production in 40-year-old Douglas-fir stands on low and high productivity sites, *Canadian journal of forest research*, 11(3), 599-605.
- Khan, K. S. ve Joergensen, R. G., 2006. Microbial C, N, and P relationships in moisture-stressed soils of Potohar, Pakistan, *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 169(4), 494-500.
- Khomik, M., Arain, M. A. ve McCaughey, J., 2006. Temporal and spatial variability of soil respiration in a boreal mixedwood forest, *Agricultural and Forest Meteorology*, 140(1-4), 244-256.
- Kicklighter, D. W., Melillo, J. M., Peterjohn, W. T., Rastetter, E. B., McGuire, A. D., Steudler, P. A. ve Aber, J. D., 1994. Aspects of spatial and temporal aggregation in estimating regional carbon dioxide fluxes from temperate forest soils, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 99(D1), 1303-1315.

- King, J., Pregitzer, K., Zak, D., Sober, J., Isebrands, J., Dickson, R., Hendrey, G. ve Karnosky, D., 2001. Fine-root biomass and fluxes of soil carbon in young stands of paper birch and trembling aspen as affected by elevated atmospheric CO₂ and tropospheric O₃, *Oecologia*, 128(2), 237-250.
- Knapp, A. K., Conard, S. L. ve Blair, J. M., 1998. Determinants of soil CO₂ flux from a sub-humid grassland: effect of fire and fire history, *Ecological Applications*, 8(3), 760-770.
- Koide, R. T. ve Malcolm, G. M., 2009. N concentration controls decomposition rates of different strains of ectomycorrhizal fungi, *Fungal Ecology*, 2(4), 197-202.
- 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.
- Kukumägi, M., Ostonen, I., Uri, V., Helmisaari, H.-S., Kanal, A., Kull, O. ve Lõhmus, K., 2017. Variation of soil respiration and its components in hemiboreal Norway spruce stands of different ages, *Plant and soil*, 414(1-2), 265-280.
- Kurz, W. A., Beukema, S. J. ve Apps, M. J., 1996. Estimation of root biomass and dynamics for the carbon budget model of the Canadian forest sector, *Canadian journal of forest research*, 26(11), 1973-1979.
- Kuzyakov, Y., 2006. Sources of CO₂ efflux from soil and review of partitioning methods, *Soil Biology and Biochemistry*, 38(3), 425-448.
- Kuzyakov, Y., Friedel, J. ve Stahr, K., 2000. Review of mechanisms and quantification of priming effects, *Soil Biology and Biochemistry*, 32(11-12), 1485-1498.
- Kuzyakov, Y. ve Larionova, A. A., 2005. Root and rhizomicrobial respiration: a review of approaches to estimate respiration by autotrophic and heterotrophic organisms in soil, *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 168(4), 503-520.
- Küçük, M., 2006. Genç karaçam meşcerelerinde yangının toprak solunumu, kök kütlesi ve toprağın fiziksel ve kimyasal özellikleri üzerine etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Artvin Çoruh Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Artvin.
- Küçük, M., 2013. Farklı eğim ve bakı gruplarında bulunan meşe meşcerelerinde ve mera alanlarında azot mineralizasyonu ve toprak solunumunun belirlenmesi, Doktora tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Lambers, H., Atkin, O. K. ve Millenaar, F. F., 1996. Respiratory patterns in roots in relation to their functioning, *Plant roots. The hidden half*, 3, 521-552.
- Lavigne, M., Ryan, M., Anderson, D., Baldocchi, D., Crill, P., Fitzjarrald, D., Goulden, M., Gower, S., Massheder, J. ve McCaughey, J., 1997. Comparing nocturnal eddy covariance measurements to estimates of ecosystem respiration made by scaling chamber measurements at six coniferous boreal sites, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 102(D24), 28977-28985.

- Lee, K.-H. ve Jose, S., 2003. Soil respiration, fine root production, and microbial biomass in cottonwood and loblolly pine plantations along a nitrogen fertilization gradient, *Forest Ecology and Management*, 185(3), 263-273.
- Lee, M.-s., Nakane, K., Nakatsubo, T. ve Koizumi, H., 2003. *Seasonal changes in the contribution of root respiration to total soil respiration in a cool-temperate deciduous forest*, *Roots: The Dynamic Interface between Plants and the Earth*, Springer, 311-318.
- Lee, M.-s., Nakane, K., Nakatsubo, T. ve Koizumi, H., 2005. The importance of root respiration in annual soil carbon fluxes in a cool-temperate deciduous forest, *Agricultural and Forest Meteorology*, 134(1-4), 95-101.
- 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.
- Leuschner, C., Hertel, D., Schmid, I., Koch, O., Muhs, A. ve Hölscher, D., 2004. Stand fine root biomass and fine root morphology in old-growth beech forests as a function of precipitation and soil fertility, *Plant and soil*, 258(1), 43-56.
- Li, P., Yang, Y. ve Fang, J., 2013. Variations of root and heterotrophic respiration along environmental gradients in China's forests, *Journal of Plant Ecology*, 6(5), 358-367.
- Li, Y., Hou, C., Song, C. ve Guo, Y., 2016. Seasonal changes in the contribution of root respiration to total soil respiration in a freshwater marsh in Sanjiang Plain, Northeast China, *Environmental Earth Sciences*, 75(10), 848.
- Li, Y., Xu, M. ve Zou, X., 2006. Heterotrophic soil respiration in relation to environmental factors and microbial biomass in two wet tropical forests, *Plant and soil*, 281(1-2), 193-201.
- Liski, J., Ilvesniemi, H., Mäkelä, A. ve Westman, C. J., 1999. CO₂ emissions from soil in response to climatic warming are overestimated: the decomposition of old soil organic matter is tolerant of temperature, *Ambio*, 171-174.
- Liu, X., Chen, S., Yang, Z., Lin, C., Xiong, D., Lin, W., Xu, C., Chen, G., Xie, J. ve Li, Y., 2019. Will heterotrophic soil respiration be more sensitive to warming than autotrophic respiration in subtropical forests?, *European journal of soil science*, 70(3), 655-663.
- Lu, S., Xu, Y., Fu, X., Xiao, H., Ding, W. ve Zhang, Y., 2019. Patterns and drivers of soil respiration and vegetation at different altitudes in southern China, *Applied Ecology and Environmental Research*, 17(2), 3097-3106.
- Luo, J., Chen, Y., Wu, Y., Shi, P., She, J. ve Zhou, P., 2012. Temporal-Spatial Variation and Controls of Soil Respiration in Different Primary Succession Stages on Glacier Forehead in Gongga Mountain, China, *PloS one*, 7(8), e42354.

- Luo, S., Liu, G. ve Li, Z., 2014. Partitioning of soil respiration in a trenching experiment in the sub-alpine forests of China, *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 12(1), 368-373.
- Luo, Y., Jackson, R. B., Field, C. B. ve Mooney, H. A., 1996. Elevated CO₂ increases belowground respiration in California grasslands, *Oecologia*, 108(1), 130-137.
- Luo, Y. ve Zhou, X., 2006. Soil respiration and the environment, Academic Press, 0120887827, 328 pp.
- Mahia, J., Perez Ventura, L., Cabaneiro, A. ve Diaz-Ravina, M., 2006. Soil microbial biomass under pine forest in the north-wester Spain: influence of stand age, site index and parent material, *Investigaciones Agrarias: Sistemas y Recursos Forestales*, 15(2), 152-159.
- Maier, C. A. ve Kress, L., 2000. Soil CO₂ evolution and root respiration in 11 year-old loblolly pine (*Pinus taeda*) plantations as affected by moisture and nutrient availability, *Canadian journal of forest research*, 30(3), 347-359.
- Marra, J. L. ve Edmonds, R. L., 1996. Coarse woody debris and soil respiration in a clearcut on the Olympic Peninsula, Washington, USA, *Canadian journal of forest research*, 26(8), 1337-1345.
- Martin, D., Beringer, J., Hutley, L. B. ve McHugh, I., 2007. Carbon cycling in a mountain ash forest: Analysis of below ground respiration, *Agricultural and Forest Meteorology*, 147(1-2), 58-70.
- McLean, M. ve Huhta, V., 2000. Temporal and spatial fluctuations in moisture affect humus microfungus community structure in microcosms, *Biology and Fertility of Soils*, 32(2), 114-119.
- Melillo, J., Steudler, P., Aber, J., Newkirk, K., Lux, H., Bowles, F., Catricala, C., Magill, A., Ahrens, T. ve Morrisseau, S., 2002. Soil warming and carbon-cycle feedbacks to the climate system, *Science*, 298(5601), 2173-2176.
- Metson, A., 1956. Methods of chemical analysis for soil survey samples. New Zealand Dept, *Sci. Ind. Research Soil. Bur. Bull*, 12.
- Miller, R. ve Donahue, R., 1995. Soil in Our Environment, 7th ed, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 214 pp.
- Monson, R. K., Lipson, D. L., Burns, S. P., Turnipseed, A. A., Delany, A. C., Williams, M. W. ve Schmidt, S. K., 2006. Winter forest soil respiration controlled by climate and microbial community composition, *Nature*, 439(7077), 711-714.
- Nakane, K., Kohno, T. ve Horikoshi, T., 1996. Root respiration rate before and just after clear-felling in a mature, deciduous, broad-leaved forest, *Ecological research*, 11(2), 111-119.
- Nakane, K., Yamamoto, M. ve Tsubota, H., 1983. Estimation of root respiration rate in a mature forest ecosystem, *Japanese Journal of Ecology*, 33(4), 397-408.

- Ngao, J., Longdoz, B., Granier, A. ve Epron, D., 2007. Estimation of autotrophic and heterotrophic components of soil respiration by trenching is sensitive to corrections for root decomposition and changes in soil water content, *Plant and soil*, 301(1-2), 99-110.
- O'Brien, B., 1984. Soil organic carbon fluxes and turnover rates estimated from radiocarbon enrichments, *Soil Biology and Biochemistry*, 16(2), 115-120.
- Oulehle, F., Ruzek, M., Tahovská, K., Bárta, J. ve Myška, O., 2016. Carbon and nitrogen pools and fluxes in adjacent mature Norway spruce and European beech forests, *Forests*, 7(11), 282-282.
- Ozalp, M., Erdogan Yuksel, E. ve Yuksek, T., 2016. Soil Property Changes After Conversion from Forest to Pasture in Mount Sacinka, Artvin, Turkey, *Land Degradation & Development*, 27(4), 1007-1017.
- Özbayram, A., 2006. Farklı arazi kullanımlarının toprak solunumuna olası etkilerinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Kafkas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kars.
- Öztürk, M., Pirdal, M., Özdemir F., 1997. Bitki Ekolojisi Uygulamaları, Ege Üniversitesi Fen Fakültesi Bornova, İzmir.
- Pankhurst, C., Doube, B. ve Gupta, V., 1997. Biological indicators of soil health, Cab International Wallingford, 0851991580.
- Parkinson, D. ve Coleman, D. C., 1991. Microbial communities, activity and biomass, *Agriculture, ecosystems & environment*, 34(1-4), 3-33.
- Patel, K., Kumar, J. I. N., Kumar, R. N. ve Bhoi, R. K., 2010. Seasonal and temporal variation in soil microbial biomass C, N and P in different types land uses of dry deciduous forest ecosystem of Udaipur, Rajasthan, Western India, *Applied Ecology and Environmental Research*, 8(4), 377-390.
- Paul, E. ve Clark, F., 1996. Soil microbiology and biochemistry, 2. ed. Academic Press, San Diego.
- Peng, Y., Thomas, S. C. ve Tian, D., 2008. Forest management and soil respiration: implications for carbon sequestration, *Environmental Reviews*, 16(NA), 93-111.
- Persson, H., 1978. Root dynamics in a young Scots pine stand in Central Sweden, *Oikos*, 508-519.
- Phillips, R. P., Erlitz, Y., Bier, R. ve Bernhardt, E. S., 2008. New approach for capturing soluble root exudates in forest soils, *Functional Ecology*, 22(6), 990-999.
- Phillips, R. P., Finzi, A. C. ve Bernhardt, E. S., 2011. Enhanced root exudation induces microbial feedbacks to N cycling in a pine forest under long-term CO₂ fumigation, *Ecology Letters*, 14(2), 187-194.

- Powlson, D. ve Jenkinson, D., 1981. A comparison of the organic matter, biomass, adenosine triphosphate and mineralizable nitrogen contents of ploughed and direct-drilled soils, *The Journal of Agricultural Science*, 97(3), 713-721.
- Powlson, D., Prookes, P. 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.
- Pregitzer, K. S., Laskowski, M. J., Burton, A. J., Lessard, V. C. ve Zak, D. R., 1998. Variation in sugar maple root respiration with root diameter and soil depth, *Tree Physiology*, 18(10), 665-670.
- Prescott, C., Godbold, D. L., Helmisaari, H.-S. ve Daniel Addo-Danso, S., 2016. Introduction to Forests, roots and soil carbon, *Forest Ecology and Management*, 359, 321-321.
- Priwitzer, T., Capuliak, J., Bošela, M. ve Schwarz, M., 2013. Preliminary results of soil respiration in beech, spruce and grassy stands, *Forestry Journal*, 59(3), 189-196.
- Raich, J., Bowden, R. ve Steudler, P. A., 1990. Comparison of two static chamber techniques for determining carbon dioxide efflux from forest soils, *Soil Science Society of America Journal*, 54(6), 1754-1757.
- Raich, J. ve Nadelhoffer, K., 1989. Belowground carbon allocation in forest ecosystems: global trends, *Ecology*, 70(5), 1346-1354.
- Raich, J. W. ve Potter, C. S., 1995. Global patterns of carbon dioxide emissions from soils, *Global Biogeochemical Cycles*, 9(1), 23-36.
- Raich, J. W. ve Schlesinger, W. H., 1992. The global carbon dioxide flux in soil respiration and its relationship to vegetation and climate, *Tellus B*, 44(2), 81-99.
- Raich, J. W. ve Tufekcioglu, A., 2000. Vegetation and soil respiration: Correlations and controls, *Biogeochemistry*, 48(1), 71-90.
- Rey, A., Pegoraro, E., Tedeschi, V., De Parri, I., Jarvis, P. G. ve Valentini, R., 2002. Annual variation in soil respiration and its components in a coppice oak forest in Central Italy, *Global Change Biology*, 8(9), 851-866.
- Rochette, P., Ellert, B., Gregorich, E., Desjardins, R., Pattey, E., Lessard, R. ve Johnson, B., 1997. Description of a dynamic closed chamber for measuring soil respiration and its comparison with other techniques, *Canadian Journal of Soil Science*, 77(2), 195-203.
- Rodeghiero, M. ve Cescatti, A., 2005. Main determinants of forest soil respiration along an elevation/temperature gradient in the Italian Alps, *Global Change Biology*, 11(7), 1024-1041.
- Rodeghiero, M. ve Cescatti, A., 2006. Indirect partitioning of soil respiration in a series of evergreen forest ecosystems, *Plant and soil*, 284(1-2), 7-22.

- Rowell, D. L., 1994. Soil science: methods and applications, Longman Group Limited, Longman Scientific & Technical, Harlow, 0582087848, 350 pp.
- Ryan, M. G., Hubbard, R. M., Pongracic, S., Raison, R. ve McMurtrie, R. E., 1996. Foliage, fine-root, woody-tissue and stand respiration in *Pinus radiata* in relation to nitrogen status, *Tree Physiology*, 16(3), 333-343.
- Ryan, M. G. ve Law, B. E., 2005. Interpreting, measuring, and modeling soil respiration, *Biogeochemistry*, 73(1), 3-27.
- Sabine, C. L., Heimann, M., Artaxo, P., Bakker, D. C., Chen, C.-T. A., Field, C. B., Gruber, N., Le Quéré, C., Prinn, R. G. ve Richey, J. E., 2004. Current status and past trends of the global carbon cycle, *Scope-scientific committee on problems of the environment international council of scientific unions*, 62, 17-44.
- Saiz, G., Green, C., Butterbach-Bahl, K., Kiese, R., Avitabile, V. ve Farrell, E., 2006. Seasonal and spatial variability of soil respiration in four Sitka spruce stands, *Plant & Soil*, 287(1/2), 161-176.
- Sancho, A. J. J., Stephanie, B. ve Kenneth, A. B., 2017. Partitioning of soil respiration in a first rotation beech plantation, *Biology and Environment: Proceedings of the Royal Irish Academy*, 117B(2), 91-105.
- Sariyildiz, T., 2003. Litter decomposition of *Picea orientalis*, *Pinus sylvestris* and *Castanea sativa* trees grown in Artvin in relation to their initial litter quality variables, *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 27(4), 237-243.
- Sariyildiz, T., 2015. Effects of tree species and topography on fine and small root decomposition rates of three common tree species (*Alnus glutinosa*, *Picea orientalis* and *Pinus sylvestris*) in Turkey, *Forest Ecology and Management*, 335, 71-86.
- Sariyildiz, T. ve Küçük, M., 2008. Litter mass loss rates in deciduous and coniferous trees in Artvin, northeast Turkey: Relationships with litter quality, microclimate, and soil characteristics, *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 32(6), 547-559.
- Sariyildiz, T. ve Küçük, M., 2009. Influence of slope position, stand type and rhododendron (*Rhododendron ponticum*) on litter decomposition rates of Oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky.) and spruce [*Picea orientalis* (L.) Link], *European Journal of Forest Research*, 128(4), 351-360.
- Sariyildiz, T. ve Küçük, M., 2004. Toprak Asitliliği Üzerinde Ağaç Türleri, Tepe Yapıları ve Mevsimlerin Etkisi, *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 5(2), 220-231.
- Sariyildiz, T., Tüfekçioğlu, A. ve Küçük, M., 2005. Comparison of Decomposition Rates of Beech (*Fagus orientalis* Lipsky) and Spruce (*Picea orientalis* (L.) Link) Litter in Pure and Mixed Stands of Both Species in Artvin, Turkey, *TÜBİTAK*, 1300-011X, 1303-6173.

- Satomura, T., Hashimoto, Y., Koizumi, H., Nakane, K. ve Horikoshi, T., 2006. Seasonal patterns of fine root demography in a cool-temperate deciduous forest in central Japan, *Ecological research*, 21(5), 741-753.
- Satti, P., Mazzarino, M. J., Gobbi, M., Funes, F., Roselli, L. ve Fernandez, H., 2003. Soil N dynamics in relation to leaf litter quality and soil fertility in north-western Patagonian forests, *Journal of ecology*, 91(2), 173-181.
- Savage, K., Davidson, E., Abramoff, R., Finzi, A. ve Giasson, M.-A., 2018. Partitioning soil respiration: quantifying the artifacts of the trenching method, *Biogeochemistry*, 140(1), 53-63.
- Sayer, E. J. ve Tanner, E. V., 2010. A new approach to trenching experiments for measuring root–rhizosphere respiration in a lowland tropical forest, *Soil Biology and Biochemistry*, 42(2), 347-352.
- Schimel, D. S., Braswell, B., Holland, E. A., McKeown, R., Ojima, D. S., Painter, T. H., Parton, W. J. ve Townsend, A. R., 1994. Climatic, edaphic, and biotic controls over storage and turnover of carbon in soils, *Global Biogeochemical Cycles*, 8(3), 279-293.
- Schimel, J. P., Gulledge, J. M., Clein-Curley, J. S., Lindstrom, J. E. ve Braddock, J. F., 1999. Moisture effects on microbial activity and community structure in decomposing birch litter in the Alaskan taiga, *Soil Biology and Biochemistry*, 31(6), 831-838.
- Schindlbacher, A., Zechmeister-Boltenstern, S., Glatzel, G. ve Jandl, R., 2007. Winter soil respiration from an Austrian mountain forest, *Agricultural and Forest Meteorology*, 146(3-4), 205-215.
- Schlesinger, W. H. ve Andrews, J. A., 2000. Soil respiration and the global carbon cycle, *Biogeochemistry*, 48(1), 7-20.
- Schuur, E. A. G. ve Trumbore, S. E., 2006. Partitioning sources of soil respiration in boreal black spruce forest using radiocarbon, *Global Change Biology*, 12(2), 165-176.
- Scott-Denton, L. E., Sparks, K. L. ve Monson, R. K., 2003. Spatial and temporal controls of soil respiration rate in a high-elevation, subalpine forest, *Soil Biology and Biochemistry*, 35(4), 525-534.
- Scott-Denton, L. E., Rosenstiel, T. N. ve Monson, R. K., 2006. Differential controls by climate and substrate over the heterotrophic and rhizospheric components of soil respiration, *Global Change Biology*, 12(2), 205-216.
- Silver, W. L., Neff, J., McGroddy, M., Veldkamp, E., Keller, M. ve Cosme, R., 2000. Effects of soil texture on belowground carbon and nutrient storage in a lowland Amazonian forest ecosystem, *Ecosystems*, 3(2), 193-209.

- Silver, W. L., Thompson, A. W., McGroddy, M. E., Varner, R. K., Dias, J. D., Silva, H., Crill, P. M. ve Keller, M., 2005. Fine root dynamics and trace gas fluxes in two lowland tropical forest soils, *Global Change Biology*, 11(2), 290-306.
- Søe, A., R. B. ve Buchmann, N., 2005. Spatial and temporal variations in soil respiration in relation to stand structure and soil parameters in an unmanaged beech forest, *Tree Physiology*, 25(11), 1427-1436.
- Song, Y., Song, C., Li, Y., Hou, C., Yang, G. ve Zhu, X., 2013. Short-term effects of nitrogen addition and vegetation removal on soil chemical and biological properties in a freshwater marsh in Sanjiang Plain, Northeast China, *CATENA*, 104, 265-271.
- Sparling, G., 1997. Soil microbial biomass, activity and nutrient cycling as indicators of soil health, *Biological indicators of soil health*, 97-119.
- Stout, J., JD, S., KM, G. ve TA, R., 1981. Chemistry and turnover of naturally occurring resistant organic compounds in soil, 5, 1-73.
- Striegl, R. G. ve Wickland, K. P., 2001. Soil respiration and photosynthetic uptake of carbon dioxide by ground-cover plants in four ages of jack pine forest, *Canadian journal of forest research*, 31(9), 1540-1550.
- Subke, J. A., Inglema, I. ve Francesca Cotrufo, M., 2006. Trends and methodological impacts in soil CO₂ efflux partitioning: a metaanalytical review, *Global Change Biology*, 12(6), 921-943.
- Subke, J. A., Voke, N. R., Leronni, V., Garnett, M. H. ve Ineson, P., 2011. Dynamics and pathways of autotrophic and heterotrophic soil CO₂ efflux revealed by forest girdling, *Journal of ecology*, 99(1), 186-193.
- Şentürk, M., 2009. Arıt yöresindeki kayın, göknar, göknar-kayın meşcerelerinin yaprak alan indeksi, ölü örtü ve bazı toprak özelliklerinin incelenmesi, Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Tang, J., Qi, Y., Xu, M., Misson, L. ve Goldstein, A. H., 2005. Forest thinning and soil respiration in a ponderosa pine plantation in the Sierra Nevada, *Tree Physiology*, 25(1), 57-66.
- Tang, X., Fan, S., Qi, L., Guan, F., Su, W. ve Du, M., 2016. A comparison of soil respiration, carbon balance and root carbon use efficiency in two managed Moso bamboo forests in subtropical China, *Annals of Forest Research*, 59(1), 3-20.
- Tang, X., Pei, X., Lei, N., Luo, X., Liu, L., Shi, L., Chen, G. ve Liang, J., 2020. Global patterns of soil autotrophic respiration and its relation to climate, soil and vegetation characteristics, *Geoderma*, 369, 114339.
- Tate, K. R., Ross, D. J., O'Brien, B. J. ve Kelliher, F. M., 1993. Carbon storage and turnover, and respiratory activity, in the litter and soil of an old-growth southern beech (nothofagus) forest, *Soil Biology and Biochemistry*, 25(11), 1601-1612.

- Tian, D., Wang, G., Peng, Y., Yan, W., Fang, X., Zhu, F. ve Chen, X., 2011. Contribution of autotrophic and heterotrophic respiration to soil CO₂ efflux in Chinese fir plantations, *Australian Journal of Botany*, 59(1), 26-31.
- Tian, Y., Haibara, K., Toda, H., Ding, F., Liu, Y. ve Choi, D., 2008. Microbial biomass and activity along a natural pH gradient in forest soils in a karst region of the upper Yangtze River, China, *Journal of Forest Research*, 13(4), 205-214.
- Trumbore, S., 2000. Age of soil organic matter and soil respiration: radiocarbon constraints on belowground C dynamics, *Ecological Applications*, 10(2), 399-411.
- Trumbore, S., 2006. Carbon respired by terrestrial ecosystems—recent progress and challenges, *Global Change Biology*, 12(2), 141-153.
- Tufekcioglu, A., Guner, S. ve Kucuk, M., 2004. Root biomass and carbon storage in oriental spruce and beech stands in Artvin, Turkey, *Journal of environmental biology*, 25(3), 317-320.
- Tufekcioglu, A., Raich, J. W., Isenhardt, T. M. ve Schultz, R. C., 2001. Soil respiration within riparian buffers and adjacent crop fields, *Plant and soil*, 229(1), 117-124.
- Tufekcioglu, A., Raich, J. W., Isenhardt, T. M. ve Schultz, R. C., 2003. Biomass, carbon and nitrogen dynamics of multi-species riparian buffers within an agricultural watershed in Iowa, USA, *Agroforestry Systems*, 57(3), 187-198.
- Tüfekçiöğlü, A., Güner, S., Altun, L., Kalay, Z. ve Yener, İ., 2002. Kayın ve Ladin Meşcerelerinde İnce ve Kılcal Kök Biyokütlelerinin Karşılaştırılması, II. Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi, Artvin, Cilt 2, 15-17.
- Tüfekçiöğlü, A. ve Küçük, M., 2004. Soil Respiration in Young and Old Oriental Spruce Stands and in Adjacent Grasslands in Artvin, Turkey.
- Tüfekçiöğlü, 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, Artvin, Cilt III, 1030-1037.
- Tüfekçiöğlü, A., KÜÇÜK, M., KIRIŞ, K. ve ZENGİN, O., 2010. Saf ve karışık sarıçam meşcerelerinde kalın kök kütlesi miktarı ve bunu etkileyen etmenler, III. Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi, Artvin, Cilt III, 1038-1044.
- Uchida, M., Nakatsubo, T., Horikoshi, T. ve Nakane, K., 1998. Contribution of micro-organisms to the carbon dynamics in black spruce (*Picea mariana*) forest soil in Canada, *Ecological research*, 13(1), 17-26.
- URL-1. <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=ARTVIN> (14 Aralık, 2019).
- URL-2. <https://www.globe.gov/do-globe/measurement-campaigns/past-projects/earth-as-a-system-projects/carbon-cycle> (15 Eylül, 2020).

- Ünver, C., 2007. Murat Dağı (Uşak, Kütahya) alpin ve subalpin bölgesinin bazı bitki topluluklarında azot dönüşümleri üzerinde araştırmalar, Doktora Tezi, Uludağ Üniversitesi, Bursa.
- Vance, E. D. ve Chapin, F. S., III, 2001. Substrate limitations to microbial activity in taiga forest floors, *Soil Biology & Biochemistry*, 33(2), 173-188.
- Vanhala, P., 2002. Seasonal variation in the soil respiration rate in coniferous forest soils, *Soil Biology and Biochemistry*, 34(9), 1375-1379.
- Vogt, K., 1991. Carbon budgets of temperate forest ecosystems, *Tree Physiology*, 9(1-2), 69-86.
- Vogt, K. A., Grier, C. C. ve Vogt, D., 1986. *Production, turnover, and nutrient dynamics of above-and belowground detritus of world forests*, Advances in ecological research, Elsevier, 303-377.
- Vogt, K. A. ve Persson, H., 1991. *Measuring growth and development of roots*, Techniques and Approaches in Forest Tree Physiology, In: Lassoie, J.P., Hinckley, T.M. (Eds.), CRC Press, Boca Raton, 477-501.
- Vogt, K. A., Vogt, D. J. ve Bloomfield, J., 1998. *Analysis of some direct and indirect methods for estimating root biomass and production of forests at an ecosystem level*, Root demographics and their efficiencies in sustainable agriculture, grasslands and forest ecosystems, Springer, 687-720.
- Vose, J. M., Elliott, K. J., Johnson, D. W., Tingey, D. T. ve Johnson, M. G., 1997. Soil respiration response to three years of elevated CO₂ and N fertilization in ponderosa pine (*Pinus ponderosa* Doug. ex Laws.), *Plant and soil*, 190(1), 19-28.
- Vose, J. M., Elliott, K. J., Johnson, D. W., Walker, R. F., Johnson, M. G. ve Tingey, D. T., 1995. Effects of elevated CO₂ and N fertilization on soil respiration from ponderosa pine (*Pinus ponderosa*) in open-top chambers, *Canadian journal of forest research*, 25(8), 1243-1251.
- Vose, J. M. ve Ryan, M. G., 2002. Seasonal respiration of foliage, fine roots, and woody tissues in relation to growth, tissue N, and photosynthesis, *Global Change Biology*, 8(2), 182-193.
- Wang, C. ve Yang, J., 2007. Rhizospheric and heterotrophic components of soil respiration in six Chinese temperate forests, *Global Change Biology*, 13(1), 123-131.
- Wang, X., Zhu, B., Wang, Y. ve Zheng, X., 2008. Field measures of the contribution of root respiration to soil respiration in an alder and cypress mixed plantation by two methods: trenching method and root biomass regression method, *European Journal of Forest Research*, 127(4), 285.
- Wang, Y., Zhang, C., Zhang, G., Wang, L., Gao, Y., Wang, X., Liu, B., Zhao, X. ve Mei, H., 2019. Carbon input manipulations affecting microbial carbon

- metabolism in temperate forest soils – A comparative study between broadleaf and coniferous plantations, *Geoderma*, 355.
- Wei, W., Weile, C. ve Shaopeng, W., 2010. Forest soil respiration and its heterotrophic and autotrophic components: Global patterns and responses to temperature and precipitation, *Soil Biology and Biochemistry*, 42(8), 1236-1244.
- Widén, B. ve Majdi, H., 2001. Soil CO₂ efflux and root respiration at three sites in a mixed pine and spruce forest: seasonal and diurnal variation, *Canadian journal of forest research*, 31(5), 786-796.
- Wofsy, S., Goulden, M., Munger, J., Fan, S.-M., Bakwin, P., Daube, B., Bassow, S. ve Bazzaz, F., 1993. Net exchange of CO₂ in a mid-latitude forest, *Science*, 260(5112), 1314-1317.
- Wu, Z., Guan, L., Chen, B., Yang, C., Lan, G., Xie, G. ve Zhou, Z., 2013. Components of soil respiration and its monthly dynamics in rubber plantation ecosystems, 2013 Fourth International Conference on Digital Manufacturing & Automation, 361-369.
- Yan, M., Guo, N., Ren, H., Zhang, X. ve Zhou, G., 2015. Autotrophic and heterotrophic respiration of a poplar plantation chronosequence in northwest China, *Forest Ecology and Management*, 337, 119-125.
- Yang, L., Wu, S. ve Zhang, L., 2010. Fine root biomass dynamics and carbon storage along a successional gradient in Changbai Mountains, China, *Forestry*, 83(4), 379-387.
- Yi, Z., Fu, S., Yi, W., Zhou, G., Mo, J., Zhang, D., Ding, M., Wang, X. ve Zhou, L., 2007. Partitioning soil respiration of subtropical forests with different successional stages in south China, *Forest Ecology and Management*, 243(2), 178-186.
- 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.
- Yuste, J. C., Janssens, I. A., Carrara, A., Meiresonne, L. ve Ceulemans, R., 2003. Interactive effects of temperature and precipitation on soil respiration in a temperate maritime pine forest, *Tree Physiology*, 23(18), 1263-1270.
- Yüksek, T. ve Ölmez, Z., 2002. Artvin yöresinin iklim, toprak yapısı, orman alanları, ağaç serveti ve ormancılık çalışmalarıyla ilgili genel bir değerlendirme, *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 3(1), 50-62.
- Zak, D. R., Grigal, D. F. ve Ohmann, L. F., 1993. Kinetics of microbial respiration and nitrogen mineralization in Great Lakes forests, *Soil Science Society of America Journal*, 57(4), 1100-1106.

- Zak, D. R., Pregitzer, K. S., King, J. S. ve Holmes, W. E., 2000. Elevated atmospheric CO₂, fine roots and the response of soil microorganisms: a review and hypothesis, *The New Phytologist*, 147(1), 201-222.
- Zhou, X., Sherry, R. A., An, Y., Wallace, L. L. ve Luo, Y., 2006. Main and interactive effects of warming, clipping, and doubled precipitation on soil CO₂ efflux in a grassland ecosystem, *Global Biogeochemical Cycles*, 20(1).
- Zogg, G. P., Zak, D. R., Burton, A. J. ve Pregitzer, K. S., 1996. Fine root respiration in northern hardwood forests in relation to temperature and nitrogen availability, *Tree Physiology*, 16(8), 719-725.



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı:	Musa AKBAŞ			
Doğum Yeri:	BURDUR			
Doğum Tarihi:	20.02.1984			
Medeni Durumu:	Evli			
Öğrenim Durumu				
Derece	Okulun Adı	Program	Yer	Yıl
İlköğretim	50.Yıl	İlkokul	Kırıkkale	1991-1996
	İlköğretim Okulu			
Ortaöğretim	Burdur Anadolu	Ortaokul	Burdur	1996-1998
	İmam-Hatip Lisesi			
Lise	Antalya	Lise	Antalya	1998-2002
	Anadolu İmam-Hatip Lisesi			
Lisans	Zonguldak	Orman Mühendisliği	Bartın	2002-2007
	Karaelmas Üniversitesi			
Yüksek Lisans	Artvin Çoruh	Orman Mühendisliği	Artvin	2011-2014
	Üniversitesi			

İş Deneyimi:	Artvin Çoruh Üniversitesi, Araştırma Görevlisi (2011-.....)
Hakkımda bilgi almak için önerebileceğim şahıslar:	Aydın TÜFEKÇİOĞLU Mehmet KÜÇÜK Ömer KARA
e-posta	musakbas15@artvin.edu.tr
Yayımlarım:	AKBAŞ M., M. KILIÇ, A. TÜFEKÇİOĞLU, B. SAĞLAM (2017). Midterm effect of different intensive fire on soil microbial biomass in Black pine stands. <i>International Symposium on New Horizons in Forestry- ISFOR 2017</i>, 102-107. Akbaş, M., Kılıç, M., Tüfekçioğlu, A. Ve Sağlam, B., 2016. Fire Effect on Soil Microbial Biomass in Black Pine Stands in Vezirkopru, Turkey. <i>International Human and Nature Sciences Problems and Solution Seeking Congress</i>. 7-9 October 2016, Sarajevo, BOSNIA-HERZEGOVINA. 539-548 AKBAŞ, Musa, KILIÇ, Miraç, TÜFEKÇİOĞLU, Aydın, SAĞLAM, Bülent (2016) Slope Effect on Soil Microbial Biomass in Black Pine Stands Subjected to Ground Fire. <i>International Forestry Symposium</i>, 7-10 December 2016, Kastamonu, TURKEY. 571-579. Akbaş, M., Sağlam, B., Tüfekçioğlu A. And Dinc, M. 2015, Short Term Effects of Prescribed Fire on Soil Microbial Biomass of Black Pine Forests, "İnternational Forest Fire Conference in Black Sea Region ", 123-128, (2015) Akbaş, M., Tüfekçioğlu A. 2015. Artvin Kafkasör Yöresindeki Doğu Ladini Topluluklarının ve Bitişik Çayırılıkların Toprakların Mikrobiyal Biyokütle İçerik Değişimi, "Ekoloji 2015 Sempozyumu" 147 (2015) Akbaş M., Tüfekçioğlu A., Küçük M., (2013). Change of Soil Respiration Among Different Vegetations-Results of year 2012, "International Caucasian Forestry Symposium ", 1, 90-96, (2013)