

**KIZILÇAM (*Pinus brutia* Ten.) ORMANLARINDA
BİTKİLERİN YANABİLİRLİĞİNİN POPÜLASYON, TÜR VE
KOMÜNİTE DÜZEYİNDEKİ DEĞİŞKENLİĞİ VE BU
DEĞİŞKENLİĞİN YANGIN REJİMİ İLE İLİŞKİSİ**

**VARIABILITY OF THE FLAMMABILITY OF PLANTS IN
TURKISH RED PINE (*Pinus brutia* Ten.) FORESTS AT
POPULATION, SPECIES AND COMMUNITY LEVELS, AND
THE RELATIONSHIP OF THIS VARIABILITY WITH THE
FIRE REGIME**

NURSEMA AKTEPE

PROF. DR ÇAĞATAY TAVŞANOĞLU

Tez Danışmanı

Hacettepe Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin

Biyoloji Anabilim Dalı için Öngördüğü

DOKTORA TEZİ olarak hazırlanmıştır.

Ankara

2021

Mayalı hamurum, Bi'Tanem ve Canımın içine...

ÖZET

KIZILÇAM (*Pinus brutia* Ten.) ORMANLARINDA BİTKİLERİN YANABİLİRLİĞİNİN POPÜLASYON, TÜR VE KOMÜNİTE DÜZEYİNDEKİ DEĞİŞKENLİĞİ VE BU DEĞİŞKENLİĞİN YANGIN REJİMİ İLE İLİŞKİSİ

Nursema AKTEPE

Doktora, Biyoloji Bölümü

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Çağatay TAVŞANOĞLU

Ocak 2021, xiv + 184 sayfa

Bitkilerin yanabilirlik özellikleri, yangına eğilimli ekosistemlerdeki bitki topluluklarının yangın rejimleri ile olan ilişkisini anlamak için önemlidir. Son yıllarda yapılan çalışmalar, yanabilirlik ile ilgili bitki fonksiyonel karakterlerinin popülasyonlar arasında değişkenlik gösterdiğini ve bu değişkenlikten yangın rejiminin sorumlu olabileceğini ileri sürmüşlerdir. Bu tez kapsamında, ekosistem dinamiklerinin şekillenmesinde yangının önemli bir rol oynadığı Akdeniz ekosisteminde bulunan Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) orman altı odunsu florasını oluşturan baskın maki türlerinin yanabilirliklerinin tür, popülasyon ve komünite düzeyinde araştırılması, yanabilirlik karakterlerinin farklı yangın rejimleri altında nasıl değiştiğinin ortaya çıkarılması ve incelenen türlerin yangına karşı gösterdikleri tepkilerin temel yanabilirlik bileşenlerine göre sınıflandırılması amaçlanmıştır.

Bitki yanabilirliği bu çalışmada, bitki yanabilirlik karakterlerindeki türler arası ve tür içi değişkenlik, bu karakterlerin yangın rejimlerine bağlı olarak gösterdikleri değişim ve yanabilirlik bileşenleri ile arasındaki ilişki olmak üzere üç ana bölüm altında incelenmiştir. Arazi çalışmaları, Türkiye'nin en sık orman yangını görülen iki ili olan Muğla ve Antalya sınırları içerisinde yer alan olgun Kızılçam ormanlarında yürütülmüştür. Bitkilerin yanabilirliğini etkileyen dokuz bitki karakteri (yaprak kıvrıklığı, yaprak nem içeriği, özgül yaprak alanı, yaprak kuru madde miktarı, dallanma

yapısı, yaprak kalınlığı, kaba / ince yanıcı madde oranı, ölü / ince yanıcı madde oranı, ölü / canlı yanıcı madde oranı) ile ilgili arazide ve laboratuvarında ölçümler gerçekleştirilmiştir. Yaprak karakterleri ve yanabilirlik bileşenleri arasındaki ilişkinin ortaya çıkarılabilmesi için farklı türlere ait yapraklar deneysel olarak yakılmış ve herhangi bir ateşleme kaynağı kullanılmadan ortalama 400 - 430 °C'lik sıcaklıktaki kül fırını kullanılarak tür düzeyinde yanabilirlik sınıfları ortaya çıkarılmıştır. Yanabilirlikle ilişkili bitki karakterlerinin farklı alanlardaki bitki komüniteleri, türleri ve popülasyonları arasında nasıl değiştiği ortaya çıkarılmış, ayrıca yanabilirlik bileşenleri (tutuşabilirlik, sürdürülebilirlik, yanıcılık ve tüketilebilirlik) ile ilişkileri tespit edilmiştir. Bulgular, incelenen tüm yanabilirlik karakterlerinin türler arasında istatistiksel olarak anlamlı seviyede değişkenlik gösterdiğini ortaya koymuş ve yangına eğilimli Akdeniz Kızılçam ormanlarındaki bitkilerin yanabilirlik stratejilerinin türe özgü olduğunu ortaya çıkarmıştır.

Tezden elde edilen bulgular, yanabilirlik özelliklerinin yangına eğilimli ekosistemlerdeki bitki türlerinin ekolojisini ve evrimini anlamak için dikkate alınması gereken önemli bir biyolojik karakter olduğu fikrini desteklemektedir. Yangına eğilimli alanlarda kolay yanabilen ya da yangına dayanıklı bitkilerin ve bu bitkilerin sahip olduğu karakterlerin yanabilirlikle ilişkisinin ortaya çıkarılması, yangın sonrası orman restorasyonunda, gerektiğinde yangına dayanıklı bitki toplulukları oluşturulmasında ve Kızılçam ormanlarında gelecekteki yangın tehlikesini azaltmak için türlerin seçimine yardımcı olacaktır.

Anahtar Kelimeler: Bitki Fonksiyonel Karakterleri, Değişkenlik, Orman Yangını, *Pinus brutia*, Yanabilirlik, Yangın Rejimi

ABSTRACT

VARIABILITY OF THE FLAMMABILITY OF PLANTS IN TURKISH RED PINE (*Pinus brutia* Ten.) FORESTS AT POPULATION, SPECIES, AND COMMUNITY LEVELS, AND THE RELATIONSHIP OF THIS VARIABILITY WITH THE FIRE REGIME

Nursema AKTEPE

Doctor of Philosophy, Department of Biology

Supervisor: Prof. Dr. Çağatay TAVŞANOĞLU

January 2021, xiv + 184 sayfa

The flammability traits of plants are important for understanding the relationship between plant communities and fire regimes in fire-prone ecosystems. Recent studies have argued that plant functional traits related to flammability show variability among populations and that the fire regime may be responsible for this variability. Within the scope of this thesis, it is aimed to investigate the flammability traits at species, population and community levels in Mediterranean maquis species in *Pinus brutia* forests. It is also aimed to reveal how the flammability traits vary under different fire regimes and to classify the responses of the examined species to fire based on the basic flammability components. In this study, plant flammability was investigated under three main sections: inter- and intra-specific variability in plant flammability traits, the variation of these traits depending on the fire regime, and their relationship with the flammability components.

Field studies were carried out in Muğla and Antalya in Southwest Anatolia, where are two provinces Turkey's most frequent forest fires occur. We selected the most-abundant 26 maquis species in these forests and measured nine flammability traits (leaf dry matter content, specific leaf area, fuel moisture content, branching, leaf curliness, leaf thickness, the proportion of dead fine- fuel, dead to live fuel ratio and the proportion of coarse and

fine fuel) in the field and laboratory. In order to reveal the relationship between leaf traits and flammability components, leaves were burned experimentally by using a muffle furnace at an average temperature of 400 - 430°C and flammability classes were revealed at the species level. The results showed how the plant traits associated with flammability vary among plant communities, species and populations in different areas, and their relationships with flammability components (ignitability, sustainability, combustibility, and consumability).

The findings showed that all the studied flammability traits significantly vary among species and flammability strategies of plants in fire-prone Mediterranean pine forests are species-specific.

The evidence obtained from this thesis supports the idea that flammability traits are important biological traits that have to be considered to understand the ecology and evolution of plant species in fire-prone ecosystems. Revealing flammability of plants will help the selection of species for the restoration of Mediterranean habitats, to establish fire-resistant plant communities when necessary, and to decrease the future fire danger.

Keywords: Plant Functional Traits, Variability, Flammability, Fire Regime, Forest fire, *Pinus brutia*.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın her aşamasında değerli katkıları ve eleştirileriyle yol gösteren, yardımlarını esirgemeyen, sonsuz sabırla beni her zaman çalışmaya teşvik eden ve güven veren danışmanım Prof. Dr. Çağatay Tavşanoğlu'na, önemli yorum ve değerlendirmeleriyle ilerlememi sağlayan tez izleme komitesi üyelerim Prof. Dr. Ömer Küçük ve Prof. Dr. Nurdan Özer'e, desteğini hiçbir zaman esirgemeyen ve çalışmamın her aşamasında manevi olarak yanımda olmasının yanı sıra akademik olarak da desteğini esirgemeyen değerli eşim Dr. Eray Aktepe'ye, tez yazım aşamasında çalışmama izin veren küçük kızlarım Tanem ve Almıla'ya, arazi ve laboratuvar çalışmaları sırasında yardımlarını esirgemeyen arkadaşlarım Duygu Deniz Kazancı, Cansu Ülgen, Cihan Ünal Değirmenci, Cansu Özyapıcıel, Anıl Bahar, Uygur Tavşanoğlu, Nartjan Özden, Zeynep Ladin Çoşgun, Gökçen Aslan Aydemir ve Doç. Dr. Elif Aşıkuzun'a, fikir alışverişi yaparak bana destek olan arkadaşlarım İrem Tüfekcioğlu, Elif Deniz Ülker, Gökhan Ergen ve İsmail Bekar'a, arazi çalışmalarındaki desteklerinin yanı sıra, akademisyen kimliğiyle örnek aldığım değerli hocam Doç. Dr. Ü. Nihan Tavşanoğlu'na, bitki tür teşhisi sırasındaki destek ve yardımları nedeniyle Öğr. Gör. Haşim Altınözlü'ye ve tüm eğitim hayatım boyunca yanımda oldukları gibi tez çalışmamın her aşamasında manevi desteklerini esirgemeyen başta canım annem olmak üzere sevgili aileme çok teşekkür ederim.

Bu tez çalışması, Hacettepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından FHD-2017-14106 no'lu proje ile desteklenmiştir.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	iii
İÇİNDEKİLER	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
TABLolar DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1. Araştırmanın amacı	4
1.2. Araştırmanın önemi	4
1.3. Araştırmanın varsayımları ve araştırma soruları	6
1.4. Araştırma alanı	6
1.4.1. Akdeniz Tipi Ekosistemler ve Akdeniz Havzası	6
1.4.2. Muğla-Milas ve Antalya-Kaş Bölgeleri	8
1.5. Tezin Yapısı ve Organizasyonu	9
2. AKDENİZ ODUNSU MAKİ BİTKİLERİNİN FONKSİYONEL KARAKTERLERİ İLE YANABİLİRLİK ARASINDAKİ İLİŞKİ	10
2.1. Giriş	10
2.1.1. Akdeniz Havzasındaki Odunsu Bitki Türleri	12
2.1.2. Yanabilirlik: Bitki Yanabilirliği	13
2.1.3. Yanabilirlik Bileşenleri ve Bitki Karakterleri	16
2.2. Yöntem	20
2.2.1. Tür Seçimi ve Örneklem	20
2.2.2. Yanabilirlik Karakterler Ölçümleri	24
2.2.3. İstatistiksel Analizler	31
2.3. Bulgular	33
2.3.1. Türler Göre Yanabilirlik Karakterlerinin Değerlendirilmesi	34
2.3.1.1. Yaprak nem içeriği	34
2.3.1.2. Özgül yaprak alanı	35
2.3.1.3. Yaprak kuru madde miktarı	35
2.3.1.4. Yaprak kıvrıklığı	38
2.3.1.5. Yaprak kalınlığı	38
2.3.1.6. Dallanma indeksi	41

2.3.2.	Türlere Göre Toprak Üstü Biyokütle Ölçümlerinin Değerlendirilmesi	44
2.3.2.1.	Kaba / ince yanıcı madde oranı	46
2.3.2.2.	Ölü / ince yanıcı madde miktarı.....	46
2.3.2.3.	Ölü canlı yanıcı madde.....	49
2.3.3.	Yanabilirlik karakterleri arasındaki ilişkiler.....	52
2.4.	Tartışma.....	55
3.	YANABİLİRLİK KARAKTERLERİNİN YANGIN REJİMLERİNE BAĞLI OLARAK DEĞİŞİMİN İNCELENMESİ	65
3.1.	Giriş.....	65
3.2.	Yöntem.....	70
3.2.1.	Araştırma Alanı	70
3.2.2.	Tür Seçimi ve Örneklem	71
3.2.3.	İstatistiksel Analizler.....	71
3.3.	Bulgular	73
3.3.1.	Özgül yaprak alanı	78
3.3.2.	Yaprak kuru madde miktarı.....	83
3.3.3.	Yaprak kıvrıklığı.....	88
3.3.4.	Yaprak kıvrıklığı.....	93
3.3.5.	Dallanma indeksi	98
3.3.6.	Kaba ince yanıcı madde	104
3.3.7.	Ölü / ince yanıcı madde.....	110
3.3.8.	Ölü canlı yanıcı madde.....	116
3.4.	Tartışma.....	122
3.5.	YANABİLİRLİK BİLEŞENLERİNİN TÜRLERİN YANABİLİRLİK DERECELERİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİ	
3.6.	Yöntem.....	130
3.6.1.	Çalışılan Türler	130
3.6.2.	Yaprak Karakter Ölçümleri	132
3.6.3.	Yanma Deneyleri	133
3.6.4.	İstatistiksel Analizler.....	139
3.7.	Bulgular	140
3.7.1.	Türlere Göre Yanabilirlik Bileşen Parametrelerinin Değerlendirilmesi ..	141
3.7.2.	Yaprak Fonksiyonel Karakterleri ve Yanabilirlik Bileşenlerinin Değerlendirilmesi	148

3.8. Tartışma.....	157
4.SONUÇ.....	162
5.KAYNAKLAR.....	163



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Muğla-Milas ve Antalya-Kaş bölgelerini içeren çalışma alanının haritada gösterimi	20
Şekil 2.2. Çalışmanın gerçekleştirildiği dört farklı alana ait görseller... ..	22
Şekil 2.3. Çalışmada kullanılan bitki türlerine ait görseller... ..	23
Şekil 2.4. Özgül yaprak alanı ve yaprak boyutu hesaplaması için kullanılan örnekler	24
Şekil 2.5. Yaprak kıvrıklığı ölçümü... ..	26
Şekil 2.6. Yaprak boyutu tayini için taranan farklı türlere ait yaprak örnekleri... ..	27
Şekil 2.7. Yaprak kuru madde miktarı ölçümü... ..	28
Şekil 2.8. Yaprak kalınlığı ölçümü... ..	29
Şekil 2.9. Topraküstü biyokütle ölçümleri için ayıklanan örneklerden bazıları... ..	30
Şekil 2.10. Topraküstü biyokütle ölçümleri için tartılıp etüvlenen örneklerden bazıları... ..	31
Şekil 2.11. Yanabilirlik seviye ve indekslerin şematik gösterimi	33
Şekil 2.12. Yaprak nem içeriğinin (%) türler arası ve tür içi değişkenliği ve bunun yanabilirlik seviyeleri ile olan ilişkisi.	36
Şekil 2.13. Özgül yaprak alanının (mm^2/mg) türler arası ve tür içi değişkenliği ve bunun yanabilirlik seviyeleri ile olan ilişkisi.	37
Şekil 2.14. Yaprak kuru madde miktarının (mg/g) türler arası ve tür içi değişkenliği ve bunun yanabilirlik seviyeleri ile olan ilişkisi... ..	39
Şekil 2.15. Yaprak kıvrıklığının (mm) türler arası ve tür içi değişkenliği ve bunun yanabilirlik seviyeleri ile olan ilişkisi.	40
Şekil 2.16. Yaprak kalınlığının (mm) türler arası ve tür içi değişkenliği ve bunun yanabilirlik seviyeleri ile olan ilişkisi.	42
Şekil 2.17. Dallanma indeksinin (cm) türler arası ve tür içi değişkenliği ve bunun yanabilirlik seviyeleri ile olan ilişkisi.	43
Şekil 2.18. Her takson için toplam kuru ağırlığa göre bitki fraksiyonlarının oranı (ölü ve canlı, ince ve kaba yanıcı maddeler ve yapraklar)	45
Şekil 2.19. Kaba / ince yanıcı madde oranının türler arası ve tür içi değişkenliği ve bunun yanabilirlik seviyeleri ile olan ilişkisi.	47
Şekil 2.20. Ölü / ince yanıcı madde miktarının türler arası ve tür içi değişkenliği ve bunun yanabilirlik seviyeleri ile olan ilişkisi.	48
Şekil 2.21. Ölü / canlı yanıcı madde oranının türler arası ve tür içi değişkenliği ve bunun yanabilirlik seviyeleri ile olan ilişkisi.	50
Şekil 2.22. Tür düzeyinde incelenen karakterler arasındaki ilişki	53
Şekil 3.1. Güneybatı Anadolu’da bulunan Muğla ve Antalya ilinde bulunan çalışma alanlarının haritada gösterimi	70
Şekil 3.2. Yaprak nem içeriği değerlerinin farklı yangın rejimi ve çalışma alanlarındaki bitki komünitelerindeki durumu... ..	73

Şekil 3.3. <i>Quercus coccifera</i> , <i>Phillyrea latifolia</i> , <i>Juniperus oxycedrus</i> ve <i>Pistacia lentiscus</i> türleri nem içeriği indeks değerlerinin çalışma bölgesi ve yangın rejimlerine göre değişimi.....	75
Şekil 3.4. <i>Pistacia terebinthus</i> , <i>Euphorbia characias</i> , <i>Cistus salviifolius</i> , <i>Arbutus andrachne</i> türleri nem içeriği indeks değerlerinin çalışma bölgesi ve yangın rejimlerine göre değişimi.....	76
Şekil 3.5. <i>Cistus creticus</i> , <i>Daphne gnidioides</i> , <i>Phlomis lycia</i> ve <i>Styrax officinalis</i> türlerinin nem içeriği indeks değerlerinin çalışma bölgesi ve yangın rejimlerine göre değişimi.....	77
Şekil 3.6. Özgül yaprak alan indeksi değerlerinin farklı yangın rejimi ve çalışma alanlarındaki bitki komünitelerindeki durumu.....	78
Şekil 3.7. <i>Quercus coccifera</i> , <i>Phillyrea latifolia</i> , <i>Juniperus oxycedrus</i> ve <i>Pistacia lentiscus</i> türlerinde özgül yaprak alanı indeks değerlerinin çalışma bölgesi ve yangın rejimlerine göre değişimi.....	80
Şekil 3.8. <i>Pistacia terebinthus</i> , <i>Euphorbia characias</i> , <i>Cistus salviifolius</i> , <i>Arbutus andrachne</i> türlerinde özgül yaprak alanı indeks değerlerinin çalışma bölgesi ve yangın rejimlerine göre değişimi.....	81
Şekil 3.9. <i>Cistus creticus</i> , <i>Daphne gnidioides</i> , <i>Phlomis lycia</i> ve <i>Styrax officinalis</i> özgül yaprak alanı indeks değerlerinin çalışma bölgesi ve yangın rejimlerine göre değişimi.....	82
Şekil 3.10. Yaprak Kuru Madde Miktar indeksi değerlerinin farklı yangın rejimi ve çalışma alanlarındaki bitki komünitelerindeki durumu.....	83
Şekil 3.11. <i>Quercus coccifera</i> , <i>Phillyrea latifolia</i> , <i>Juniperus oxycedrus</i> ve <i>Pistacia lentiscus</i> türlerinde yaprak kuru madde miktar indeksi değerlerinin çalışma bölgesi ve yangın rejimlerine göre değişimi.....	85
Şekil 3.12. <i>Pistacia terebinthus</i> , <i>Euphorbia characias</i> , <i>Cistus salviifolius</i> , <i>Arbutus andrachne</i> türlerinde yaprak kuru madde miktar indeksi değerlerinin çalışma bölgesi ve yangın rejimlerine göre değişimi.....	86
Şekil 3.13. <i>Cistus creticus</i> , <i>Daphne gnidioides</i> , <i>Phlomis lycia</i> ve <i>Styrax officinalis</i> yaprak kuru madde miktar indeksi değerlerinin çalışma bölgesi ve yangın rejimlerine göre değişimi.....	87
Şekil 3.14. Kıvrıklık indeksi değerlerinin farklı yangın rejimi ve çalışma alanlarındaki bitki komünitelerindeki durumu.....	88
Şekil 3.15. <i>Quercus coccifera</i> , <i>Phillyrea latifolia</i> , <i>Juniperus oxycedrus</i> ve <i>Pistacia lentiscus</i> türlerinin kıvrıklık indeksi değerlerinin çalışma bölgesi ve yangın rejimlerine göre değişimi.....	90
Şekil 3.16. <i>Pistacia terebinthus</i> , <i>Euphorbia characias</i> , <i>Cistus salviifolius</i> , <i>Arbutus andrachne</i> türlerinin kıvrıklık indeksi değerlerinin çalışma bölgesi ve yangın rejimlerine göre değişimi.....	91
Şekil 3.17. <i>Cistus creticus</i> , <i>Daphne gnidioides</i> , <i>Phlomis lycia</i> ve <i>Styrax officinalis</i> türlerinin kıvrıklık indeksi değerlerinin çalışma bölgesi ve yangın rejimlerine göre değişimi.....	92
Şekil 3.18. Yaprak kalınlığı indeksi değerlerinin farklı yangın rejimi ve çalışma alanlarındaki bitki komünitelerindeki durumu.....	93

Şekil 3.19. <i>Quercus coccifera</i> , <i>Phillyrea latifolia</i> , <i>Juniperus oxycedrus</i> ve <i>Pistacia lentiscus</i> türlerinde yaprak kalınlığı indeks değerlerinin çalışma bölgesi ve yangın rejimlerine göre değişimi.....	95
Şekil 3.20. <i>Pistacia terebinthus</i> , <i>Euphorbia characias</i> , <i>Cistus salviifolius</i> , <i>Arbutus andrachne</i> türlerinde yaprak kalınlığı indeks değerlerinin çalışma bölgesi ve yangın rejimlerine göre değişimi.....	96
Şekil 3.21. <i>Cistus creticus</i> , <i>Daphne gnidioides</i> , <i>Phlomis lycia</i> ve <i>Styrax officinalis</i> yaprak kalınlığı indeks değerlerinin çalışma bölgesi ve yangın rejimlerine göre değişimi	97
Şekil 3.22. Dallanma indeksi değerlerinin farklı yangın rejimi ve çalışma alanlarındaki bitki komünitelerindeki durumu.....	98
Şekil 3.23. <i>Quercus coccifera</i> , <i>Phillyrea latifolia</i> , <i>Juniperus oxycedrus</i> ve <i>Pistacia lentiscus</i> 'da dallanma indeksi değerlerinin çalışma bölgesi ve yangın rejimlerine göre değişimi	100
Şekil 3.24. <i>Pistacia terebinthus</i> , <i>Euphorbia characias</i> , <i>Cistus salviifolius</i> , <i>Astragalus sp.</i> 'da dallanma indeksi değerlerinin çalışma bölgesi ve yangın rejimlerine göre değişimi	101
Şekil 3.25. <i>Arbutus andrachne</i> , <i>Cistus creticus</i> , <i>Daphne gnidioides</i> , <i>Genista acanthoclada</i> 'da dallanma indeksi değerlerinin çalışma bölgesi ve yangın rejimlerine göre değişimi	102
Şekil 3.26. <i>Phlomis lycia</i> , <i>Styrax officinalis</i> 'de dallanma indeksi değerlerinin çalışma bölgesi ve yangın rejimlerine göre değişimi.....	103
Şekil 3.27. Kaba / ince yanıcı madde indeksi değerlerinin farklı yangın rejimi ve çalışma alanlarındaki bitki komünitelerindeki durumu.....	104
Şekil 3.28. <i>Quercus coccifera</i> , <i>Phillyrea latifolia</i> , <i>Juniperus oxycedrus</i> ve <i>Pistacia lentiscus</i> türlerinde kaba / ince yanıcı madde indeks değerlerinin çalışma bölgesi ve yangın rejimlerine göre değişimi	106
Şekil 3.29. <i>Pistacia terebinthus</i> , <i>Euphorbia characias</i> , <i>Cistus salviifolius</i> , <i>Arbutus andrachne</i> türlerinde kaba / ince yanıcı madde indeks değerlerinin çalışma bölgesi ve yangın rejimlerine göre değişimi	107
Şekil 3.30. <i>Cistus creticus</i> , <i>Daphne gnidioides</i> , <i>Phlomis lycia</i> ve <i>Genista acanthoclada</i> türlerinin kaba / ince yanıcı madde indeks değerlerinin çalışma bölgesi ve yangın rejimlerine göre değişimi	108
Şekil 3.31. <i>Phlomis lycia</i> ve <i>Styrax officinalis</i> kaba / ince yanıcı madde indeks değerlerinin çalışma bölgesi ve yangın rejimlerine göre değişimi	109
Şekil 3.32. Ölü / ince yanıcı madde indeksi değerlerinin farklı yangın rejimi ve çalışma alanlarındaki bitki komünitelerindeki durumu.....	110
Şekil 3.33. <i>Quercus coccifera</i> , <i>Phillyrea latifolia</i> , <i>Juniperus oxycedrus</i> ve <i>Pistacia lentiscus</i> türlerinde ölü / ince yanıcı madde indeks değerlerinin çalışma bölgesi ve yangın rejimlerine göre değişimi	112
Şekil 3.34. <i>Pistacia terebinthus</i> , <i>Euphorbia characias</i> , <i>Cistus salviifolius</i> , <i>Astragalus sp.</i> türlerinde ölü / ince yanıcı madde indeks değerlerinin çalışma bölgesi ve yangın rejimlerine göre değişimi	113

Şekil 3.35. <i>Arbutus andrachne</i> , <i>Cistus creticus</i> , <i>Daphne gnidioides</i> , <i>Genista acanthoclada</i> 'da ölü / ince yanıcı madde indeks değerlerinin çalışma bölgesi ve yangın rejimlerine göre değişimi	114
Şekil 3.36. <i>Phlomis lycia</i> ve <i>Styrax officinalis</i> ölü / ince yanıcı madde indeks değerlerinin çalışma bölgesi ve yangın rejimlerine göre değişimi	115
Şekil 3.37. Ölü/canlı yanıcı madde indeksi değerlerinin farklı yangın rejimi ve çalışma alanlarındaki bitki komünitelerindeki durumu... ..	116
Şekil 3.38. <i>Quercus coccifera</i> , <i>Phillyrea latifolia</i> , <i>Juniperus oxycedrus</i> ve <i>Pistacia lentiscus</i> türlerinde ölü / canlı yanıcı madde indeks değerlerinin çalışma bölgesi ve yangın rejimlerine göre değişimi.....	118
Şekil 3.39. <i>Pistacia terebinthus</i> , <i>Euphorbia characias</i> , <i>Cistus salviifolius</i> , <i>Astragalus</i> sp. türlerinde ölü / canlı yanıcı madde indeks değerlerinin çalışma bölgesi ve yangın rejimlerine göre değişimi	119
Şekil 3.40. <i>Arbutus andrachne</i> , <i>Cistus creticus</i> , <i>Daphne gnidioides</i> , <i>Genista acanthoclada</i> 'da ölü / canlı yanıcı madde indeks değerlerinin çalışma bölgesi ve yangın rejimlerine göre değişimi	120
Şekil 3.41. <i>Phlomis lycia</i> ve <i>Styrax officinalis</i> ölü / ince yanıcı madde indeks değerlerinin çalışma bölgesi ve yangın rejimlerine göre değişimi	121
Şekil 4.1. Kül fırını	135
Şekil 4.2. Termocupl yardımıyla fırın sıcaklığının ölçülmesi ve yakma deneylerinde kullanılan ısıya dayanıklı cam kap... ..	136
Şekil 4.3. Kütle kaybı hesaplaması için örneklerin tartılması... ..	137
Şekil 4.4. Yandıktan sonra kalan örnek yapraklar	138
Şekil 4.5. Yanabilirlik bileşen parametrelerinin korelasyon grafiği... ..	142
Şekil 4.6. Tutuşma zamanı (s) ve duman süresi (s) parametrelerinin türler arasındaki değişimi.....	144
Şekil 4.7. Yanma süresi (s) ve toplam yanma süresi (s) parametrelerinin türler arasındaki değişimi.....	145
Şekil 4.8. Yanma oranı (mg/s) ve kütle kaybı (%) parametrelerinin türler arasındaki değişimi.....	146
Şekil 4.9. Yanabilirlik bileşenlerinin korelasyon grafiği.....	147
Şekil 4.10. Yanabilirlik bileşen parametreleri arasındaki doğrusal regresyon analiz sonuçları... ..	152
Şekil 4.11. Yaprak fonksiyonel karakterleri ve yanabilirlik bileşen parametreleri arasındaki doğrusal regresyon analiz sonuçları... ..	153
Şekil 4.12. 22 tür için altı yanabilirlik bileşeni parametresinin temel bileşen analizi... ..	154
Şekil 4.13. 22 tür için altı yaprak fonksiyonel özellik parametrelerinin Temel Bileşen Analizi.....	155

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1.1. Yanabilirlik kavramına ilişkin temel terimler	2
Tablo 2.1. Çalışmada kullanılan bitki taksonları.....	21
Tablo 2.2. Çalışmada kullanılan yanabilirlik karakterleri, birimleri, tanımları, ölçme / tahmin yöntemleri ve ilgili referanslar	25
Tablo 2.3. Araştırmaya dâhil edilen her bir takson için örneklenen birey sayısı ve taksonların bulunduğu örnekleme alanı sayısı.....	29
Tablo 2.4. İncelenen Akdeniz maki türleri arasındaki yanabilirlik karakterlerinin türler arası değişkenliğine ilişkin tanımlayıcı istatistikler	34
Tablo 2.5. Çalışmaya dâhil edilen taksonlar için dokuz yanabilirlik karakterinin ortalama değerleri... ..	51
Tablo 2.6. Yanabilirlik karakter değişkenlerine ait korelasyon değerleri.....	54
Tablo 3.1. Örnekleme Kızılçam ormanlarının konumsal özellikleri... ..	72
Tablo 3.2. Komünite seviyesindeki yaprak nem içeriği indeksi verisinin çalışma bölgesi ve yangın rejimi için oluşturulan genel doğrusal karma modelinin özeti	73
Tablo 3.3. Popülasyon seviyesindeki yaprak nem içeriği indeks verisinin çalışma bölgesi ve yangın rejimi için oluşturulan genel doğrusal karma modelinin özeti	74
Tablo 3.4. Komünite seviyesindeki özgül yaprak alanı indeksi verisinin çalışma bölgesi ve yangın rejimi için oluşturulan genel doğrusal karma modelinin özeti	78
Tablo 3.5. Popülasyon seviyesindeki özgül yaprak alanı indeksi verisinin çalışma bölgesi ve yangın rejimi için oluşturulan genel doğrusal karma modelinin özeti	79
Tablo 3.6. Komünite seviyesindeki yaprak kuru madde miktar indeksi verisinin çalışma bölgesi ve yangın rejimi için oluşturulan genel doğrusal karma modelinin özeti.....	83
Tablo 3.7. Popülasyon seviyesindeki yaprak kuru madde miktar indeksi verisinin çalışma bölgesi ve yangın rejimi için oluşturulan genel doğrusal karma modelinin özeti.....	84
Tablo 3.8. Komünite seviyesindeki yaprak kıvrıklık indeksi verisinin çalışma bölgesi ve yangın rejimi için oluşturulan genel doğrusal karma modelinin özeti	88
Tablo 3.9. Popülasyon seviyesindeki kıvrıklık indeksi verisinin çalışma bölgesi ve yangın rejimi için oluşturulan genel doğrusal karma modelinin özeti.....	89
Tablo 3.10. Komünite seviyesindeki yaprak kalınlığı indeksi verisinin çalışma bölgesi ve yangın rejimi için oluşturulan genel doğrusal karma modelinin özeti	93
Tablo 3.11. Popülasyon seviyesindeki yaprak kalınlığı indeks verisinin çalışma bölgesi ve yangın rejimi için oluşturulan genel doğrusal karma modelinin özeti	94
Tablo 3.12. Komünite seviyesindeki dallanma indeksi verisinin çalışma bölgesi ve yangın rejimi için oluşturulan genel doğrusal karma modelinin özeti.....	98
Tablo 3.13. Popülasyon seviyesindeki dallanma indeksi verisinin çalışma bölgesi ve yangın rejimi için oluşturulan genel doğrusal karma modelinin özeti	99

Tablo 3.14. Komünite seviyesindeki kaba / ince yanıcı madde indeksi verisinin çalışma bölgesi ve yangın rejimi için oluşturulan genel doğrusal karma modelinin özeti.....	104
Tablo 3.15. Popülasyon seviyesindeki kaba / ince yanıcı madde indeksi verisinin çalışma bölgesi ve yangın rejimi için oluşturulan genel doğrusal karma modelinin özeti.....	105
Tablo 3.16. Komünite seviyesindeki ölü / ince yanıcı madde indeksi verisinin çalışma bölgesi ve yangın rejimi için oluşturulan genel doğrusal karma modelinin özeti.....	110
Tablo 3.17. Popülasyon seviyesindeki ölü / ince yanıcı madde indeksi verisinin çalışma bölgesi ve yangın rejimi için oluşturulan genel doğrusal karma modelinin özeti.....	111
Tablo 3.18. Komünite seviyesindeki ölü/canlı yanıcı madde indeksi verisinin çalışma bölgesi ve yangın rejimi için oluşturulan genel doğrusal karma modelinin özeti.....	116
Tablo 3.19. Popülasyon seviyesindeki ölü/canlı yanıcı madde indeksi verisinin çalışma bölgesi ve yangın rejimi için oluşturulan genel doğrusal karma modelinin özeti.....	117
Tablo 4.1. Bu çalışmada incelenen bitki türleri... ..	131
Tablo 4.2. Yaprak fonksiyonel özellikleri, kısaltmaları, açıklamaları ve ölçü birimleri... ..	132
Tablo 4.3. Yaprak yanabilirlik bileşenleri, kısaltmaları, açıklamaları, yanabilirlik bileşenleri ve ölçübirimleri... ..	134
Tablo 4.4. Yanabilirlik karakterlerine ait tanımlayıcı istatistikler	149
Tablo 4.5. Yanabilirlik bileşen parametrelerinin genel doğrusal karma modellerinin özeti	150
Tablo 4.6. Altı yanabilirlik bileşen parametresi ve beş yaprak fonksiyonel özelliği üzerindeki Temel Bileşenler Analizinden (PCA) elde edilen faktör yükleri ve değişim oranları... ..	155

1. GİRİŞ

Doğal müdahale tiplerinden en yaygını olan yangınlara ilişkin ilk kanıtlar karasal bitkilerin yaygınlaşmaya başladığı Silüryen dönemine (440 milyon yıl önce) kadar gitmektedir. Yangınlar, ortaya çıktıkları o dönemden beri ekolojik sistemler üzerine etki etmeyi sürdürmektedir. Günümüzde de boreal ormanlardan savanalara, çayır ve çalılıklardan tropik ormanlara kadar yerkürenin çoğu bölgesinde yangınlar ekolojik sistemlerin bir olgusu haline gelmiştir. Bununla birlikte, uzun yaz kuraklığı dönemi boyunca dünya üzerinde özellikle Akdeniz ikliminin görüldüğü bölgelerde (ör: Kaliforniya, Akdeniz Havzası, Kap bölgesi, güneybatı Avustralya) etkili olan yangınlar, bu bölgelerde ekosistem dinamiklerinin büyük ölçüde yangınla şekillenmesine neden olmuştur (Christensen, 1994; Pausas ve Vallejo, 1999; Keeley ve ark., 2012).

Yangının gerçekleştiği Akdeniz tipi ekosistemlerde bulunan birçok bitki türünün, farklı yangın rejimleri altında, yangın sonrası hayatta kalma veya kendini yenileme noktasında değişik uyarlanmalar gösterdiği ekoloji alanındaki birçok bilimsel çalışmada vurgulanmıştır (Tavşanoğlu ve Gürkan, 2004; Keeley ve ark. 2011; Pausas, 2015). Bazı ekosistemlerin yangın sayesinde yapılarını değiştirdikleri ve devamlılıklarının yanı sıra yenilenmelerini de bu sayede gerçekleştirdiği öne sürülmüştür (Neyişci, 1998). Ancak, gerçekleştiği bölgede ekosistem dinamiklerini büyük ölçüde şekillendirme gücüne sahip yangınların bitki vejetasyonu üzerindeki etkisi ve yangın sonrası bitki uyarlanması kadar ekosistem içerisinde yer alan bitki türlerinin yanabilirlik stratejileri, yanabilirlik karakterleri ve bu karakterlerin yangın rejimlerine bağlı olarak gösterdikleri değişim de çok önemlidir. Nitekim yangın ve yangına uyarlanmış bitkilerin birlikte evrildiği bilinmekle birlikte, yangına uyarlanmış bitkilerin birçoğunun oldukça yangıcı ve yanmaya elverişli olduğu da kanıtlanmıştır (Loucks, 1970). Her ne kadar yanabilirliğin bitkilerin yangınla ilişkili bir karakteri olduğu ve yangına eğilimli ekosistemlerde bitkilerin daha yangıcı olmak üzere evrim geçirdiği uzun yıllar önce ileri sürüldüyse de (Mutch, 1970) bu hipotez on yıllar boyunca göz ardı edilmiş ve bitkilerin yanabilirliğinin yangın rejimleri tarafından şekillendirilebileceği düşüncesinin kanıtlanabilirliği sorgulanmıştır (Troumbis, 1989).

Yangın bitki karakterlerinin şekillenmesinde evrimsel bir baskı aracı olarak görev yapar. Yangına karşı bitki tarafından geliştirilen bu karakterlerden birisi olan yanabilirlik doğal yönü daha yeni anlaşılmaya başlamıştır (Keeley ve ark., 2011).

Tablo 1.1. Yanabilirlik kavramına ilişkin temel terimler (Anderson, 1970; Martin ve ark., 1994; Pausas ve ark., 2017).

Terim (Türkçe)	Terim (İngilizce)	Tanım
Yanabilirlik	Flammability	Türlerin yanabilme kabiliyeti
Yanıcılık	Combustibility	Yanıcı maddenin ne kadar iyi yandığını belirlemede kullanılan ölçüt
Tüketilebilirlik	Consumability	Tüketilen yanıcı madde oranı
Sürdürülebilirlik	Sustainability	Tutuşma kaynağına bağlı olmaksızın materyalin tamamen yanmasına kadar geçen süreç
Tutuşabilirlik	Ignitibility	Materyalin tutuşma kaynağına ilk maruz kaldığı andan materyalin tutuşmasına kadar geçen süreç

Yanabilirlik; yangın süresince, yanıcı maddenin tutuşma kabiliyeti olarak ifade edilir ve dört bileşenle temsil edilir: tutuşabilirlik sürdürülebilirlik, yanıcılık ve tüketilebilirlik (Tablo 1.1). Tutuşabilirlik, materyalin tutuşma kaynağına ilk maruz kaldığı andan materyalin tutuşmasına kadar geçen süreç olarak, sürdürülebilirlik ise tutuşma kaynağına bağlı olmaksızın materyalin tamamen yanmasına kadar geçen süreç olarak ifade edilmektedir (Anderson, 1970). Yanıcılık yanıcı maddenin fiziksel ve kimyasal özellikleri ile doğrudan ilişkili olup, yanıcı maddenin ne kadar iyi yandığını belirlemede kullanılırken, tüketilebilirlik ise, yanma sırasında tüketilen materyalin miktarı olarak tanımlanmıştır (Martin ve ark., 1994; Pausas ve ark., 2017) (Tablo 1.1).

Yanabilirlik, bitkinin içerdiği nem miktarına, yapısal karakterlerine, dokularındaki madde bileşimine (örneğin, uçucu organik bileşikler), biyokütle özelliklerine ve biriken ölü örtü miktarına bağlıdır. Bu karakterlerin her biri ayrı boyutlarda farklı metotlar kullanılarak analiz edilmelerine rağmen hem bitki yanabilirliği üzerindeki etkileri hem de birbirleriyle olan ilişkileri tam olarak ortaya çıkarılmamıştır (Shafizadeh ve ark., 1977; Etlinger, 2000; Francis, 2000).

Yanabilirliğin ekolojik ve evrimsel önemine ilişkin teorik argümanlar literatürde nadir olarak zaman zaman yer alsa da (Bond ve Midgley, 1995), yanabilirlik karakterlerinin değişkenliğinin yangın rejimleri ile ilişkisi konusundaki kanıtlar, ancak yakın dönemlerde ortaya konulabilmiştir (Saura-Mas ve ark., 2010; Pausas ve ark., 2012). Mutch (1970) ilk olarak, farklı bitki türlerinin yanabilirlik derecelerinin büyük ölçüde değiştiğini ve

yangına eğilimli topluluklarda oldukça yanıcı türlerin yaygın olduğunu gözlemlemiş ve yanabilirliği artıran bitki özelliklerinin uyarlanabilir olduğu hipotezini ortaya atmıştır. Ancak bu hipotez artan yanabilirliğin, kuraklık toleransı gibi diğer özelliklerin seçiliminden kaynaklanabileceği temelinde eleştirilmiştir (Snyder, 1984). Buna ek olarak, Bond ve Midgley (1995) "komşunu öldür" hipotezini ortaya atarak, sürgün veremeyen türlerin yanabilirliğinin kendinden daha az yanıcı olan komşusunun tutuşmasına neden olduğunu öne sürmüştür. Bununla birlikte yanabilirliğin tür düzeyinde incelenmesinin, orman yangınlarının ekolojisi açısından bir anlamı olmayacağı çünkü yanabilirliğin vejetasyondaki tüm türler ile birlikte değerlendirilmesinin gerekli olduğu da belirtilmiştir (Fernandes ve Cruz, 2012). Bunun karşısındaki görüş ise bitkilerde yanabilirliğin evrimleşebilen bir biyolojik karakter olduğunu öne sürmektedir (Pausas ve Moreira, 2012). Akdeniz Havzası'nda yapılmış olan bir çalışma bitki yanabilirliğini arttıran bitki fonksiyonel karakterlerinin doğal seçilime cevap olarak ortaya çıktığını ve bunun yangın tarafından kontrol edildiğini ortaya koymuştur (Moreira ve ark., 2014). Bu sonuç, daha önce yanabilirliğin bitkilerin evrimsel tarihinde önemli bir etken olduğunu ortaya koyan Bond ve Scott (2010)'un çalışmalarını desteklemektedir.

Gerçekten de, bitki yanabilirlik karakterleri ve bitki türlerinin yanabilirliğinin bitkilerin ekolojisini ve evrimini etkileyen önemli faktörler olduğu ve bitkilerin yanabilirlik ile ilgili farklı stratejilere sahip olduğu konusu (Keeley ve ark., 2011; Pausas ve ark., 2017), yangın ekolojisi bilim alanının gelişimi adına vurgulanması gereken ve yeni çalışmalara muhtaç bir konudur. Son birkaç yıl içerisinde yanabilirlik genel teorik çerçevede bir bitki karakteri olarak tanımlanmış olsa da, yanabilirliğin ekolojik önemi ve yangın rejimlerinin bitkilerin yanabilirliğini şekillendirici etkisi konusunda literatürde hala çok büyük boşluklar bulunmaktadır. Özellikle, yangına eğilimli ekosistemlerde farklı yangın rejimleri altında yetişen bitki popülasyonları, türleri ve komünitelerinin yanabilirliğinin değişkenliği tam olarak bilinmemektedir.

Ekosistem içerisinde yer alan bitki türlerinin yanabilirlik stratejileri, yanabilirlik karakterleri ve bu karakterlerin yangın rejimlerine bağlı olarak gösterdikleri değişimi ortaya koymayı amaçlayan bu tez çalışması için tercih edilen Muğla-Milas ve Antalya-Kaş bölgesi, ekosistem dinamiklerinin değişiminde yangının önemli rol oynadığı Akdeniz ekosistemi içinde bulunmaktadır. Türkiye'nin de içerisinde yer aldığı Akdeniz Havzası, yaklaşık 1,6 milyon yıldır, yaz kuraklığı ile karakterize edilen Akdeniz iklim tiplerinin etkisi altındadır.

Özellikle bölgeye insanın ulaşımı ve yerleşimi ile birlikte ortamda görülen doğal yangınlara antropojenik yangınlar da eklenmiş (790.000 yıl öncesinden beri) (Goren-Inbar ve ark., 2004) ve Akdeniz vejetasyonunda yer alan bitkiler o dönemlerden beri sıklıkla meydana gelen yangınların etkisi altında kalmışlardır (Verdú ve Pausas, 2007). Bu bağlamda, çalışma alanının içinde bulunduğu bölge, sahip olduğu iklim tipi ve vejetasyon ile Akdeniz tipi ekosistem dinamiklerinin görüldüğü tipik alanlardan birisi olarak, meydana gelen yangınlar neticesinde sürekli vejetasyon yenilenmesi ve gelişmesi görülen bir ekosistem özelliği taşımaktadır. Bu nedenlerle, seçilen çalışma alanı farklı yangın rejimleri altında yangın sonrası bitkilerin hayatta kalma veya kendini yenileme uyarlanmaların görülebileceği ve bitki türlerinin yanabilirlik stratejileri, yanabilirlik karakterleri ve bu karakterlerin yangın rejimlerine bağlı olarak gösterdikleri değişimin incelenebileceği model alanlardan birisidir.

1.1. Araştırmanın amacı

Bu çalışmada, ekosistem dinamiklerinin değişiminde yangının önemli rol oynadığı Akdeniz ekosisteminde bulunan Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) orman altı florasını oluşturan baskın maki türlerinin yanabilirliklerinin tür, popülasyon ve komünite düzeyinde araştırılması, yanabilirlik karakterlerinin farklı yangın rejimleri altında nasıl değiştiğinin ortaya çıkarılması ve bu türlerin yangına karşı gösterdikleri tepkilerin temel yanabilirlik bileşenlerine göre sınıflandırılması amaçlanmıştır. Yangın rejimlerinin, yanabilirlik karakterleri üzerindeki etkisinin anlaşılabilmesi amacıyla, farklı yangın rejimine sahip Kızılçam orman alanları projeye dâhil edilmiştir. Bu sayede, bitkilerin yanabilirliklerinin Akdeniz ekosistemlerinde bulunan ve farklı yangın rejimlerine sahip Kızılçam ormanlarında bir değişkenlik gösterip göstermediğinin belirlenmesi hedeflenmiştir.

1.2. Araştırmanın önemi

Türkiye'nin de içerisinde yer aldığı Akdeniz Havzası, dünya üzerinde yer alan diğer birçok yangına eğilimli ekosistem gibi, ekosistem dinamiklerinin işleyişinde yangının başat aktör olduğu bölgelerden biridir (Keeley ve ark., 2012). Akdeniz Havzası içinde yer alan bir bölgenin çalışma alanı olarak belirlendiği bu araştırma, yangınla ilişkili bitki karakterleri arasında yer alan yanabilirliğin yangın rejimleri ile nasıl şekillendiğini ortaya koyması açısından yangın ekolojisi yazınına önemli bir katkı sunacaktır. Yanabilirliğe ilişkin literatürde daha çok bireysel tür düzeyinde incelenmiş olan yanabilirlik

karakterlerinin, komünite düzeyindeki ve aynı türe ait popülasyonlar arasındaki değişkenlikleri, yangına eğilimli ekosistemlerdeki etkileri ve yanabilirlik bileşenleri ile ilişkileri incelenmesi gereken önemli unsurlardır.

Her ne kadar Türkiye'nin sahip olduğu Akdeniz vejetasyonundaki bitki türlerinin ya da vejetasyonun yanıcılığı konusunda yerli ve yabancı yazında tanımlayıcı çalışmalar mevcut olsa da (Neyişçi, 1996; Saura-Mas ve ark., 2010; Xanthopoulos ve ark., 2012; Moreira ve ark., 2014; Pausas ve ark., 2016), tezin ana çalışma alanını oluşturan Kızılçam (*Pinus brutia*) ormanlarında bulunan odunsu maki türlerinin yanabilirlik karakterlerindeki değişkenlik ve bunun yangın rejimleri ile olan ilişkileri daha önce herhangi bir çalışmada yer almamıştır. Bu bağlamda, bitki türlerinin yanabilirlik stratejileri, yanabilirlik karakterleri ve bu karakterlerin yangın rejimlerine bağlı olarak gösterdikleri değişimi inceleyen bu araştırma, bitki yanabilirlik çalışmalarına ve uygulamalarına bilimsel temel oluşturmada yangın ekolojisi yazınına yöntembilim ve veri analizi açısından önemli katkılar sağlayacaktır.

Tezin çalışma alanından elde edilen bulgular, orman yangınlarının doğal sebeplerinin anlaşılması, yangın önleme ve yangın söndürme konusundaki çalışmaların ekolojik bir bakış açısı ile yeniden yapılandırılmasına katkıda bulunacaktır. Bu çalışmanın sonuçları, Türkiye'de yangınla ilişkili olarak daha çok rejenerasyonu incelenmiş olan Kızılçam ormanlarında yer alan odunsu maki türlerinin yanabilirlik karakterlerinin önemini ortaya koyması bakımından önemlidir. Bu doğrultuda, yanabilirliğin bir bitki karakteri olarak ortaya koyulması ve bitkilerin farklı yanabilme karakterlerinin ortaya çıkarılması, özellikle Akdeniz tipi ekosistemlerin görüldüğü bölgelerde yangınla mücadele noktasında oldukça faydalı olacaktır. Bu araştırma, yılda milyonlarca TL harcanan yangın sonrası ormanlaştırma stratejileri ve yangın söndürme faaliyetlerinin daha az maliyetle gerçekleştirilmesine olanak sağlaması ile yangınla mücadele ekonomisine katkıda bulunma potansiyeline sahiptir. Ayrıca, bu tez çalışması, gelecekte bu konuda yapılacak diğer çalışmaları yönlendirme potansiyeline sahip olması bakımından da önem taşımaktadır.

1.3. Araştırmanın varsayımları ve araştırma soruları

Tezde; incelenen Kızılçam ormanlarında yer alan çok sayıda bitki türünün yanabilirlik ile ilgili karakterlerinin değerlendirilebilmesi için belirlenen alanlardan örnekler toplanmış ve yanabilirlik ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Her bir çalışma alanında örneklenen bireylerin yanabilirlik karakterlerine ilişkin arazi ve laboratuvar ölçümleri gerçekleştirilerek; (a) yanabilirlik karakterlerinin farklı alanlardaki bitki türleri ve popülasyonları arasında değişkenlik gösterip göstermediğin belirlenmesi, (b) yangın rejimlerinin, bitkilerin yanabilirlik karakterlerindeki değişkenliği ne ölçüde açıkladığının ortaya konması ve (c) yanabilirlik bileşenlerinin yaprak fonksiyonel karakterleri ile karşılaştırarak incelenen maki türleri arasında yanabilirlik farklılıklarını ortaya çıkarılması amaçlanmıştır. Bu araştırma soruları ışığında tezin temel hipotezleri: (1) “farklı alanlarda yetişen bitki komüniteleri, türleri ve aynı türe ait popülasyonlar, yanabilirlik karakteri bakımından farklılık gösterirler”, (2) “yanabilirlik karakterlerinde farklı alansal ölçeklerde görülen alanlar arası değişkenliği en çok alanlar arasındaki yangın rejimi farklılıkları açıklamaktadır” ve (3) “farklı alanlarda bulunan bitkilerin yanabilirlik bileşeni parametrelerinin yaprak fonksiyonel karakterleri üzerindeki etkisinin, türlerin yanabilirlik derecelerinin farklı olmasına neden olur” şeklinde oluşturulmuştur.

1.4. Araştırma alanı

1.4.1. Akdeniz Tipi Ekosistemler ve Akdeniz Havzası

Kışları ılık ve yağışlı yazları ise sıcak ve kurak iklim rejimleri ile karakterize edilen Akdeniz tipi ekosistemler, dünyanın sadece beş bölgesinde bulunmaktadır (Kaliforniya, Akdeniz Havzası, Orta Şili, Güney Afrika-Kap bölgesi, Güney Avustralya). Her bölgenin genel sınırları sadece iklim rejimlerine değil, aynı zamanda bitki örtüsü ve bölgenin tarihsel geçmişine göre de belirlenmektedir. Akdeniz Havzası da kendi içerisinde farklı özellikler göstermektedir. (Aschmann 1973; Kuennecke 2008; Avcı 2017). Akdeniz tipi ekosistemlerin görüldüğü bölgelerinin çoğunda don oluşumu gözlenirse de, bu durum ovalarda nadir ve nispeten hafif gerçekleşmektedir. Ortalama yıllık yağış miktarı Akdeniz tipi ekosistemlerin kıyı bölgelerinde 120-250 mm'ye kadar düşerken, klasik yaprak dökmeyen çalı bölgelerinin üst kısımlarında yaklaşık 1000 mm'ye kadar çıkabilmektedir. Yağış miktarı bölge vejetasyonu açısından yeterli gibi görünse de, özellikle bitki gelişme zamanına denk gelen uzun bir kurak dönemin varlığı bitkilerde strese neden olmaktadır.

Yıl içinde gerçekleşen sıcaklık ve yağış gibi faktörlerin dağılışı, vejetasyonu şekillendiren ve çeşitliliği sağlayan en önemli faktörlerdendir (Avcı 2017).

Akdeniz Havzası Akdeniz tipi ekosistemler arasında en geniş alana sahip olanıdır ve karmaşık tabiat özellikleri ile topografik ve iklimsel heterojenliğe sahiptir . Bölgenin toplam alanı yaklaşık 2,300,00 km² olup diğer Akdeniz tipi ekosistemlerin görüldüğü bölgelerden yaklaşık 10 kat daha büyüktür. Bölge doğudan batıya (Güney Anadolu, Malta, Cebelitarık Boğazı) ve kuzeyden güneye (Adriyatik Denizi, Malta, Tunus) doğru uzanan hatlarla dört kısma (kuzeybatı, kuzeydoğu, güneybatı, güneydoğu) ayrılır (Richardson ve Rundel, 1998). Üç kıtayı kapsayan Akdeniz Havzasına kıyısı olan 20 kadar ülke bulunmaktadır. Kendine özgü topografik ve iklim heterojenliğine sahip olan Akdeniz Havzasının geniş alanı, farklı coğrafi kökenlerden gelen bitki türlerinin bu bölgede bir arada yaşayabilmesine neden olmuştur.

Akdeniz Havzası'nı tanımlamak için bölgenin iklimsel özellikleri sıklıkla kullanılmakta, ancak pırnal meşesi (*Quercus ilex*) ve zeytin (*Olea europea*) gibi baskın ve yaygın odunsu türler de bölgenin biyoindikatörleri olarak bilinmektedir. Akdeniz havzası iklim özelliklerini yansıtan ve yılın her dönemi yeşil yapraklı (herdem yeşil) türlerin meydana getirdiği çalılar da Havzanın karakteristik bir vejetasyon tipini oluşturmaktadır. Bu bölgede hem yaprak dökmeyen hem de yaprak döken meşe türlerinin yanı sıra sert ve yaprak dökmeyen çalılıkların hâkim olduğu geniş alanlar bulunmaktadır. Bu çalı toplulukları Akdeniz havzasında maki, Kaliforniya'da chapparal, Kap Bölgesinde finbos, Şili'de matoral ve Avustralya'da mallee olarak bilinmektedirler (Keeley ve ark., 2012).

Akdeniz iklimine uyarlanmış küçük çalı ve ağaçların oluşturduğu bitki toplulukları olan makiliklerde yaklaşık 1-2 metre boyunda çalılar hâkim olsa da, bazen 2 metreden daha uzun ağaççıklardan da oluşabilirler. Genellikle yangına elverişli kalkerli tabakalar üzerinde meydana gelen kısa boylu çalılıklar olan frigana vejetasyonu, Yunanistan ve Türkiye'deki kullanımından farklı olarak, İsrail'de batha, İspanya'da ise tomillares olarak adlandırılmaktadır (Medail ve Quezel, 1997; Keeley ve ark., 2012). *Quercus coccifera*'nın (kermes meşesi) hâkim olduğu ve kireç ana kayası üzerine yetişen diğer bir bitki topluluğu da garig olarak adlandırılmaktadır (Keeley ve ark., 2012). Makilikler, garigler ve frigana bitki toplulukları, Akdeniz havzasında oluşan yangınlara sık bir şekilde maruz kalmaktadırlar.

Çalı toplulukları içerisinde yer alan tipik bazı bitki türleri aromatik olmakla birlikte bünyelerinde yüksek oranda fenolik bileşik içermektedir. Bu bitkilere örnek olarak *Crataegus monogyna* (alıç), *Laurus nobilis* (defne), *Astragalus* sp. (geven), *Origanum onites* (İzmir kekiği), *Myrtus comminus* (mersin) ve *Pistacia lentiscus* (sakız ağacı) türleri verilebilir. Bu gibi türlerin yapılarında uçucu bileşik bulundurmalarından dolayı yüksek yanabilirlik ile ilişkilendirildikleri bilinmektedir (Pausas ve ark., 2016; Aktepe ve Küçük, 2017; Alam ve ark., 2019).

1.4.2. Muğla-Milas ve Antalya-Kaş Bölgeleri

Bu çalışma, Türkiye'nin güneybatısında yer alan ve en sık orman yangını görülen iki ili olan Muğla ve Antalya'da Milas ve Kaş yörelerinde gerçekleştirilmiştir. Bu tez kapsamında, Türkiye'nin Muğla-Milas ve Antalya-Kaş bölgesinde bulunan Kızılçam (*Pinus brutia*) orman altı florasını oluşturan baskın maki türlerinin yanabilirliklerinin popülasyon, tür ve komünite düzeyinde belirlenmesi, farklı yangın rejimleri altında yanabilirlik karakterlerinin değişiminin ortaya çıkarılması ve bu türlerin yangına karşı gösterdikleri davranış biçimlerinin temel yanabilirlik bileşenlerine göre sınıflandırılmaları hedeflenmiştir.

Araştırma alanı olarak belirlenen illerin yer aldığı güneybatı Anadolu yöresinde birbirine en az 200 km uzaklıkta iki “çalışma bölgesi” seçilmiştir. Her bir çalışma bölgesi içerisinde yangınların daha nadir gerçekleştiği yüksek rakıma (> 900 m) ve yangınların daha sık gerçekleştiği alçak rakıma (< 300 m) sahip olmak üzere ikişer Kızılçam ormanı “çalışma alanı” olarak belirlenmiştir. Her bir çalışma alanı içerisinde birbirine en az 1 km uzaklıkta yer alan ve 1 ha büyüklüğünde üçer “çalışma parseli” seçilerek tüm araştırma için toplam 24 çalışma parseli örnekleme yapılmak üzere belirlenmiştir. Çalışma alanları ve çalışma parsellerinin seçiminde, alanların olgun Kızılçam ormanı olması, jeolojik anakaya materyalinin kireçtaşı olması ve uzun yıllar boyunca doğal ya da insan kaynaklı bir müdahaleye (ör: tepe yangını, tıraşlama kesimi) uğramamış olması ölçüt olarak belirlenmiştir.

Akdeniz havzası içinde bulunan farklı yangın rejimlerine sahip bölgelerde bulunan bitkilerin yanabilirlik karakterlerinin farklılık gösterip göstermediğinin ortaya konulması hedeflenen bu çalışmada, çalışma alanlarında yer alan 26 bitki türünün yanabilirlik ile ilgili karakterleri konusunda arazide ölçümler gerçekleştirilerek, örnekler toplanmıştır. Buna ek olarak, her bir çalışma alanında örneklenen bireylerin yanabilirlik karakterlerine

ilişkin laboratuvar ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Böylece, yanabilirlik karakterlerinin farklı alanlardaki bitki komüniteleri ve türleri arasında değişkenlik gösterip göstermediği tespit edilmiştir. Bu çalışma sonucunda, farklı yangın rejimlerinin bitkilerin yanabilirlik karakterlerindeki değişkenliği ne ölçüde açıkladığı da ortaya konulmuştur.

1.5. Tezin Yapısı ve Organizasyonu

Tez toplamda bir tanesi giriş bölümü olmak üzere dört bölüm ve bu bölümlerde yer alan bulguların değerlendirildiği sonuç bölümünden oluşmaktadır. Araştırma alanı içerisinde yer alan bitki türlerinin yanabilirlik karakterleri, bu karakterlerin yangın rejimlerine bağlı olarak gösterdikleri değişimi ve yanabilirlik bileşenleri ile yanabilirlik karakterleri arasındaki ilişki tez kapsamında dört farklı bölümde ele alınmış ve araştırma sonunda elde edilen bulgular ilgili bölümlerde ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

Tezin ikinci bölümünde, Kızılçam ormanlarında yer alan 26 odunsu bitki türünün yanabilirlik ile ilgili karakterleri konusunda arazide ölçümler gerçekleştirilmiş ve örnekler toplanmıştır. Her bir çalışma alanında örneklenen bireylerin yanabilirlik karakterlerine ilişkin olarak ayrıca laboratuvar ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Son olarak yanabilirlik karakterlerinin farklı alanlardaki bitki türleri arasında değişkenlik gösterip göstermediği belirlenmiştir.

Üçüncü bölümde; yangın rejimlerinin, bitkilerin yanabilirlik karakterlerindeki değişkenliği ne ölçüde açıkladığı ortaya çıkarılmıştır. Bitkilerin yanabilirlik karakterlerinin farklı yangın rejimleri altında nasıl değiştiği komünite ve popülasyon düzeyinde araştırılmıştır.

Çalışmanın dördüncü bölümünde, Akdeniz odunsu maki bitkilerinden olan 26 türün yangına karşı gösterdikleri davranış karakterleri, dört temel yanabilirlik bileşeni (1) tutuşabilirlik, (2) yanıcılık, (3) tüketilebilirlik ve (4) sürdürülebilirlik ele alınarak ortaya çıkarılmıştır. Bu dört temel yanabilirlik bileşenlerinin ölçüm parametreleri içerisinde yer olan tutuşma zamanı, alev süresi ve yanma süresi parametre ölçümleri laboratuvar ortamında gerçekleştirilmiş ve çalışılan türler arasında sınıflandırma yapılmıştır.

2. AKDENİZ ODUNSU MAKİ BİTKİLERİNİN FONKSİYONEL KARAKTERLERİ İLE YANABİLİRLİK ARASINDAKİ İLİŞKİ

2.1. Giriş

Yangın, birçok biyomda bitki örtüsü dağılımını ve yapısını şekillendiren güçlü bir ekolojik fenomendir (Keeley ve ark., 2012; Bond, 2019) ve bitki karakterlerinin şekillenmesinde evrimsel bir baskı aracı olarak görev yapmaktadır (Keeley ve ark., 2011). Yangına karşı bitki tarafından geliştirilen bu uyarlanmalardan birisi olan yanabilirliğin ekosistemin doğal ve ayrılmaz bir bileşeni olduğu, son yıllarda yangın ekolojisi alanında yapılmış olan çalışmalarla (Gill ve Zylstra, 2005; Pausas ve ark., 2017) reddedilemez bir olgu haline gelmiştir. Tutuşma (ön ısınma), sürdürülebilirlik ve tükenebilirlik (kor halinde yanma) bileşenleriyle birlikte yanabilirlik, yangın süresince yanıcı maddenin tutuşma kabiliyetini ifade eden yanıcılığın en önemli öğelerinden biridir.

Tutuşma; materyalin tutuşma kaynağına ilk maruz kaldığı zamandan itibaren tutuşana kadar geçen süreç olarak ifade edilirken, sürdürülebilirlik; tutuşma kaynağına bağlı olmaksızın materyalin tamamen yanmasına kadar geçen süreç olarak ifade edilmektedir. Tükenebilirlik, yanma sırasında tüketilen materyalin miktarı olarak tanımlanmıştır (Martin ve ark., 1994). Yanabilirlik ise, yanıcı maddenin fiziksel ve kimyasal özellikleri ile doğrudan ilişkili olup, materyalin yanma yoğunluğu ve hızını ifade eden bir kavramdır (Anderson, 1970). Yanıcı herhangi bir maddenin tutuşma kabiliyetiyle ifade edilen yanıcılığın bileşenlerinden biri olan yanabilirlik, yangına karşı geliştirilen en önemli karakterlerden birisidir. Yanabilirlik, bitkinin sahip olduğu fonksiyonel karakterlerinin yanı sıra bitki biyokütle özelliklerine ve biriken ölü örtü miktarına da bağlıdır (Baeza ve ark., 2011; Pausas ve ark., 2016). Bu karakterlerin her biri farklı metotlar kullanılarak analiz edilmelerine rağmen hem bitki yanabilirliği üzerindeki etkileri, hem de birbirleriyle olan ilişkileri tam olarak ortaya çıkarılmamıştır (Shafizadeh ve ark., 1977; Etlinger, 2000; Francis, 2000).

Bitkiler yangının doğasını etkileyebilmekte ve aynı vejetasyonda yanabilirlik açısından büyük farklılıklar gösterebilmektedir. Farklı bitki türleri, farklı vejetasyonlarda yanıcı madde sürekliliğine ve toplam yanıcı madde yüküne katkıları açısından farklılık göstermekte (Van Wilgen ve ark., 1990; Scarff ve Westoby, 2006) ve bitki örtüsü kompozisyonundaki bu çeşitlilik büyük ölçüde yangın rejimlerini değiştirmektedir. Tür

kompozisyonunun yangına karşı gösterdiği tepki ve türler arasındaki potansiyel etkileşimlerin, yanabilirliği nasıl etkileyebileceği güncel yazında henüz yeni incelenmeye başlanan bir konudur. Mevcut yangın ekolojisi literatürü içerisinde, bir topluluktaki birden çok tür üzerinde türe özgü uyarlanma ölçümlerini inceleyen araştırmalar, bireysel türlerin yanabilirliğini bitki karakterleriyle ilişkilendirmiştir (Garnier and Laurent, 1994; Keeley ve ark., 2011; Engber and Varner, 2012; Perez-Harguindeguy ve ark., 2013; Grootemaat ve ark., 2015; Simpson ve ark., 2016; Jolly ve Johnson, 2018; Kattge ve ark., 2020). Dimitrakopoulos ve Papaioannou (2001) yaptıkları çalışmada, Akdeniz'deki hâkim türlerin yanabilirlikleri sınıflandırırken, Saura-Mas ve ark (2010), Batı Akdeniz Havzası'ndaki çalılık alanlarda farklı yangın sonrası yenilenme stratejisi gösteren türlerin yanabilirliğini ve yanıcı madde yükünü araştırmışlardır. Rocca ve ark. (2018) canlı yapraklar, döküntü yatakları ve ağaç kabuğu örneklerini analiz ederek iki Akdeniz karışık orman bitkilerinin yanabilirliğini karakterize etmişlerdir. Yaprığın yanabilirliğinin bireysel düzeyde değerlendirilmesi gereken bir spektrum olduğunu vurgulayan çalışmalar literatürde yerini almıştır (Michelaki ve ark., 2020). Ancak yanabilirliği potansiyel olarak etkileyen bitki karakterlerinin yangına eğilimli ekosistemlerde bulunan türler arasında yanabilirlik seviyelerinin nasıl değiştiğini ve birbirleriyle aralarındaki ilişkiyi ortaya koyan herhangi bir çalışma bulunmamaktadır. Tam da bu noktada, bitkilerin yangına karşı geliştirdiği karakterler ile yanabilirlik arasındaki ilişkiyi ortaya koyan bu tez, literatürdeki bu boşluğu doldurmayı hedeflemektedir.

Yanabilirliği etkileyen faktörler, son 30 yılda bir dizi araştırma tarafından incelenmiştir. Bununla birlikte, çoğu araştırma, ya çok geniş (peyzaj ölçeği) (Rothermel ve Philpot 1973) ya da çok dar (bitki dokusu ve organ ölçeği) ölçeklerde (Montgomery ve Cheo 1971) sınırlı sayıda birkaç özelliğe odaklanmıştır. Bugüne kadar yapılan çalışmalar, incelenen karakterlerin bitkinin yanabilirliğini etkilediğini ve etkilerin türler arasında büyük ölçüde değiştiğini bulmuştur; bazen bir tür, bir karakterde farklı bir türden daha fazla yanıcı olurken diğerinde daha az yanıcıdır (Dimitrakopoulos 2001, Dimitrakopoulos ve Papaioannou 2001, Etlinger ve Beall 2004). Ne yazık ki, çoğu çalışma yalnızca bir veya iki karaktere odaklandığından ve yanabilirliği ölçmek için farklı ölçütler kullandığından, farklı karakterlerin yanabilirlik üzerindeki göreceli etkisini tam olarak tahmin etmek mümkün olmamıştır. Yanabilirlik karakterlerinin Muğla-Milas ve Antalya-Kaş bölgelerinde baskın olarak yayılış gösteren toplam 26 bitki türü üzerindeki etkisinin incelendiği tezin bu bölümünde amaç, bitki karakterleri ve yanabilirlik üzerine olan

etkilerini tür düzeyinde birçok karakter üzerinden karşılaştırarak yanabilirliğin farklı alanlardaki bitki türleri arasında değişkenlik gösterip göstermediğinin belirlenmesidir. Bu bölüm sonunda elde edilen bulgular ışığında, bitki türleri arasındaki yanabilirliğin hangi bitki karakterleri tarafından belirlendiği ortaya konulmuştur. Bitki karakterleri ve yanabilirlik ile ekosistem arasındaki bağlantıyı analiz etmek için bu bölüm sonuçlarını kullanmak, yangına uyum sağlayan veya yangına ilişkin stratejileri olan bitki türlerinin belirlenmesinde ve genel peyzaj iyileştirilmesi çalışmalarında önemli bir faktör olacaktır. Bu bağlamda, özellikle yangına meyilli ekosistemlerde, türlerin yangına uyum sağlaması, yangın rejimine etkisi ve sahip oldukları yanabilirlik karakterleri ile ekosistem arasındaki ilişkinin vurgulanması büyük önem taşımaktadır.

Yangınların, özellikle yangına eğilimli ekosistemlerin doğal ve ayrılmaz bir bileşeni olduğu, dolayısıyla var olan bitki türleri ile yangın arasında sıkı bir ilişki olduğu yadsınamaz. Bu genel ön kabulün bir adım daha ilerisine giderek, çalışma yangına eğilimli ekosistemlerde birçok bitki türünün, bölgenin yangın rejimi ile ilişkisi sayesinde sistemdeki kalıcılığını korumaya çalıştığını ve bu nedenle de yaşam döngüsünde yangınların çok önemli bir yere sahip olduğunu vurgulamaktadır. Bu temelde, çalışmanın bu bölümünde yangına eğilimli ekosistemler (özellikle Akdeniz tipi ekosistemler) içerisinde bitki karakterleri ve yanabilirlik ele alınmıştır. Toplam 26 farklı odunsu bitki türüne ait bitki karakterleri ve yanabilirlik arasındaki ilişkiyi ortaya çıkarmak için farklı analizler yapılarak bulgular elde edilmiştir.

2.1.1. Akdeniz Havzasındaki Odunsu Bitki Türleri

Akdeniz havzasındaki bitki türleri, ekosistemin iklim özelliklerine çok iyi uyarlanmıştır (Tavşanoğlu ve Gürkan, 2004). Odunsu bitki türlerinin çoğu susuzluğa dirençli bitkiler olup, yaprakları sert, sklerofil ve daima yeşildir. Stomalar sert yapraklarda derine gömülmüş haldedir. Böylece yapraklardan su kaybı minimum miktarda gerçekleşir. Bazı türlerde yapraklar dikenli, tüylü ve iğne yaprak şeklinde, bazı türlerin ise dimorfik yapraklara sahip olmasıyla bitki kuraklığa uyum sağlamaktadır. Çoğu bitki türü ilkbaharın başında ve kışın büyük ve yumuşak yapraklara, yaz ve ilkbaharın sonunda daha küçük ve sert yapraklara sahip olarak ekstrem dönemleri atlarmaya çalışırlar. Bazı bitki türleri ise bu dönemlerde yapraklarını dökerek adapte olurlar. Akdeniz havzasında bulunan çalı türlerinin büyük çoğunluğu kuraklığa adapte olmak için gelişmiş kök sistemlerine sahiptir. Bu durum bitkilerin derinlerdeki suya kolaylıkla erişmelerini sağlar. Bazı türler ise yanlara doğru kök vererek yağışla toprağa gelen suyu hemen alma şeklinde

adapte olmuşlardır. Odunsu olmayan birçok bitki türü ise suyu yapraklarda, gövdede ve yumru köklerde depolayarak kurak dönemi atlattırlar.

Türkiye’de Akdeniz ikliminin yoğun olarak görüldüğü kıyı bölgeleri makiliklerin yayılış alanlarını oluşturur. Akdeniz orman vejetasyonu kıyı kesimlerden başlayarak iç kesimlere kadar yayılış göstermektedir. Akdeniz ormanlarının baskın türü Kızılçamdır (*Pinus brutia*). Önemli çalılık alanlar oluşturan maki türleri, aynı zamanda Kızılçam ormanlarının orman altı florasında da yer almaktadır. Özellikle yangın ya da antropojen faktörlerin etkisiyle tahrip olmuş alanlarda maki bitki türleri yoğun olarak görülür. Kızılçam orman altı florasını oluşturan maki türleri Akdeniz flora bölgesinin hemen her yerinde görülürler. Birçok tür bu flora bölgesinde vadiler aracılığı ile geniş alanlarda yayılış gösterirler. Bunlardan en önemlisi kermes meşesidir (*Quercus coccifera*). Genel olarak kızılçamın yayılış alanıyla aynı olmasına rağmen farklı yerlerde de görülebilir. Bu durum kermes meşesinin farklı ortamlara kızılçama oranla daha adaptif olduğunu gösterir (Kaya ve Aladağ, 2009). Özellikle ışıǵı seven maki elemanlarından; *Cistus salviifolius*, *Juniperus oxycedrus* gibi türler, tahrip olmuş *Pinus brutia* alanlarına yerleşerek büyük topluluklar oluşturur. Bunun dışında *Arbutus unedo*, *Erica arborea*, *Quercus coccifera*, *Pistacia lentiscus*, *Phillyrea latifolia* ve *Styrax officinalis* gibi gölgeye uyum sağlamış türler ise *Pinus brutia*’nın orman altı florasını oluşturur. Akdeniz havzasında kıyıda iç kesimlere doğru gidildikçe topografyada değişimler meydana gelir. İklimin çok fazla değişmediği ancak topografik yapının değiştiği durumlarda maki tür çeşitliliğinde artış görülür. Türkiye’de maki toplulukları içerisindeki tür çeşitliliği oldukça fazladır.

Akdeniz makilik vejetasyonunda yayılış gösteren türlerin birçoğunun yangın sonrasında popülasyonlarını yenileyecek karakterlere sahip olduğu bilinmektedir (Paula ve ark., 2009; Tavşanoğlu ve Pausas, 2018). Bu karakterler, farklı bitki türlerinin yangın sonrası rejenerasyon için farklı stratejilere sahip olmasını sağlayarak (Pausas ve ark., 2004), Akdeniz Havzası çam ormanlarında türlerin ya tohumla yenilenme yoluyla ya da sürgün verme yoluyla yangın sonrası rejenerasyonunun gerçekleşmesine olanak vermektedir (Kazanis ve Arianoutsou, 2004; Calvo ve ark. , 2008; Kavgacı ve ark., 2010; Tavşanoğlu ve Gürkan, 2014).

2.1.2. Yanabilirlik: Bitki Yanabilirliği

Yanabilirlik, bitki örtüsünün (yanıcı maddenin) genel yanma yeteneği olarak tanımlanmaktadır (Gill ve Zylstra, 2005). Bu terim, yanıcı maddenin ne kadar iyi

tutuştugunu (tutuşabilirlik), ne kadar iyi yandığını (yanıcılık) ve ne kadar süre yandığını (sürdürülebilirlik) tanımlayan üç bileşenli bir değişken olarak tanımlanmaktadır (Gill ve Zylstra, 2005; Grootemaat ve ark., 2015). Bir bitki organı, bütün bir bitki veya bir bitki topluluğu bir "yanıcı madde" olarak ifade edilebilir. Zira bitki türleri, kontrol edilemeyen yangınlar için yanıcı madde görevi görmekte ve kendi içerisinde farklı yanabilirlik özellikleri göstermektedirler. Örneğin türler, yaprak boyutu, yapısı ve şekli, tepe kısmı dallanma modeli, içeriğindeki kimyasal bileşimler vb. bakımından farklılık göstermektedir. Bitki özellikleri olarak anılan bu karakterler, türlerin büyüme, gelişme, uyarlanma ve evrimleri gibi süreçleri büyük ölçüde kontrol etmektedir.

Bir bitkinin ne kadar yanabilir olduğu canlıyken sahip olduğu özelliklerin yanı sıra, ölümünden sonra yapraklarının ve diğer organlarının durumuna da bağlıdır. Bu organların tutuşabilirliği (canlı veya ölü), bitki dokusunun türü ile bitkinin ve organlarının ısı karşısında gösterdikleri reaksiyona bağlıdır. Bir türün yanabilirliği, o türün içinde bulunduğu bitki topluluğunun yanabilirlik özellikleri (ör: yanıcı madde miktarı, bitkinin topluluk yapısı ve kalıcılığı toprağın organik madde içeriği) ve belirli iklim koşulları (çok kuru bir dönemden sonra birçok bitki kendi yanabilirliklerinden bağımsız olarak yanabilir) tarafından şekillenmektedir (Perez-Harguindeguy ve ark., 2013). İklim koşulları, birçok Akdeniz yöresinde hala yangın rejimlerini açıklayan en önemli etken durumundadır (Bekar ve ark., 2020). Akdeniz odunsu maki bitkilerinin yangına karşı geliştirdiği karakterler ile yanabilirlik arasındaki ilişkiyi ele alan bu tezde de, iklim koşulları ve bitki topluluklarının yanabilirlik karakterleri bir türün yanabilirliğini ortaya koymak için bağımsız değişkenler olarak ele alınmıştır. Nitekim çalışmanın analiz sonuçları, farklı bitki türleri ve bunların yanabilirlikleri arasında önemli farklılıklar olduğunu ortaya çıkarmıştır.

Bitki yanabilirliğini artırıcı özellikler, kurak bölgelerde yangın rejimlerine önemli katkılarda bulunduğu gibi dolaylı olarak ekosistem dinamikleri üzerinde önemli ekolojik etkiler bırakmaktadır. Yanabilen bitkiler, yangın sırasında geliştiği alanı muhafaza edebilir ya da başka şekilde kendi kendini idame ettirmek için uygun ortam oluşturabilir (Engber ve Varner 2012). Orman yangınlarının bitki örtüsü boyunca yayılma yeteneği, büyük ölçüde türler arasında değişen bitki yanabilirliğine bağlıdır. Tüm bitkilerin aşırı orman yangını koşullarında muhtemelen yanacağı düşünüldüğünde, yanıcı maddenin tutuşma oranı (yani tutuşabilirlik), bitki yanıcılığını ve orman yangınının yayılmasını belirlemede öne çıkan faktör haline gelmektedir. Bitki yapraklarının yangın sırasında ilk

tutuşan yapı olması ve diğer bitki yapı ve yanıcı madde kaynaklarına ulaşarak yangının kolayca yayılmasına neden olması, bitki yapraklarını en yanabilir yapı olarak kabul edilmesine neden olmuştur (Murray ve ark. 2013). Nitekim yaprak kıvrıklığı, yaprak nem oranı, özgül yaprak alanı, yaprak kuru madde miktarı, yaprak kalınlığı, yüzey alanı/hacim oranı ve toprak üstü biyokütle ölçümleri gibi bitkilerin yanabilirliğini etkileyen parametreler; bu tez kapsamında bitkilerin yanıcılığını bitki yapraklarının özellikleri üzerinden tahmin etmeye yönelik benimsenen analiz yönteminin parametreleri olarak belirlenmiştir.

Bitki yanabilirliği, bitkilerin yerel abiyotik faktörlerle (en önemlisi mikroiklimle) ve otçuluğun doğrudan ve dolaylı etkileriyle değiştirilebilen çok sayıda morfolojik ve kimyasal karakter ile ilgilidir (Cornelissen ve ark. 2003). Bu bitki karakterlerindeki değişkenlik, potansiyel olarak mikroklimatik koşullar, ekosistemin yapısı veya farklı türlerin bulunmasından dolayı, bitkinin yanabilirliğini etkileyebilir ve bu durum ise, tutuşma olasılığını, alev yayılma oranını ve yangın yoğunluğunu etkileyebilmektedir (Rundel 1981).

Çeşitli bitki türlerinde yangına karşı gösterdikleri uyarlanmalara ilişkin önceki çalışmalar, nispeten sık tarihsel yangın yaşayan ekosistemlerle sınırlıydı. Akdeniz, Amerika Birleşik Devletleri'nin güneybatı bölgesi ve Avustralya orman yangın bölgelerinde, tipik olarak, yanıcı madde yatağı derinliği ve yanabilirliğin pozitif olarak ilişkili olduğu ileri sürülmektedir. Daha derin yanıcı madde yataklarının, döküntü örtüsü boyunca daha fazla havalandırmaya neden olması sonucunda daha sıcak ve daha yüksek alevler yarattığı ve bunun yanı sıra daha büyük, daha sıkı ve kıvrılmış yaprakların yanabilirlik üzerinde farklı etkilere sahip olduğu vurgulanmıştır (Scarff ve Westoby, 2006; Ganteaume ve ark., 2011). Farklı orman türlerinde, yüzey alanı / hacim oranlarına göre daha büyük yapraklara sahip türler (Papio ve Trabaud, 1990; Dimitrakopoulos ve Papaioannou, 2001), uzunluk ve çevre açısından daha büyük yapraklara sahip türler (Schwilk ve Caprio, 2011; Engber ve Varner, 2012) ve daha ince/daha hafif yapraklara sahip türler daha yüksek yanabilirlik düzeyi ile ilişkilendirilmiştir.

Sonuç itibariyle bitki örtüsü, orman yangınlarında yanıcı madde görevi görür ve bu nedenle, bir bitkinin tutuşma ve yanmayı sürdürme becerisi, bitki topluluklarının nasıl yandığının temel belirleyicisi olarak ifade edilmektedir. Yüksek yanabilirliğe sahip bitkilerin hâkim olduğu bitki örtüsü toplulukları, benzer hava ve arazi koşullarında daha hızlı veya daha yoğun şekilde yanmaktadır. Tersine, baskın türler düşük yanıcılığa

sahipse, orman yangınları daha az yoğun gerçekleşmesinin yanında daha yavaş hareket edebilmekte veya orman hiç yanmamaktadır. Bitki karakterlerinin yanabilirliği nasıl etkilediğini anlamak (bitki topluluklarının tutuşma kabiliyeti), yalnızca bireysel orman yangını davranışını tahmin etmek için değil, aynı zamanda tür kompozisyonundaki değişikliklerin ormanın yanabilirliğini nasıl etkileyebileceğini tahmin etmek için de önemlidir (Tumino ve ark., 2019).

2.1.3. Yanabilirlik Bileşenleri ve Bitki Karakterleri

Bitkinin sahip olduğu yapısal karakterler, bireysel olarak bitkileri ve bitki parçalarının (yaprak, dal vb.) yanabilirliğine etki ettiği gibi bitkilerin oluşturduğu vejetasyonun yanabilirliğini de etkilemektedir. Yapraklar genelde bir bitkinin tutuşan ilk parçalarıdır ve yangınlar sırasında çoğunlukla bitki uç dalları ile birlikte yanarlar (Midgley ve ark., 2011; Murray ve ark., 2013; Belcher, 2016) ve bu nedenle yaprak özellikleri bitki yanabilirliğini doğrudan etkiler. Bunun yanı sıra yapraklar, yangın davranışıyla güçlü bir şekilde bağlantılı olan yanıcı madde bileşenleridir ve vejetasyondaki yangın davranışını anlamak için yaprak özellikleri giderek daha fazla kullanılmaktadır (Schwilk ve Caprio, 2011; Zylstra ve ark., 2016). Birçok araştırmacı, yaprak veya yanıcı madde ölçeğini temel alarak yanabilirliği analiz etmeye odaklanmıştır (Dimitrakopoulos ve Papaioannou, 2001) ve bu ölçekler temelinde gerçekleştirilen analizlerde bitki yanabilirliği çeşitli karakterlerle ilişkilendirilmiştir (Schwilk, 2015). Bu bitki karakterlerinden yaprak kalınlığı, yaprak nem içeriği, özgül yaprak alanı, dallanma mimarisi ve kaba / ince yanıcı madde oranı gibi bitki karakterleri ile yanabilirlik arasında negatif bir ilişki söz konusuyken, yaprak kuru madde miktarı, yaprak kıvrıklığı, ölü/canlı yanıcı madde oranı ve ölü ince yanıcı madde gibi bitki karakterleri ise yanabilirliği olumlu yönde etkilemektedir (Schwilk 2003; Scarff ve Westoby 2006; Saura-Mas ve ark., 2010; Pausas ve ark., 2012; Murray ve ark., 2013; Pérez-Harguindeguy ve ark., 2013).

Yaprak nemi, bitki yanabilirliği çalışmalarında en sık kullanılan bitki karakterlerinden biridir (Trabaud; 1974, 1976; Murray ve ark., 2013). Nem içeriği genel olarak yanıcı madde tutuşabilirliğinin güçlü bir belirleyicisi olarak kabul edilmektedir (Byram 1959; Plucinski ve Anderson 2008; Ganteaume ve ark., 2009; Sullivan ve ark., 2012; Bilgili ve ark., 2019). Yapılan çalışmalar sonucunda düşük yanıcı madde nemi konsantrasyonunun yanıcılığı artırdığı ortaya çıkarılmıştır (Dimitrakopoulos ve Papaioannou, 2001). Yapraktaki su içeriği buharlaşma yoluyla kaybedilene kadar tutuşma olayı gerçekleşmeyeceğinden, yaprak nem miktarı ve tutuşma arasında doğrudan bir ilişki söz

konusudur. Zira yüksek nem içeriğine sahip bitki türlerinin tutuşmaları için geçen süre daha uzun olduğu için yanabilirlikleri daha düşüktür (Murray ve ark., 2013). Yapılan çalışmalar, canlı yaprağın nem içeriğinin yüksek olmasından dolayı, aynı yaprağın kurutulmuş veya yaşlanmış olmasına göre daha uzun tutuşma süresine sahip olduğunu ortaya çıkarmıştır (Grootemaat ve ark., 2015).

Diğer yanabilirlik karakterlerinden biri olan yaprak kalınlığı, yaprakların fiziksel gücünü belirlemede önemli bir rol oynamasının yanı sıra, özgül yaprak alanının önemli bir bileşeni olarak yanabilirliği etkiler (Perez-Harguindeguy ve ark., 2013).

Yaprak kuru madde miktarı karakteri ise, yanabilirlik ve yaprak nemi içeriği arasındaki ilişkiyi ortaya çıkaran en önemli parametrelerden biridir. Yaprak kuru madde miktarı, bir yaprağın kuru kütlelerinin suya doymuş kütlelerine bölünmesiyle elde edilir. Bitkinin sahip olduğu bu karakter, yaprak dokularının ortalama yoğunluğu (taze hacim başına düşen taze kütle) ile ilgilidir. Birçok çalışma, yüksek kuru madde miktarı ile yanabilirliğinin doğru orantılı olarak değiştiğini ortaya koymuştur (Cornelissen ve ark., 2003; Alam ve ark., 2019). Yüksek kuru madde miktarına sahip yaprakların oluşturduğu döküntüler, düşük kuru madde miktarına sahip yaprakların oluşturduğu döküntüye göre daha yavaş ayrışma eğilimindedir. Yüksek kuru madde miktarına sahip yapraklar nispeten sert olma eğilimindedir. Bu nedenle, düşük kuru madde miktarına sahip yapraklara göre fiziksel tehlikelere (örneğin herbivorluk, rüzgâr, dolu) karşı daha dirençli olduğu varsayılmaktadır (Perez-Harguindeguy ve ark., 2013).

Özgül yaprak alanı, taze yaprağın tek taraflı alanının, yaprağın kuru kütlelerine bölünmesiyle elde edilir ve yaprak kuru madde miktarı ile yaprak kalınlığı karakterinin bir fonksiyonu olarak karşımıza çıkar. Her iki bitki karakteri de bulundukları vejetasyon ve bitki türlerine bağlı olarak özgül yaprak alanı parametresini farklı derecelerde etkileyebilmektedir. Bir bitki karakteri olarak özgül yaprak alanı ile yaprak kuru madde miktarı arasında negatif bir ilişki bulunmaktadır. Soğuk ve ılıman otsu bitki topluluklarında, yavaş büyüyen türlerin düşük özgül yaprak alanı, yaprak kalınlığından ziyade yüksek yaprak kuru madde miktarı ile ilişkili olma eğilimindedir. Vejetasyonda odunsu çok yıllık bitkilerin baskın olma durumunda ise yaprak kalınlığı parametresi eşit derecede etkili olabilmektedir (Cornelissen ve ark. 2003).

Genellikle gölgede yetişen, bu nedenle de kaynakları sınırlı olan mikro habitatlarda var olan bazı türler, yüksek özgül yaprak alanı ve düşük yaprak kalınlığına sahiptir. Toprak-

besin sınırlamalarının yüksek olduğu bölgelerde sklerofil bitkiler yaygındır. Bu bitkilerde, düşük özgül yaprak alanı, yüksek yaprak kuru madde miktarı ile yüksek yaprak kalınlığı parametresinden daha fazla ilişkilidir. Bunun aksine, kuru subtropikal ve tropikal bölgelerde yaygın olan sukkulent bitkilerde, özgül yaprak alanı, düşük yaprak kuru madde miktarı ve yüksek yaprak kalınlığı ile ilişkilidir. Bu varyasyonların bir sonucu olarak, özgül yaprak alanı ve bileşenleri her zaman olmamakla birlikte genellikle birbirleriyle basit bir şekilde ilişkilidir (Cornelissen ve ark. 2003). Özgül yaprak alanı ve tutuşma arasında negatif bir ilişki olduğu yapılan çalışmalarda ortaya çıkarılmıştır. Daha yüksek özgül yaprak alanına sahip bitki türlerin yapraklarının tutuşma süreleri daha kısadır (Grootemaat ve ark., 2017).

Karmaşık dallanma mimarisine sahip bitkiler geniş dallanma yapısı oluşturdıklarından, yangını kolayca yayma eğilimindedir. Dallanma derecesi burada kanopinin dallanma mimari karmaşıklığının bir göstergesi olarak kullanılır ve standart olarak kademeli bir şekilde 0'dan (dallanma yok), 5'e (dört veya daha fazla dallanma sırası) kadar değişir (Perez-Harguindeguy ve ark., 2013). Kanopi dallanma karakteri terimi, bir bitkinin dallanmasının ne kadar yoğun olduğunu anlamak için kullanılır. Yanabilirlik ve bitki dallanma karakteri arasında pozitif bir ilişki bulunur. Bu durum yangına meyilli ekosistemlerde birçok bitki türünün, hızla büyüyen ortamlara uyum sağlamak için daha çok dallanan bir yapı göstermesine neden olmaktadır (Pérez-Harguindeguy ve ark., 2013).

Yanabilirliği etkileyen diğer bir bitki karakteri olan yaprak kıvrıklığının, yüzeyde birikme oranı söz konusu olunca yaprak boyutundan daha önemli bir bitki karakteri olduğu bilinmektedir. Yaprak kıvrılması, döküntü örtüsü kütle yoğunluğunun yangının yayılmasında etkili olduğu düşünülürse bir yanabilirlik parametresi olarak kabul edilebilmektedir (Engber ve Varner, 2012). Küçük ama kıvrımlı yapraklar, büyük düz yapraklara göre havalandırılması yüksek döküntü örtüsüne neden olmaktadır. Bu durum yanabilirliğin, bu türlerin baskın olduğu vejetasyonlarda yüksek olmasına neden olmaktadır. Tersine, daha kıvrık ve daha büyük yapraklar, yanıcı madde parçacıkları arasında hava boşlukları oluşturarak döküntü örtüsü yığın yoğunluğunu azaltmakta ve daha yüksek yanabilirliğe sebep olmaktadır (Engber ve Varner, 2012; Parsons ve ark., 2015).

Yaprak yüzey alanı / hacmi oranı karakteri, yanabilirlik ile negatif bir ilişki sergilerken, tutuşma ile güçlü bir pozitif ilişki göstermektedir. Bitki türlerinde, küçük dallar (daha

küçük kesit alanına sahip dallar) ve küçük yapraklar daha yüksek yüzey-hacim oranına ve dolayısıyla daha hızlı kuruma oranına sahip olacaklarından yanabilirliklerinin de yüksek olması beklenmektedir (Pérez-Harguindeguy ve ark., 2013). Yüksek yüzey alanı-hacim oranlarına sahip yapraklar, ayrışmanın gerçekleşmesi için göreceli olarak daha büyük bir temas alanına sahiptir. Bu durum, hızlı bir şekilde ayrışmalarına (Swift ve ark., 1979) ve daha çabuk tutuşmalarına (Gill ve Moore, 1996) neden olmaktadır.

Biyokütle ölçümlerinde kullanılan farklı yanıcı madde sınıfları, yüzey alanı / hacmi ile yanabilirlik arasındaki ilişkiyi ortaya çıkarmak için kullanılan en önemli özelliklerdir (Cornelissen ve ark., 2003). Kuru mevsimde bitkiye hala bağlı olan ince ölü bitki materyalinin (dallar, yapraklar, çiçek, ağaç kabuğu) nispi miktarı kritik öneme sahiptir. Çünkü yatık yatağı çok düşük su içeriğine sahip olma eğilimindedir ve bu durum bitkinin tutuşabilirliğini artırır (Cornelissen ve ark., 2003). (1) yaprak, (2) (< 6 mm, 6-25 mm, > 25 mm ölü materyal (3) < 6 mm, > 6 mm canlı materyal) yaygın olarak kullanılan yanıcı madde sınıflarıdır (Bilgili ve Kucuk, 2009; Tavşanoğlu ve Pausas, 2018). Tezin bilimsel yöntemleri arasında da yer alan bu sınıflandırma, farklı yüzey alanı / hacmi ile yanabilirlik arasında değişen ilişkiyi ortaya koymak adına önemli bir ölçüm yöntemidir. Bu yanıcı madde sınıfları sayesinde elde edilen canlı ve ölü ince yanıcı maddelerin toplam oranı, toplam yüzey alanı / hacim oranının en iyi korelasyonu sağlayan parametrelerdir (Pérez-Harguindeguy ve ark., 2013). Yapısal ve kimyasal bitki özellikleri, topluluğun yanabilirliğini ve tutuşabilirliğini belirleyen bitki örtüsündeki doğal faktörler olarak kabul edilmektedir. Yanıcı madde yükü ve yanabilirlik, bitki örtüsü özellikleri arasında önemli belirleyiciler olarak dikkate alınmaya değerdir. Tüketilebilirlik (combustibility), canlı ve ölü madde oranı veya ince ve kaba madde miktarı gibi yanıcı madde yükü ve yanıcı madde özelliklerine göre belirlenir. Döküntü yüzeyinde bulunan ölü dallar yangın sıcaklıklarını ve ısı yayılımını artırabilir (Schwilk, 2003) ve ölü ince yanıcı madde, potansiyel yangın oluşumunun etkili bir göstergesidir (Bond ve Van Wilgen, 1996; De Luis ve ark., 2004). Birçok yangın riskini önleme ve yangın söndürme programı, farklı yanıcı madde özellikleri hakkındaki bilgilere dayanmaktadır (Valette ve ark., 1994; Pons ve Vayreda 1996; Viegas ve ark., 2001, Saura-Mas ve ark., 2010).

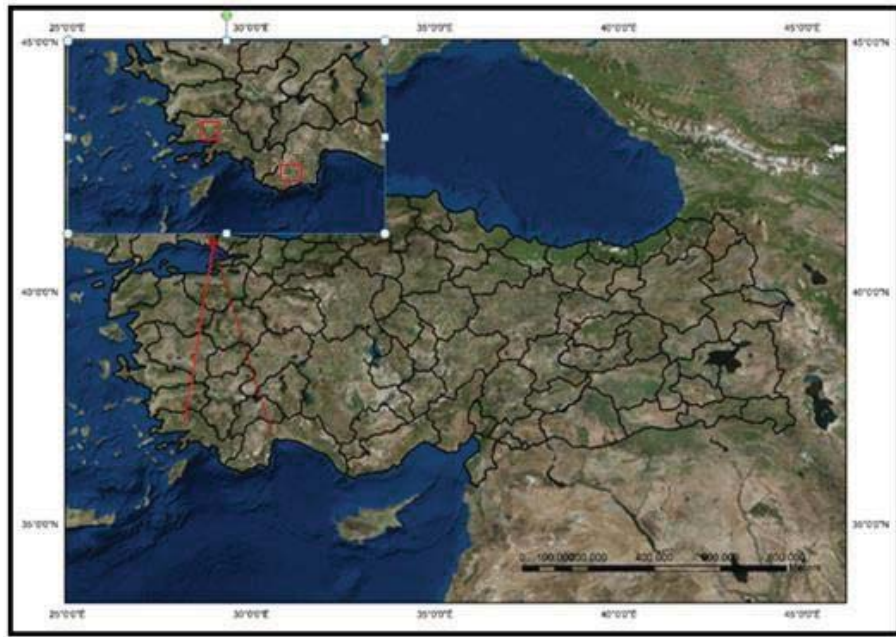
Sonuç olarak, bitki yanabilirliği çalışmalarında yer alan yaprak nemi, yaprak kalınlığı, yaprak kuru madde miktarı, özgül yaprak alanı, dallanma karakteri, yaprak kıvrıklığı, yüzey alanı / hacmi ve biyokütle ölçümleri (kaba / ince yanıcı madde, ölü ince yanıcı madde, ölü / canlı yanıcı madde parametreleri) yanabilirliği etkileyen en önemli bitki

karakterleri olarak ifade edilmektedir. Yanabilirliği etkileyen bitki fonksiyonel karakterlerinin belirlenmesi, bazı bitkilerin neden diğer bitkilere göre daha iyi yandığına dair anlayışımızı geliştirecek ve yanabilirliğin türlerin fonksiyonel karakterleri ve ekosistem üzerinde nasıl bir etkiye sahip olduğunu ortaya çıkaracaktır (Scarff, 2006). Yangın tehlikesini tahmin etmek için kullanılan modellerde bitki karakterlerinin sınırlı bir şekilde çalışılması, bitki karakterleri ve yangın davranışı arasındaki ilişkiyi ortaya çıkarmanın zorluğunu yansıtmakta ve böylece vejetasyonu oluşturan tüm bitkilerin yanabilirliğini ortaya çıkarmak için tek tek türlerin karakterlerinin nasıl etkileşime girip bir araya geldiği konusundaki anlayışı sınırlamaktadır. Tek bir bitkideki tek bir karakterin yangının meydana geldiği vejetasyonda yangın davranışını tetikleme olasılığı düşüktür, ancak birçok bitkinin özellikleri birleştiğinde veya tek bir tür baskın olduğunda, etkinin büyüklüğü daha önemli hale gelmektedir (Tumino, 2019).

2.2. Yöntem

2.2.1. Tür Seçimi ve Örneklem

Bu tezin arazi çalışmaları, Türkiye'nin en sık orman yangını görülen iki ili olan Muğla ve Antalya sınırları içerisinde yer alan Kızılçam (*Pinus brutia*) ormanlarında yürütülmüştür. Bu iki ilin yer aldığı güneybatı Anadolu yöresinde birbirine en az 200 km uzaklıkta iki “çalışma bölgesi” seçilmiştir.

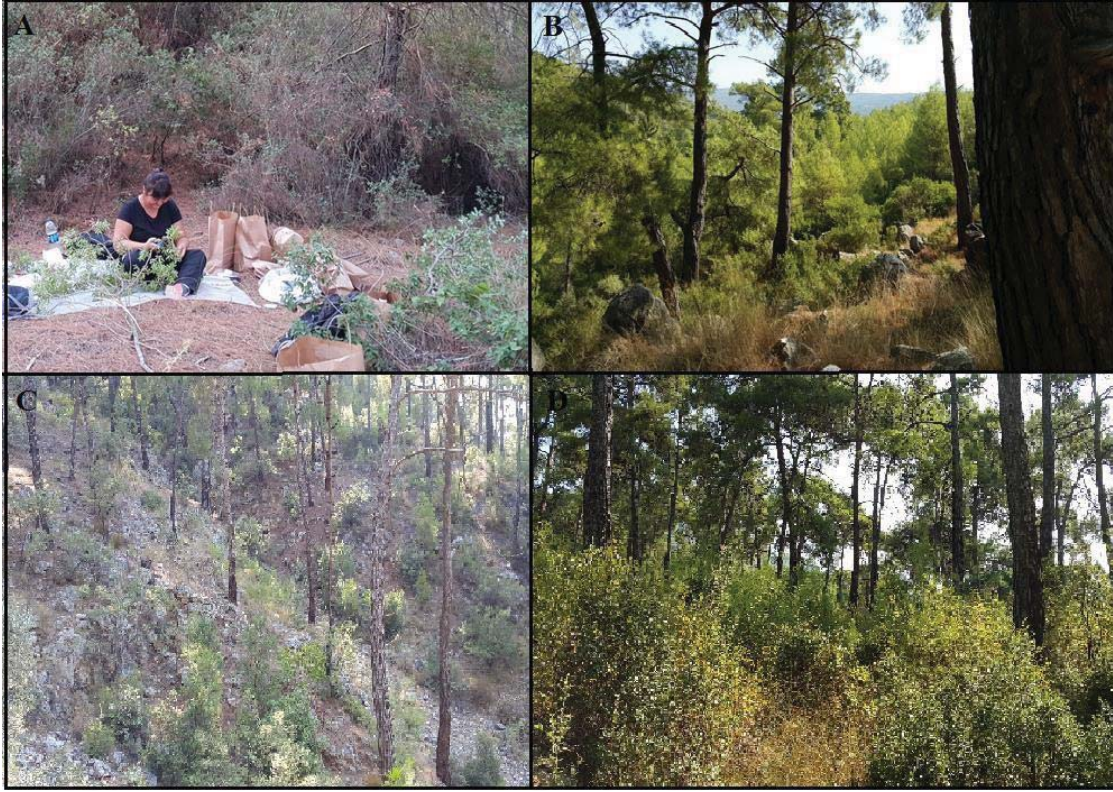


Şekil 2.1. Muğla-Milas ve Antalya-Kaş bölgelerini içeren çalışma alanının haritada gösterimi

Tablo 2.1. Çalışmada kullanılan bitki taksonları. BF, büyüme formunu; Kod, çizelge ve şekillerde kullanılan taksonların kısaltmalarını göstermektedir. “Takson”, Türkiye Bitkileri Veri Servisinden (Davis PH (1965-1985); “BF”, büyüme formu BROT veri tabanından (Tavşanoğlu ve Pausas, 2018) alınmıştır.

Takson	Familiya	Kod	Türkçe ismi	BF
<i>Arbutus andrachne</i> L.	Ericaceae	aan	sandal	büyük çalı
<i>Arbutus unedo</i> L.	Ericaceae	aun	kocayemiş	büyük çalı
<i>Asparagus aphyllus</i> L.	Asparagaceae	aap	izmiye	sarılcı
<i>Astragalus</i> sp.	Fabaceae	ast	geven	yarı çalı
<i>Cistus creticus</i> L.	Cistaceae	ccr	tüylü laden	çalı
<i>Cistus salviifolius</i> L.	Cistaceae	csa	adaçayı ypr.laden	çalı
<i>Crataegus monogyna</i> Jacq.	Rosaceae	cmo	yemişen	büyük çalı
<i>Daphne gnidioides</i> Jaub. & Spach	Tymelaeaceae	dgn	serçe dili	çalı
<i>Euphorbia characias</i> L.	Euphorbiaceae	ech	azman sütleğen	yarı çalı
<i>Genista acanthoclada</i> DC.	Fabaceae	gac	çoban yastığı	çalı
<i>Hypericum empetrifolium</i> Willd.	Hypericaceae	hem	kantaron	yarı çalı
<i>Juniperus oxycedrus</i> L.	Cupressaceae	jox	katran ardıcı	büyük çalı
<i>Laurus nobilis</i> L.	Lauraceae	lno	defne	büyük çalı
<i>Myrtus communis</i> L.	Myrtaceae	mco	mersin	büyük çalı
<i>Olea europaea</i> L.	Oleaceae	oeu	zeytin	ağaç
<i>Origanum onites</i> L.	Lamiaceae	oon	bilyalı kekik	yarı çalı
<i>Phlomis grandiflora</i> H.S.Thompson.	Lamiaceae	pgr	bahar gülü	çalı
<i>Phlomis lycia</i> D. Don	Lamiaceae	ply	sarı şalba	çalı
<i>Phillyrea latifolia</i> L.	Oleaceae	pla	akça kesme	büyük çalı
<i>Pistacia lentiscus</i> L.	Anacardiaceae	ple	sakız ağacı	büyük çalı
<i>Pistacia terebinthus</i> L.	Anacardiaceae	pte	menengiç	büyük çalı
<i>Quercus cerris</i> L.	Fagaceae	qce	saçlı meşe	ağaç
<i>Quercus coccifera</i> L.	Fagaceae	qco	kermes meşesi	büyük çalı
<i>Spartium junceum</i> L.	Fabaceae	sju	katırtırnağı	büyük çalı
<i>Styrax officinalis</i> L.	Styracaceae	sof	ayı findığı	büyük çalı
<i>Teucrium divaricatum</i> Sieber ex Heldr.	Lamiaceae	tdi	mürcü otu	yarı çalı

Her bir çalışma bölgesi içerisinde yangınların daha nadir gerçekleştiği yüksek rakıma (> 900 m) sahip ve yangınların daha sık gerçekleştiği alçak rakıma (< 300 m) sahip olmak üzere ikişer Kızılçam ormanı “çalışma alanı” olarak belirlenmiştir. Her bir çalışma alanı içerisinde birbirine en az 1 km uzaklıkta yer alan ve 1 ha büyüklüğünde üçer “çalışma parseli” seçilmiştir. Dolayısıyla tüm çalışma için toplam 24 çalışma parseli örnekleme yapılmak üzere belirlenmiştir. Çalışma alanları ve çalışma parsellerinin seçilmesi için, alanların olgun Kızılçam ormanı olması, jeolojik ana kaya materyalinin kireçtaşı olması ve uzun yıllar boyunca doğal ya da insan kaynaklı bir müdahaleye uğramamış olması ölçüt olarak belirlenmiştir.



Şekil 2.2. Çalışmanın gerçekleştirildiği dört farklı alana ait görseller. (A) ve (B) Milas, (C) ve (D) Kaş bölgelerinin sahip olduğu alanları göstermektedir (Fotoğraflar: Çağatay Tavşanoğlu, Nursema Aktepe).

Kızılçam (*Pinus brutia*) ormanlarının orman altı vejetasyonunu oluşturan uzun boylu çalı ve kısa boylu çalı gruplarından en baskın durumda olan 5'er türe ait 3'er birey üzerinde tüm ölçüm ve sayımlar gerçekleştirilmiştir (Tablo 2.3). Arazide yapılan çalışmalar sırasında baskın olma durumlarına göre türler değişme göstermiş ancak yerel flora göz önünde bulundurularak *Quercus coccifera* (kermes meşesi), *Cistus salviifolius* (adaçayı yapraklı laden), *Cistus creticus* (tüylü laden), *Pistacia lentiscus* (sakız ağacı), *Pistacia*

terebinthus (menengiç), *Phillyrea latifolia* (akçakesme) ve *Arbutus unedo* (sandal) türleri hedef türler olarak seçilmiştir. Bu türler, Türkiye'nin Akdeniz ekosistemlerinde yer alan farklı vejetasyon tiplerinin (çam ormanı, makilik ve frigana) temel bileşenidir.



Şekil 2.3. Çalışmada kullanılan bitki türlerine ait görseller. (a) *Phlomis grandiflora*, (b) *Myrtus communis*, (c) *Cistus salviifolius*, (d) *Pistacia lentiscus*, (e) *Styrax officinalis*, (f) *Daphne gnidioides* (g) *Crataegus monogyna*, (h) *Asparagus aphyllus*, (i) *Quercus coccifera*, (j) *Euphorbia characias* (Fotoğraflar: Çağatay Tavşanoğlu, Nursema Aktepe).

2.2.2. Yanabilirlik Karakterler Ölçümleri

Bitkilerin yanabilirliğini etkileyen parametreler bağlamında; yaprak kıvrıklığı (LC), yaprak nem oranı (LMC), özgül yaprak alanı (SLA), yaprak kuru madde miktarı (LDMC), dallanma yapısı, yaprak kalınlığı (Lt), yaprak yüzey alanı-hacim oranı (SA/V) ve toprak üstü biyokütle bu tez kapsamında incelenen yanabilirlik karakterleridir. Bu karakterler, bitkilerin yanabilirliğini tahmin etmeye yönelik olarak yangın ekolojisi yazınında incelenen en önemli karakterler arasında yer almaktadır (Pérez-Harguindeguy ve ark., 2013).

Tez kapsamında Muğla-Milas ve Antalya-Kaş bölgelerinde yangının sık gerçekleştiği Ağustos ve Eylül 2017 tarihlerinde gerçekleştirilen arazi çalışmaları her bir bölge için 10 gün, toplamda ise 20 gün sürmüştür. Kızılçam ormanlarında vejetasyonun alt tabakasında yer alan uzun boylu çalı ve kısa boylu çalı gruplarından alanda en hâkim durumda olan beşer türden üçer birey üzerinde ölçüm ve sayımlar gerçekleştirilmiştir (Tablo 2.1).

Örnekleme için seçilen her bir çalı bireyinden toplam 10 adet olgun, gelişimini tamamlamış ve böcek zararına uğramamış yaprak örneği alınmış ve daha sonra yaprak boyutu ölçümlerinin yapılması amacıyla hava geçiren çay poşetlerine yerleştirilmiştir (Şekil 2.4). Nem kaybının önlenmesi için örnek yerleştirilen çay poşetleri içerisi hava ile doldurulmuş plastik poşetlere konularak, seyyar buzdolabında 24 saat içerisinde tartımları yapılabilecek kadar muhafaza edilmiştir.



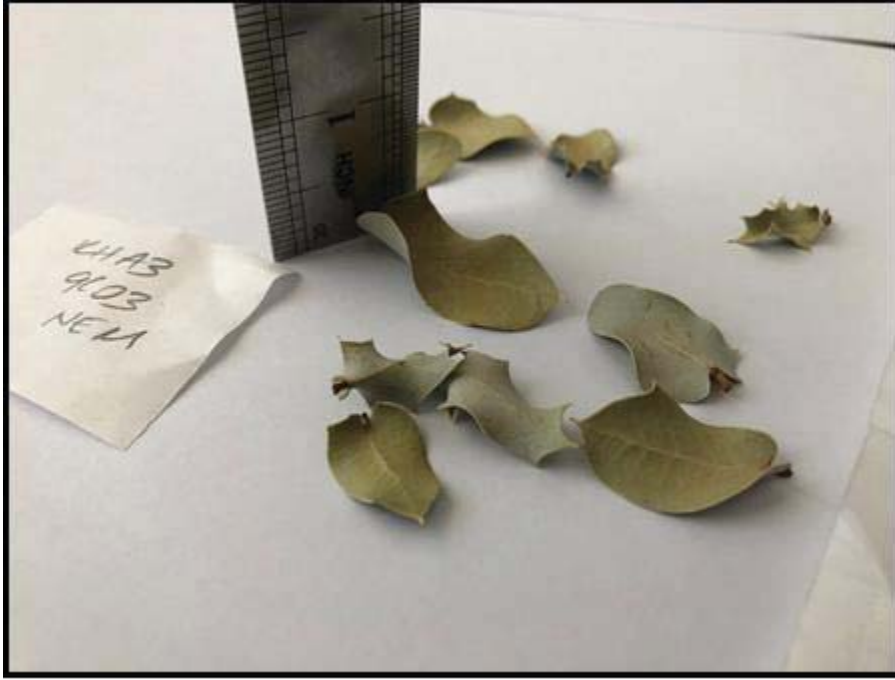
Şekil 2.4. Özgül yaprak alanı ve yaprak boyutu hesaplaması için kullanılan örnekler
(Fotoğraf: Nursema Aktepe)

Tablo 2.2. Çalışmada kullanılan yanabilirlik karakterleri, birimleri, tanımları, ölçme / tahmin yöntemleri ve ilgili referanslar.

Karakter	Ölçü Birimi	Karakter Tanımı	Ölçüm	Kaynaklar
Özgül Yaprak Alanı (SLA)	mm ² mg ⁻¹	Yaprığın bir yüzünün alanının fırın-kuru kütlelerine oranı	SLA = Yaprak alanı / Yaprak kuru ağırlığı	Perez-Harguindeguy ve ark., 2013
Yaprak Kuru Madde Miktarı (LDMC)	mg g ⁻¹	Yaprak kuru ağırlığının suya doyurulmuş yaprak ağırlığına oranı	LDMC = Yaprak kuru ağırlığı / suya doyurulmuş Yaprak ağırlığı	Perez-Harguindeguy ve ark., 2013; Kattge ve ark., 2020
Yaprak Nem İçeriği (LMC)	%	Yaprak yaş ağırlığı ve yaprak kuru ağırlığının farkının yaprak kuru ağırlığına oranı	LMC= ((taze ağırlık-kuru ağırlık)/kuru ağırlık)*100	Chuvieco ve ark., 2004; Grootemaat ve ark., 2015
Yaprak Kalınlığı (Lt)	mm	Tek bir yaprağın kalınlığı	Digimatic Mikrometre	Engber ve Varner, 2012; Perez-Harguindeguy ve ark., 2013; Grootemaat ve ark., 2017; Kattge ve ark., 2020
Yaprak Kıvrıklığı (LC)	mm	Düz bir zemine yerleştirilmiş olan yaprağın, zeminden yukarıya doğru en yüksekteki kıvrılma noktasına kadar olan uzaklığı	Millimetrik cetvel	Engber ve Varner, 2012; Parsons ve ark., 2015; Grootemaat ve ark., 2017
Dallanma Mimarisi (BR)	cm	Birim dal uzunluğu başına düşen yan dal sayısı	BR = Yan dal uzunluğu / yan dal sayısı	Perez-Harguindeguy ve ark., 2013
Ölü Canlı Yanıcı Madde Oranı (DLF)	g	Ölü yanıcı maddenin canlı yanıcı maddeye oranı	DLF = (Ölü ince yanıcı madde miktarı + ölü kaba yanıcı madde miktarı) / (canlı ince yanıcı madde miktarı + canlı kaba yanıcı madde miktarı)	Cornelissen ve ark., 2003; Saura-Mas ve ark., 2010
Kaba İnce Yanıcı Madde Oranı (CFF)	g	Canlı ve ölü yanıcı madde dâhil olmak üzere kaba yanıcı madde (≥ 6 mm çap) ince yanıcı maddeye (<6 mm çap) oranı	CFF = (canlı kaba yanıcı madde miktarı + ölü kaba yanıcı madde miktarı/ (canlı ince yanıcı madde miktarı + ölü ince yanıcı madde miktarı)	Cornelissen ve ark., 2003; Saura-Mas ve ark., 2010; Tavşanoğlu ve Pausas, 2018
Ölü İnce Yanıcı Madde Miktarı (DFF)	%	Kuru mevsimde bitkide bulunan ince (<6 mm çap) ölü yanıcı maddenin, toplam toprak üstü biyokütleyle oranı	DFF = (ölü ince yanıcı madde miktarı/ Toplam biyokütle)*100	Cornelissen ve ark., 2003; Saura-Mas ve ark., 2010; Tavşanoğlu ve Pausas, 2018

Örnekleme esnasında, her bireyden alınan 30 g yaprak örneği daha sonra yapılacak olan yanma deneylerinde kullanılmak üzere kese kâğıtlarına yerleştirilerek içinde silika jel bulunan naylon poşetlerde güneş görmeyen bir ortamda muhafaza edilmiştir (Şekil 2.4).

Örnek alınan her bir yaprağın ağırlık ölçümleri ve taraması yapılmadan önce **yaprak kıvrıklığı** ölçümü gerçekleştirilmiştir. Böylece yaprakta oluşacak herhangi bir deformasyonun önüne geçilmesi amaçlanmıştır. Yaprak kıvrıklığı; düz bir zemine yerleştirilmiş olan yaprağın, zeminden yukarıya doğru en yüksekteki kıvrılma noktasına kadar olan uzaklığın milimetrik cetvelle ölçülmesi sonucu elde edilmiştir (Şekil 2.5) ve birincil hesaplamalar gerçekleştirilerek veri tablolarına kaydedilmiştir (Engber ve ark., 2012; Parsons ve ark., 2015, Grootemaat ve ark., 2017). Bu ölçümler sonucunda, her bir birey için alınan 10 adet yaprağın kıvrıklığı ölçülerek ortalamaları alınmış ve her bir türün kıvrıklık indeksleri elde edilmiştir.

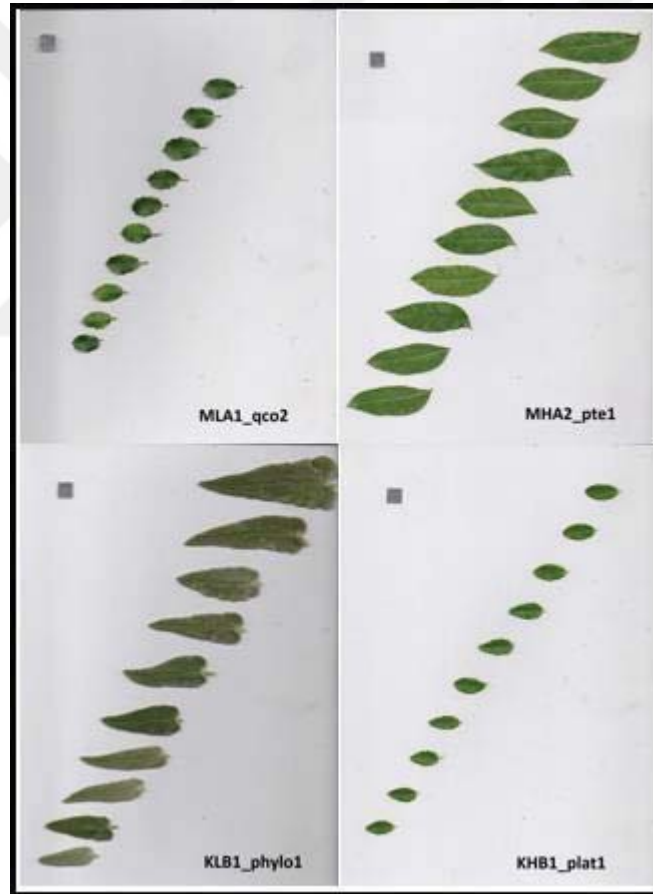


Şekil 2.5. Yaprak kıvrıklığı ölçümü (Fotoğraf: Nursema Aktepe)

Yaprak nem içeriği hesaplaması için her bireye ait yapraklar araziden toplandıktan sonra tartılarak ayrı bir kilitli plastik poşet içerisine konulmuş ve laboratuvara getirilmiştir. Arazide yaş olarak tartımı yapılan miktar ölçü karnesine kaydedilmiştir. Daha sonra bu tartımı yapılan örnekler kurutma fırınında 70 °C’de 72 saat kurutulmuş ve tekrar tartılmıştır (Şekil 2.7). Yaş ve kuru olarak tartılan yaprakların içerisinde bulundurduğu nem miktarı hesaplanmıştır (Denklem 2.1). Bu hesaplama aşağıda belirtilen formül ile yapılmıştır (Chuvieco ve ark., 2004; De Lillis ve ark., 2009).

Yaprak Nem İçeriği=(Yaş ağırlık-Kuru ağırlık/Kuru ağırlık) x100 Denklem 2.1

Özgül yaprak alanı (SLA) ve yaprak kuru madde miktarı standart ölçümler (Pérez-Harguindeguy ve ark., 2013) kullanılarak hesaplanmıştır. Özgül yaprak alanı, taze yaprağın bir yüzünün alanının fırın-kuru kütlesine bölünmesiyle elde edilmektedir (Tablo 2.2). Arazide toplanan yapraklar dallarıyla beraber nemli kâğıda sarılarak ağzı kapalı ve hava verilerek şişirilmiş plastik torbalar içine konulmuş ve 24 saat içinde taze ağırlıkları hesaplanmıştır. Taze ağırlıkları ölçülen her bir örnek tekrardan kuru kâğıt poşetler içerisine konulmuş ve 70 °C’de 72 saat kuru sıcaklık fırınında tutularak kuru ağırlıkları tespit edilmiştir (Papio ve Trabaud 1990,1991). **Yaprak boyutunun** hesaplanması için her arazi gününün sonunda, her bireyden 10 adet yaprak tarayıcı kullanarak taranmış ve görüntüleri elektronik ortama aktarılmıştır (Şekil 2.6).



Şekil 2.6. Yaprak boyutu tayini için taranan farklı türlere ait yaprak örnekleri.

Özgöl Yaprak Alanı =Yaprak alanı (mm²)/Yaprak kuru ağırlığı (mg)

Denklem 2.2

Tarayıcı kullanılarak elektronik ortama aktarılan yaprak görüntüleri, “*ImageJ*” adlı görüntü işleme programı kullanılarak yaprak yüzey alanı hesaplanmıştır (Rasband, 2012). Suyu doyurulmuş yaprak ağırlıklarını hesaplamak için, bireylerden alınan yapraklar, 4 °C'de 24 saat boyunca saf su ile doldurulmuş kaplarda tutularak ağırlıkları ölçülmüştür. Böylece önceden elde edilen yaprak kuru ağırlıklarının suya doyurulmuş yaprak ağırlığına bölünmesiyle yaprak kuru madde miktarı hesaplanmıştır (Tablo 2.2, Şekil 2.7).



Şekil 2.7.Yaprak kuru madde miktarı ölçümü

Dallanma karakterlerinin yanabilirlik ile olan ilişkisi; örneklenen türlerdeki hâkim dallar üzerinde yer alan yan dal sayısı ve hâkim dalın uzunluğunun ölçülmesi ile hesaplanmış olan “birim dal uzunluğu başına düşen yan dal sayısı” parametresi hesap edilerek incelenmiştir (Pérez-Harguindeguy ve ark., 2013) (Tablo 2.2). Bu verilerin elde edilmesi için arazide her bir bireyden toplam iki ana dal şerit metre ile ölçülerek uzunlukları ölçülmüş ve dal üzerinde bulunan yan dal sayısı belirlenerek kaydedilmiştir. Örnekler arasındaki biyokütle farklılıklarını hesaba katmak ve böylece tekrarlar arasında standartlaştırılmış ve tutarlı olan yanabilirlik deneyleri ile bitki karakter ölçümleri arasında karşılaştırmalar yapmak için sahadan benzer büyüklükteki bireyler seçilmeye çalışılmıştır. Yapılan analizler sonucunda, yaprak kalınlığı ve yüzey alanı-hacim oranı (SA/V) yanabilirlik parametresi arasında kuvvetli bir ilişki olduğu tespit edilmiş ve bu iki parametreden yalnızca yaprak kalınlığı değerlendirilmeye alınmıştır. (Engber ve Varner 2012; Grootemaat ve ark., 2017). **Yaprak kalınlığı** parametresi, dijital mikrometre kullanılarak standart protokoller uygulanarak ölçülmüş (Pérez-Harguindeguy ve ark., 2013) (Tablo 2.2) ve hesaplamalar yapılarak veri dosyasına kaydedilmiştir (Şekil 2.8).

Tablo 2.3. Araştırmaya dâhil edilen her bir takson için örneklenen birey sayısı ve taksonların bulunduğu örnekleme alanı sayısı. Her bir taksondan alınan toplam yaprak, dal ve duran yanıcı madde örnekleri de verilmektedir.

Takson	Örnek sayısı				
	Birey	Alan	Yaprak	Dal	Bitki Üzerindeki Yanıcı Madde
<i>Arbutus andrachne</i>	6	2	60	12	6
<i>Arbutus unedo</i>	3	1	30	6	3
<i>Asparagus aphyllus</i>	3	1	30	6	3
<i>Astragalus</i> sp.	9	3	90	18	9
<i>Cistus creticus</i>	18	6	180	36	18
<i>Cistus salviifolius</i>	18	6	180	36	18
<i>Crataegus monogyna</i>	3	1	30	6	3
<i>Daphne gnidioides</i>	18	6	180	36	18
<i>Euphorbia characias</i>	21	7	210	42	21
<i>Genista acanthoclada</i>	12	4	120	24	12
<i>Hypericum empetrifolium</i>	3	1	30	6	3
<i>Juniperus oxycedrus</i>	27	8	270	54	27
<i>Laurus nobilis</i>	3	1	20	6	3
<i>Myrtus communis</i>	6	2	60	12	6
<i>Olea europaea</i>	3	1	30	6	3
<i>Origanum onites</i>	3	1	30	6	3
<i>Phlomis grandiflora</i>	3	1	30	6	3
<i>Phlomis lycia</i>	12	4	120	24	12
<i>Phillyrea latifolia</i>	33	11	330	66	33
<i>Pistacia lentiscus</i>	27	9	270	54	27
<i>Pistacia terebinthus</i>	27	9	270	54	27
<i>Quercus cerris</i>	3	1	30	6	3
<i>Quercus coccifera</i>	69	23	690	138	69
<i>Spartium junceum</i>	3	1	30	6	3
<i>Styrax officinalis</i>	15	5	150	30	15
<i>Teucrium divaricatum</i>	3	1	30	6	3



Şekil 2.8. Yaprak kalınlığı ölçümü.



Şekil 2.9. Topraküstü biyokütle ölçümleri için ayıklanan örneklerden bazıları

Topraküstü biyokütle ölçümlerinden elde edilen kaba / ince yanıcı madde (g), ölü ince yanıcı madde (%), ölü / canlı yanıcı madde (g) parametreleri; canlı kaba yanıcı madde, ölü kaba yanıcı madde, canlı ince yanıcı madde, ölü ince yanıcı madde, toplam biyokütle yanıcı madde sınıf verileri kullanılarak her türdeki bireyler için ayrı ayrı hesaplanmıştır (Tavşanoğlu ve Pausas 2018) (Tablo 2.2).



Şekil 2.10. Topraküstü biyokütle ölçümleri için tartılıp etüvlenen örneklerden bazıları

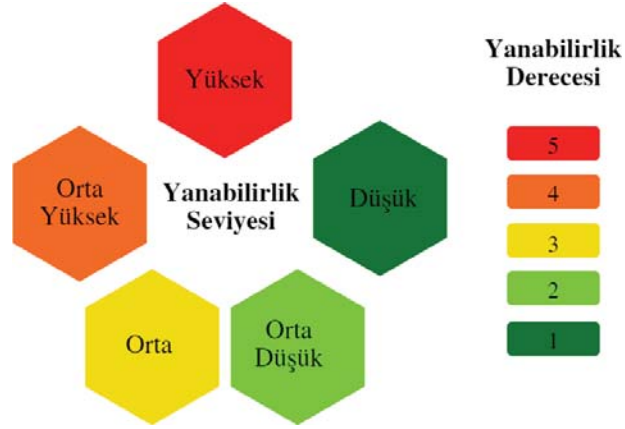
2.2.3. İstatistiksel Analizler

Çalışmada incelenen türlerin; özgül yaprak alanı (SLA), yaprak kuru madde miktarı (LDMC), yaprak kalınlığı (Lt), yüzey alanı-hacim oranı (SA/V), yaprak nem oranı (FMC), yaprak kıvrıklığı, dallanma yapısı, toprak üstü biyokütle karakterleri bitkilerin yanabilirlik miktarlarının bir göstergesi olarak ele alınmıştır. Tüm bu ölçüm ve sayımlar sonucunda elde edilen değerler, türler arasında yanabilirlik değerlerinin değişip değişmediği konusundaki hipotezin sınanmasında kullanılmıştır. Sayısal veri içeren yanabilirlik karakterlerin Kızılcım (*Pinus brutia*) ormanlarının orman altı florasını oluşturan baskın maki türlerindeki değişkenliği, tanımlayıcı istatistikler (minimum, medyan, ortalama, maksimum) aracılığıyla ortaya konulmuş ve dağılımın şekli; kutu grafikler ve histogramlar kullanılarak incelenmiştir.

Analizi gerçekleştirilen tüm yanabilirlik karakterlerinin hatalı ve eksik veri girişlerinin saptanabilmesi için n kontroller gerçekleştirilmiştir. Tüm karakterler için yapılan istatistiksel hesaplamalar “R” istatistik programında gerçekleştirilmiştir (R Core Team, 2020).

Ölçümler ve sayımlar sonucunda elde edilen değerler, farklı türlerde bireylerin yanabilirlik değerlerinin değişip değişmediğine ilişkin hipotezi test etmek için kullanılmıştır. Verilerin analizi için varyans analizi (ANOVA) ve Tukey oklu karşılaştırma testi kullanılmıştır. ANOVA ve regresyon analizlerinde, analiz yapılmadan önce verilerin normal dağılıma uygun olup olmadıkları Shapiro-Wilk testi ve histogram grafikleri ile test edilmiştir. Buna göre verilerin çoğunun normal dağıldığı tespit edilmiş, ancak verileri normal dağılıma yaklaştırmak için logaritmaları (log10) alınarak tüm karakter verileri için standart oluşturularak analizleri gerçekleştirilmiştir. Tek faktörlü varyans (ANOVA) analizi farklı yanabilirlik karakterlerine bağlı olarak türler (her yanabilirlik karakterinde tür sayısı değişmektedir) arasında farklılık olup olmadığını belirlemek amacıyla yapılmıştır.

Tek faktörlü varyans analizi sonucuna göre farklılığı yaratan grup ya da grupları belirlemek için Tukey oklu karşılaştırma testi kullanılmıştır. Türlerin yanabilirlik indeksleri Tukey testine göre tüm yanabilirlik karakterleri için beş farklı renk kategorisine ayrılarak hesaplanmıştır. (yüksek yanabilirlik: kırmızı, orta derecede yüksek yanabilirlik: turuncu, orta yanabilirlik: sarı, orta derecede düşük yanabilirlik: açık yeşil, düşük yanabilirlik: koyu yeşil). Her renk kategorisine sayısal değer verilerek türlere ait yanabilirlik indeks değerleri hesaplanmıştır (şekil 2.11) Tr düzeyinde incelenen yanabilirlik karakterleri için Pearson korelasyon testi kullanılarak aralarındaki ilişkinin derecesi ve yönü ortaya çıkarılmıştır. Verilerin analizinde ANOVA ve Tukey testleri sayesinde elde edilen türler arasındaki farklı yanabilirlik dereceleri istatistiksel açıdan daha yüksek bir güce ve güvenilirliğe sahip olması sağlanmıştır.



Şekil 2.11. Yanabilirlik seviye ve indekslerin şematik gösterimi. Beş farklı renk kategorisi farklı yanabilirlik seviyesini temsil etmektedir. Kırmızı; yüksek yanabilirliği, turuncu; orta derecede yüksek yanabilirliği, sarı; orta yanabilirliği, açık yeşil; orta derecede düşük yanabilirliği, koyu yeşil; düşük yanabilirliği temsil etmektedir. Sayısal değer verilen renk kategorileri ise sırasıyla; 5; Kırmızı, 4; turuncu, 3; sarı, 2; açık yeşil, 1; koyu yeşil renklerini temsil etmektedir.

2.3. Bulgular

Güneybatı Anadolu'nun iki bölgesinde (Milas ve Kaş) farklı yanabilirlik karakterlerinde tür sayıları değişmek suretiyle toplamda 26 Akdeniz odunsu bitki türü incelenmiştir (Tablo 2.1). Elde edilen bulgular, incelenen tüm yanabilirlik karakterlerinin türler arasında farklılık gösterdiğini ortaya koymuştur.

Tablo 2.4. İncelenen Akdeniz maki türleri arasındaki yanabilirlik karakterlerinin türler arası değişkenliğine ilişkin tanımlayıcı istatistikler. Her bir karakterin minimum ve maksimum değerinin hangi türe ait olduğu parantez içerisindeki tür kodu ile belirtilmiştir (bkz. Tablo 2.1). Türler arasındaki farklılıklar, her bir karakter için istatistiksel olarak anlamlıdır ($P < 0.0001$) (F değerleri ANOVA ile elde edilmiştir).

Karakter	Tür sayısı	Minimum	Medyan	Ortalama	Maksimum	F
LDMC	22	150.8 (ply)	576.7	557.4	934.0 (qco)	52.4
SLA	22	2.700 (qco)	6.570	7.075	22.5 (sof)	29.1
LMC	22	9.6 (pte)	100.2	115.3	298.4 (ech)	22.6
BR	26	1.080 (ast)	7.345	9.206	38.5 (ech)	39.5
LC	22	0.16 (pla)	0.52	0.60	2.72 (aan)	60.6
Lt	22	0.14 (jox)	0.27	0.31	1.02 (ply)	52.4
SA/V	22	0.978 (ply)	3.57	3.70	6.80 (jox)	52.4
DLF	26	0 (sju)	0.09	0.23	4.23 (aap)	4.60
CFF	26	0 (aap,ast,tdi)	1.67	2.02	16.0 (dgn)	34.2
DFE	26	0 (sju)	5.61	9.14	60.0 (oon)	10.1

2.3.1. Türler Göre Yanabilirlik Karakterlerinin Değerlendirilmesi

2.3.1.1. Yaprak nem içeriği

Çalışılan türlerdeki yaprak nem içeriği ve yanabilirlik arasındaki ilişkiyi ortaya çıkarabilmek adına toplamda 22 türün nem içeriği hesaplaması yapılmıştır. Yaprak nem içeriğinde değerler arttıkça, yaprak nem içeriğinin türün yanabilirliğine olan katkısı daha düşük, azaldıkça daha düşük olmaktadır. Elde edilen sonuçlara göre; *Euphorbia characias* türü ortalama % 298.4’le yüksek nem içeriğine sahip olduğu ve düşük seviyede yanabilirlik özelliği gösterdiği ortaya çıkarılmıştır. Bunun yanında; *Hypericum empetrifolium*, *Olea europaea*, *Phlomis grandiflora*, *Phillyrea latifolia*, *Quercus cerris* ve *Quercus coccifera* türlerinin ortalamalarının % 115’in altında kalması, bu türlerin yanabilirliğe yaprak nem içeriğinin pozitif katkı yaptığını göstermektedir (Tablo 2.4). Yanabilirlik seviyelerine bakıldığında, *Arbutus andrachne*, *Arbutus unedo*, *Cistus creticus*, *Cistus salviifolius*, *Laurus nobilis*, *Pistacia lentiscus*, *Pistacia terebinthus*, *Daphne gnidioides* türlerinin orta yüksek yanabilirliğe; *Crataegus monogyna*, *Juniperus oxycedrus*, *Myrtus communis*, *Phlomis lycia* türlerinin orta seviyede yanabilirliğe;

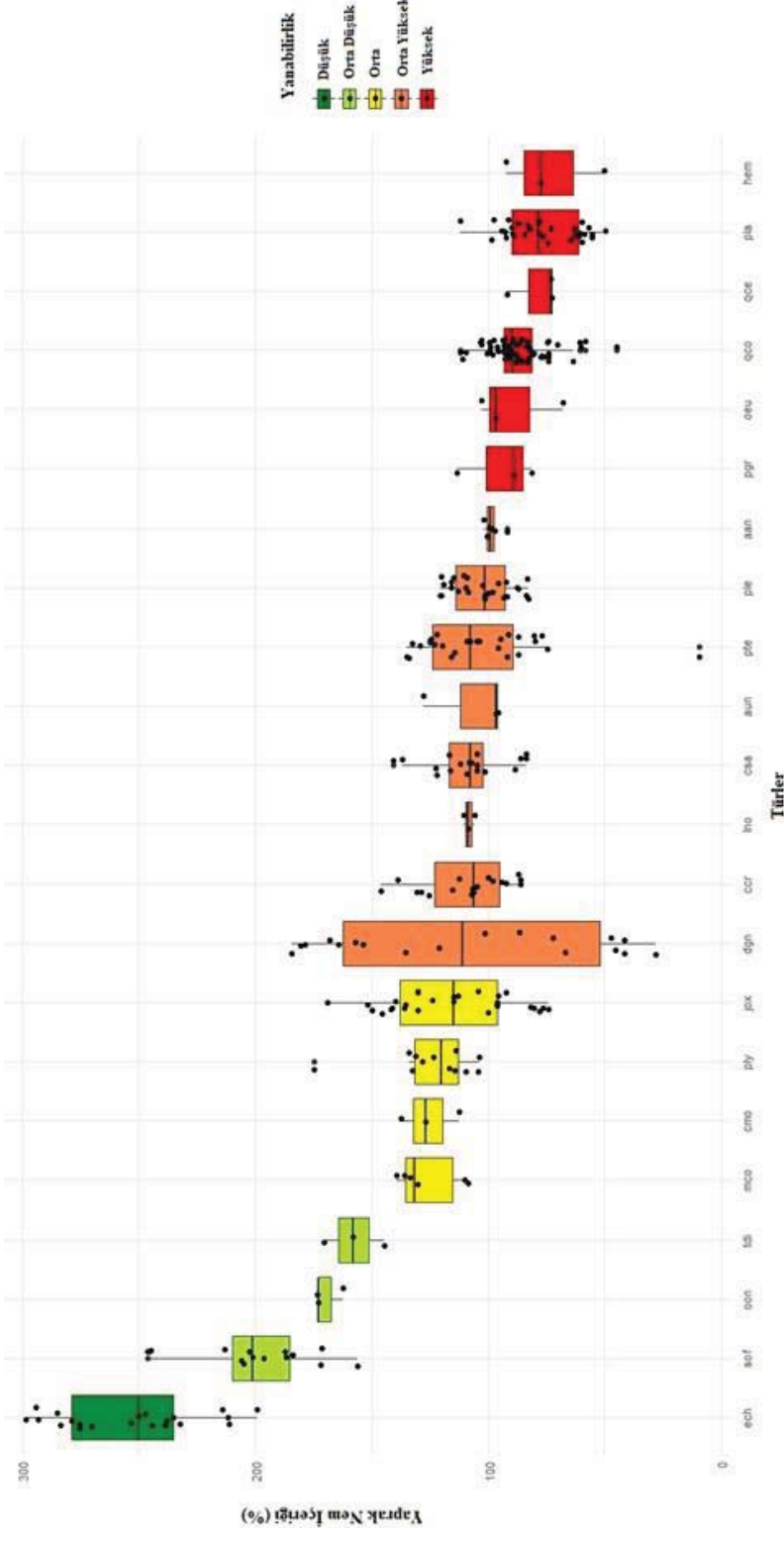
Origanum onites, *Styrax officinalis*, *Teucrium divaricatum* türlerinin ise orta düşük yanabilirliğe sahip oldukları ortaya çıkmıştır (Şekil 2.12).

2.3.1.2. Özgül yaprak alanı

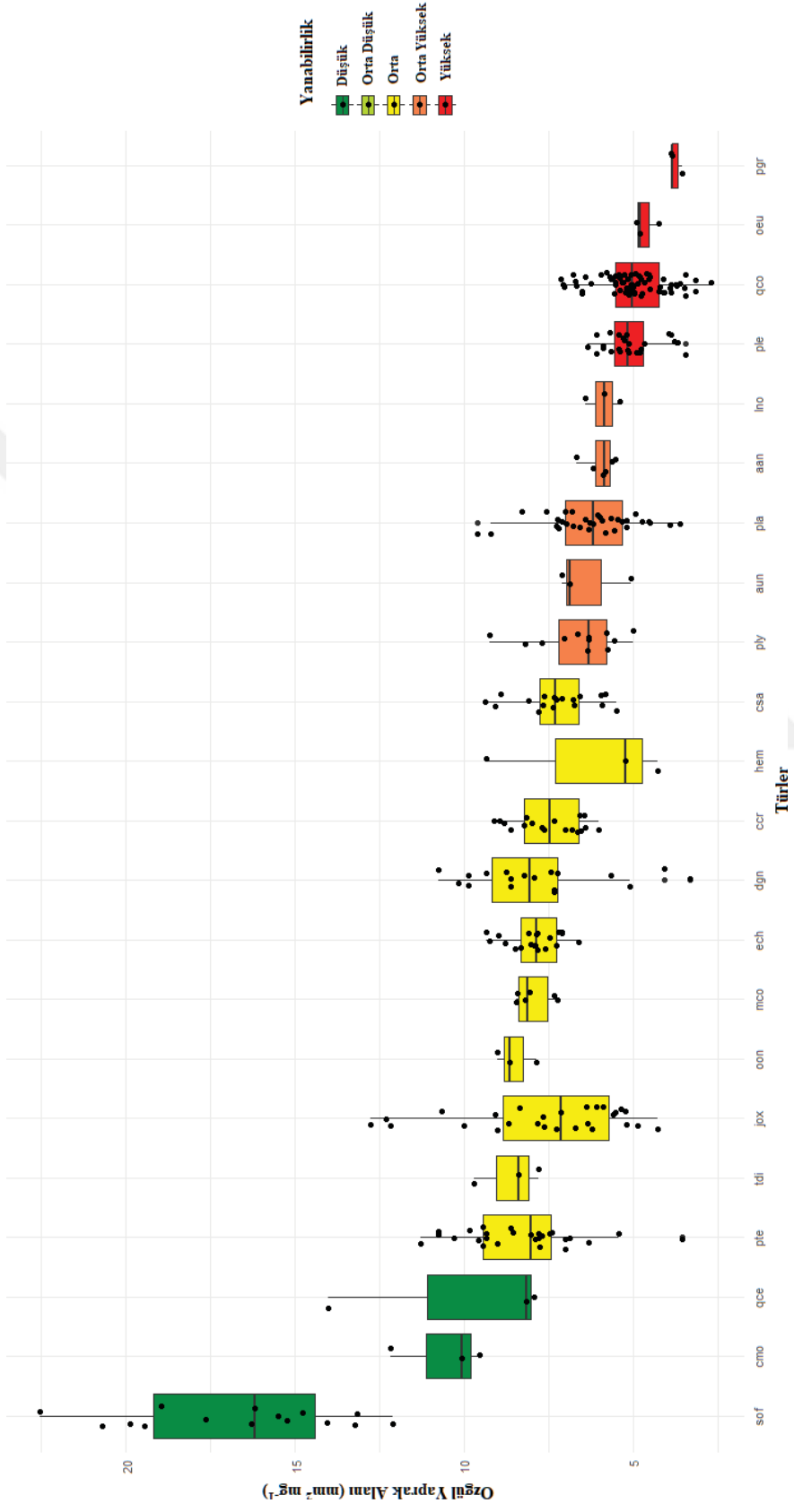
Özgül yaprak alanı ve yanabilirlik arasındaki ilişkinin ortaya çıkarılabilmesi adına toplamda 22 tür incelenmiştir. *Styrax officinalis*, *Crataegus monogyna* ve *Quercus cerris* türlerinin özgül yaprak alanları sırasıyla; 16,6 (mm²/mg), 10,5 (mm²/mg), 10,4 (mm²/mg) iken bu türlerin çalışılan türler içerisinde özgül yaprak alanı en yüksek olan tür olduğu anlaşılmıştır. *Phlomis grandiflora* (3,7 mm²/mg), *Olea europaea* (4,6 mm²/mg), *Quercus coccifera* (4,9 mm²/mg) ve *Pistacia lentiscus* (5 mm²/mg) türleri ise en düşük özgül yaprak alanına sahip türlerdir (Tablo 2.4). Bu durum, bu türlerin yanabilirliğe özgül yaprak alanının pozitif yönde etki ettiğini göstermektedir. Yanabilirlik seviyelerine baktığımızda; *Crataegus monogyna*, *Quercus cerris*, *Styrax officinalis* türlerinin düşük yanabilirliğe; *Cistus creticus*, *Cistus salviifolius*, *Euphorbia characias*, *Hypericum empetrifolium*, *Juniperus oxycedrus*, *Myrtus communis*, *Origanum onites*, *Pistacia terebinthus*, *Teucrium divaricatum*, *Daphne gnidioides* türlerinin orta yanabilirliğe; *Arbutus andrachne*, *Arbutus unedo*, *Laurus nobilis*, *Phlomis lycia*, *Phillyrea latifolia* türlerinin ise orta yüksek derecede yanabilirliğe; *Olea europaea*, *Phlomis grandiflora*, *Pistacia lentiscus*, *Quercus coccifera* türlerinin ise yüksek derecede yanabilirliğe (Tablo 2.5) sahip oldukları belirlenmiştir (Şekil 2.13).

2.3.1.3. Yaprak kuru madde miktarı

Analizi yapılan türler içerisinde yer alan toplam 22 tür için yaprak kuru madde miktarı karakteri elde edilmiştir (Tablo 2.4). *Phlomis lycia* ve *Styrax officinalis* türlerinin yaprak kuru madde içerikleri 200 mg/g'nın altında bir ortalama ile diğer türlere göre oldukça düşük olduğu tespit edilmiştir. Dolayısıyla bu türlerin en düşük yanabilirliğe sahip oldukları ortaya çıkarılmıştır. *Arbutus andrachne*, *Olea europaea*, *Phillyrea latifolia*, *Pistacia lentiscus* türlerinin ise 650 mg/g'nın üstünde bir ortalama ile yüksek yaprak kuru madde miktarına sahip oldukları gözlemlenmiştir (Tablo 2.5). Bu durum, bu türlerin yanabilirliğine yaprak kuru madde miktarının pozitif yönde etki ettiğini göstermektedir. Diğer türlerden; *Crataegus monogyna*, *Hypericum empetrifolium*, *Origanum onites*, *Quercus cerris*, *Teucrium divaricatum* türleri orta düşük yanabilirliğe; *Arbutus unedo*, *Cistus creticus*, *Cistus salviifolius*, *Juniperus oxycedrus*, *Laurus nobilis*, *Pistacia terebinthus*, *Daphne gnidioides* türleri orta derecede yanabilirliğe; *Euphorbia characias*,



Şekil 2.12. Yaprak nem içeriğinin (%) türler arası ve tür içi değişkenliği ve bunun yanabilirlik seviyeleri ile olan ilişkisi. Tür isimleri x ekseninde tür kısaltmaları olarak (bkz. Tablo 2.1) verilmiştir. Her bir türe ait kutu-çizgi grafiğinin üzerindeki her bir nokta o türe ait bir bireyi temsil etmektedir. Kutu çizgi grafiğinde yatay çizgi medyanı, kutunun üst ve alt sınırı %25 ve %75 çeyreklikleri, hata çizgisi ise %5-%95 veri aralığını göstermektedir. Her renk farklı yanabilirlik seviyesine karşılık gelmektedir (bkz. Tablo 2.5). Farklı renk sınıfları ANOVA testi ve sonrasında yapılan post-hoc Tukey testi ile belirlenmiştir (bkz. Yöntem).



Şekil 2.13. Özgül yaprak alanının (mm^2/mg) türler arası ve tür içi değişkenliği ve bunun yanabilirlik seviyeleri ile olan ilişkisi. Şekil ile ilgili ayrıntılar Şekil 2.12’deki gibidir.

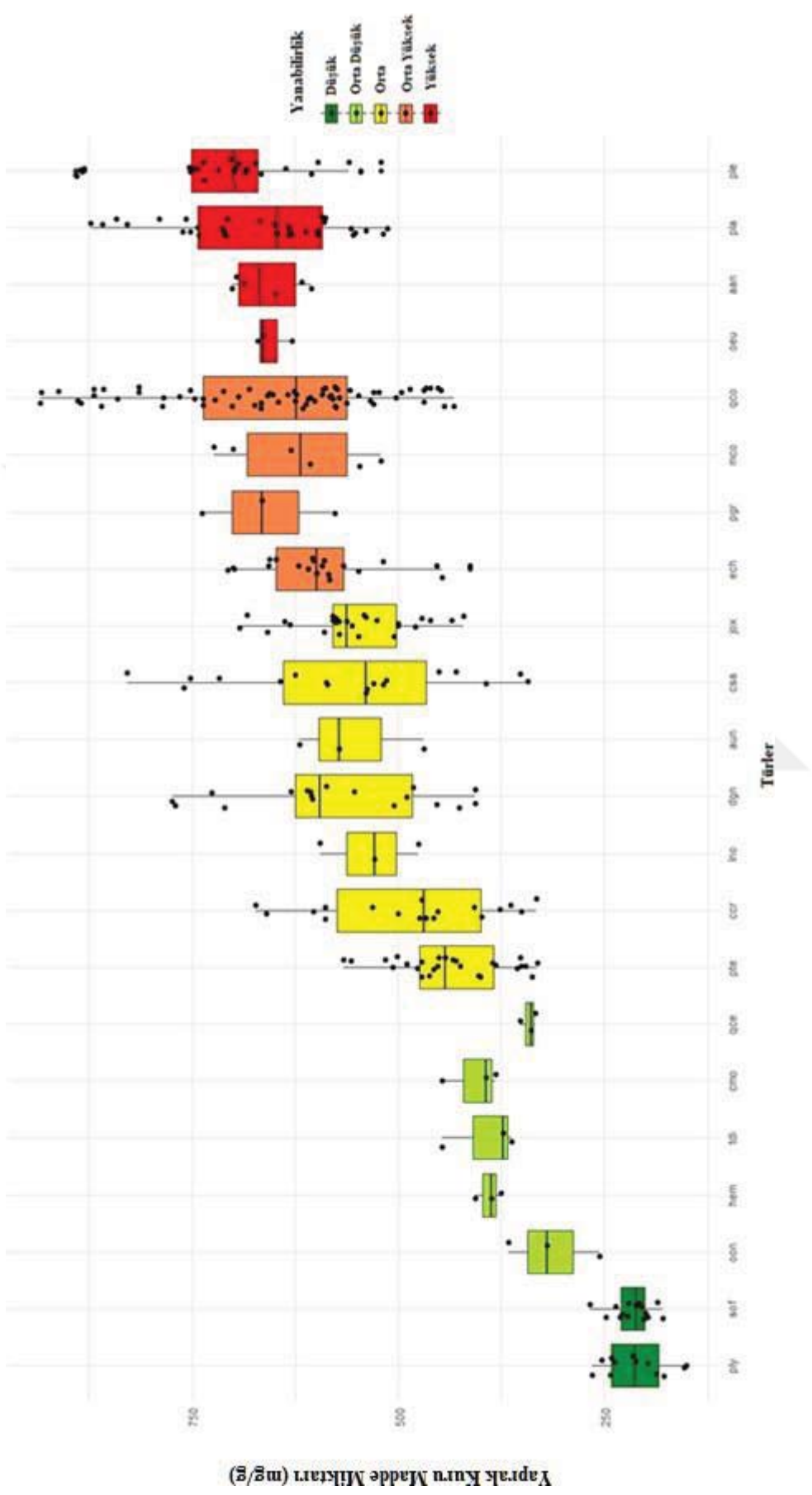
Myrtus communis, *Phlomis grandiflora*, *Quercus coccifera* türleri ise orta yüksek yanabilirliğe sahiptir (Şekil 2.14).

2.3.1.4. Yaprak kıvrıklığı

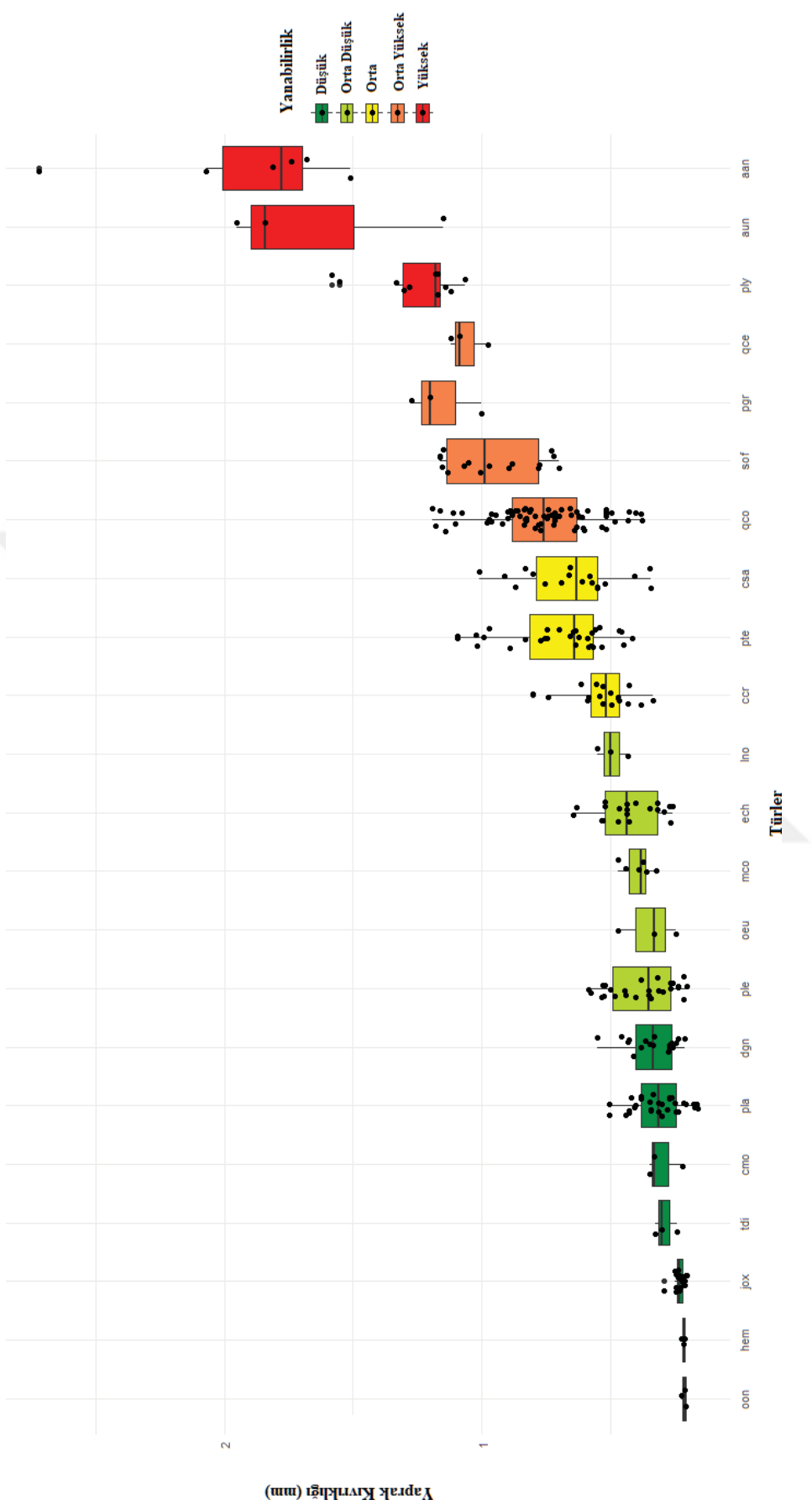
Çalışılan 22 türün yaprak kıvrıklığı değerleri değişkenlik göstermiştir (Tablo 2.4). Yaprak kıvrıklığı karakterinde değerler arttıkça, yaprak kıvrıklığının türün yanabilirliğine olan katkısı daha yüksek, azaldıkça daha düşük olmaktadır. En yüksek yaprak kıvrıklığına sahip olan türlerin (*Arbutus andrachne*, *Arbutus unedo* ve *Phlomis lycia*) ortalama yaprak kıvrıklığı değerleri 1.5 mm'nin üzerinde olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, bu türlerin yanabilirliğine yaprak kıvrıklığının pozitif yönde etki yaptığını göstermektedir. *Crataegus monogyna*, *Hypericum empetrifolium*, *Juniperus oxycedrus*, *Origanum onites*, *Phillyrea latifolia*, *Teucrium divaricatum* ve *Daphne gnidioides* türlerinin ise ortalamalarının 0,3 mm'nin altında olduğu tespit edilmiştir (Tablo 2.5). Bu durum, bu türlerin yanabilirliklerinin oldukça düşük olduğunu ortaya çıkarmaktadır. *Phlomis grandiflora*, *Quercus cerris*, *Quercus coccifera*, *Styrax officinalis* türleri yüksek yanabilirliğe; *Cistus creticus*, *Cistus salviifolius*, *Pistacia terebinthus* türleri orta yüksek yanabilirliğe; *Euphorbia characias*, *Laurus nobilis*, *Myrtus communis*, *Olea europaea*, *Pistacia lentiscus* türleri ise orta düşük yanabilirliğe sahiptir (Şekil 2.15).

2.3.1.5. Yaprak kalınlığı

Çalışmada analizi yapılan türler içerisinde yer alan 20 tür için yaprak kalınlığı karakteri elde edilmiştir. Elde edilen bulgular, türlerin yaprak kalınlığı değerleri arasında önemli farklılıklar olduğunu ortaya çıkarmıştır (Tablo 2.4). Yapılan ölçümlere göre, *Phlomis lycia* ve *Phlomis grandiflora* taksonlarının 0.7 mm'nin üzerinde bir ortalama ile en yüksek yaprak kalınlığı değerlerine sahip oldukları ortaya çıkmıştır. *Myrtus communis*, *Arbutus andrachne*, *Arbutus unedo*, *Crataegus monogyna*, *Pistacia terebinthus*, *Quercus cerris*, *Styrax officinalis* ve *Daphne gnidioides* taksonlarının ise 0.2 mm'den düşük ortalama değerleri ile en düşük yaprak kalınlığı değerlerine sahip oldukları tespit edilmiştir (Tablo 2.5). Bu durum, bu türlerin yanabilirliğine, yaprak kalınlığının pozitif yönde etki ettiğini göstermektedir. Türlerin toplam yanabilirlik indeks değerleri hesaplanırken kullanılan renk ölçeği dikkate alındığında; *Euphorbia characias*, *Phillyrea latifolia* ve *Quercus coccifera* türlerinin orta derecede yüksek yanabilirliğe sahip oldukları ortaya çıkmıştır.



Şekil 2.14. Yaprak kuru madde miktarının (mg/g) türler arası ve tür içi değişkenliği ve bunun yanabilirlik seviyeleri ile olan ilişkisi. Şekil ile ilgili ayrıntılar Şekil 2.12'deki gibidir.

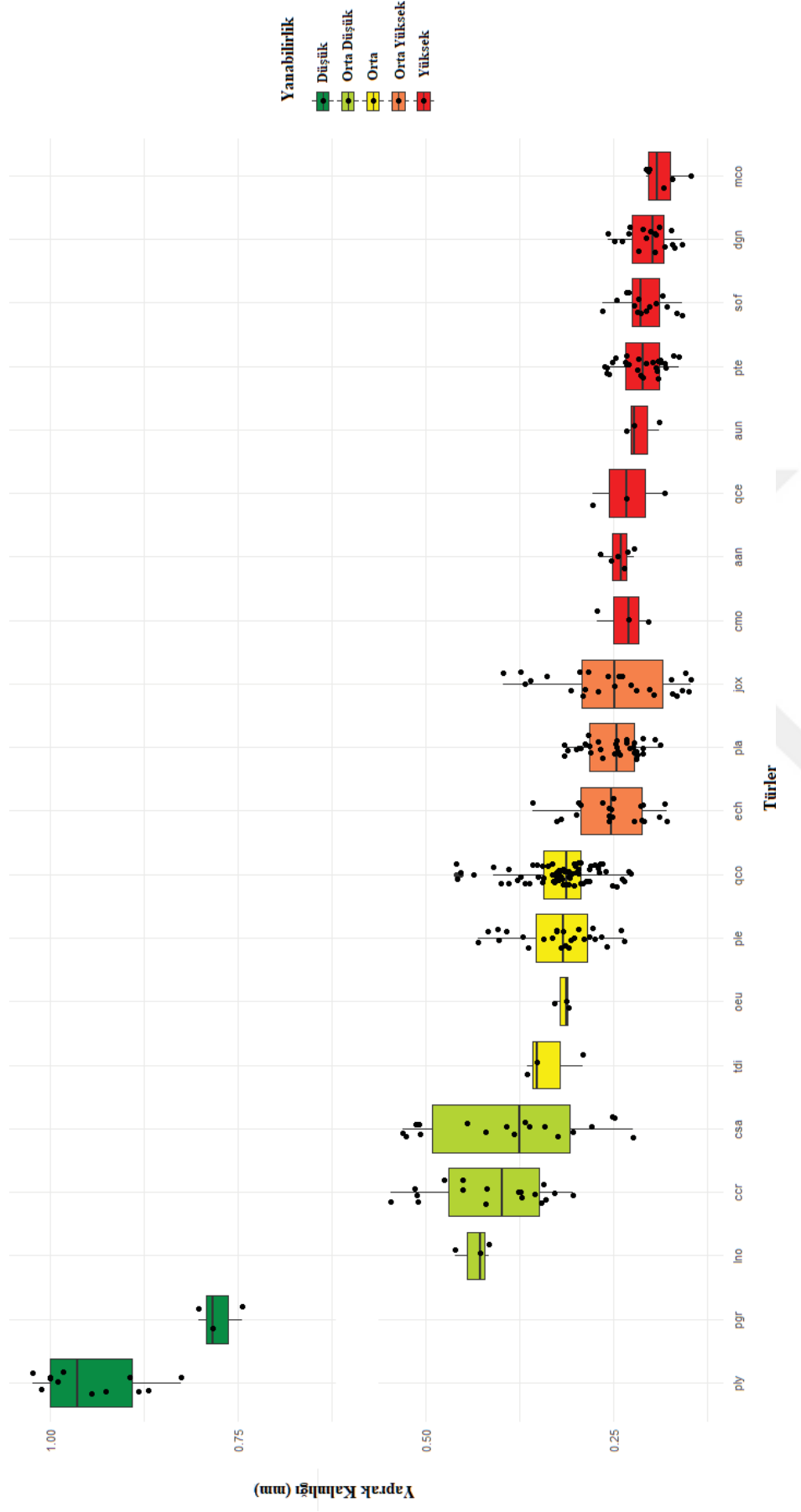


Şekil 2.15. Yaprak kıvrıklığının (mm) türler arası ve tür içi değişkenliği ve bunun yanabilirlik seviyeleri ile olan ilişkisi. Şekil ile ilgili ayrıntılar Şekil 2.12’deki gibidir.

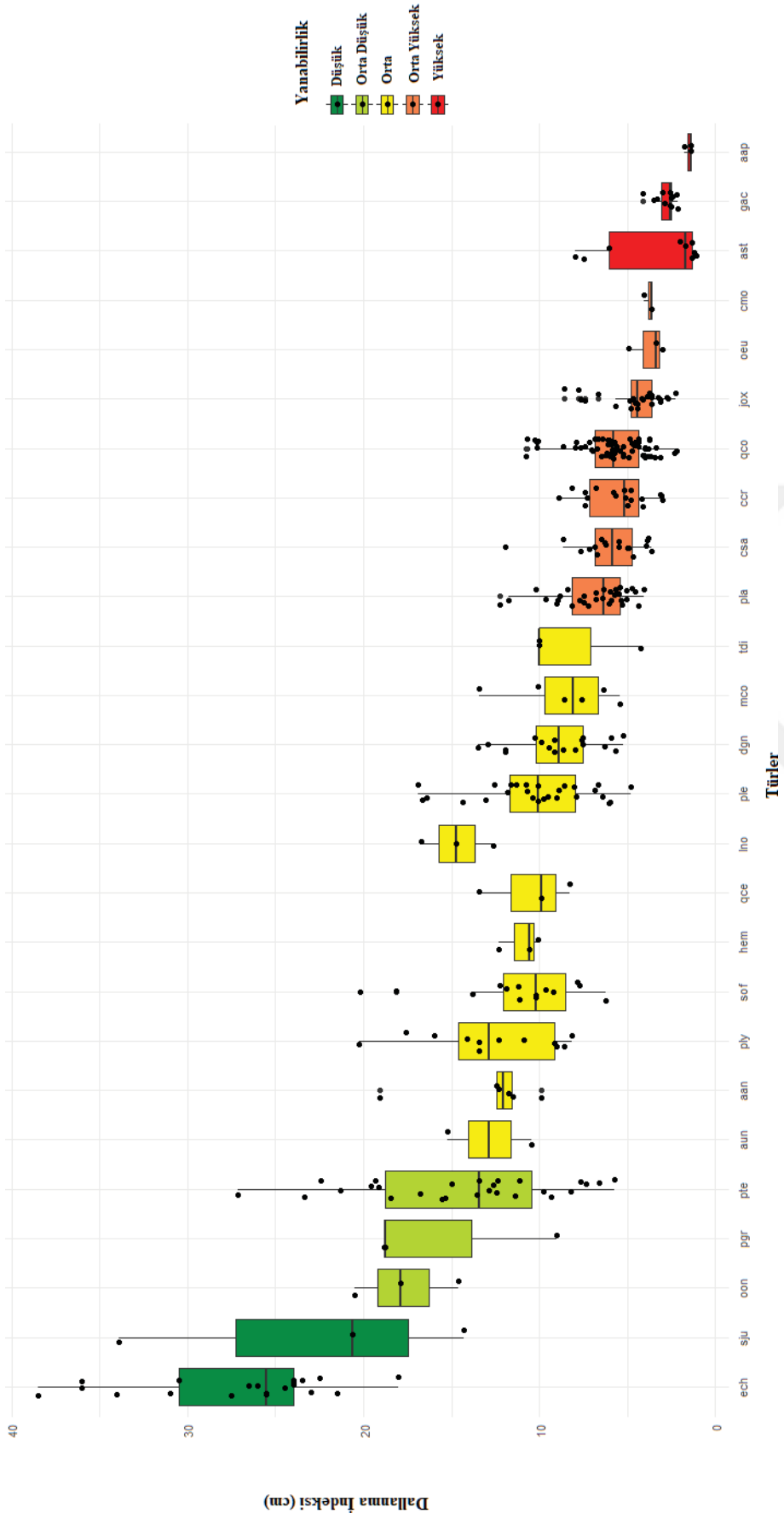
Olea europaea, *Pistacia lentiscus*, *Quercus coccifera* ve *Teucrium divaricatum* türleri orta yanabilirlik gösterirken; *Cistus creticus*, *Cistus salviifolius* ve *Laurus nobilis* türleri orta derecede düşük yanabilir özellik göstermektedir (Şekil 2.16).

2.3.1.6. Dallanma indeksi

Bitki dallanma karakteri ve yanabilirlik arasındaki ilişkiyi orta çıkarabilmek için yapılan istatistiksel analizlerde tüm türler için dallanma karakteri elde edilmiştir. Dallanma ile yanabilirlik arasında pozitif ilişki söz konusuysa, dallanma indeksi dal sayısı ile ters orantılı olarak değişmektedir. Bir türün dallanma indeksi ne kadar yüksekse yanabilirliği de o kadar düşüktür. Dallanma indeksinin düşük olması türün yüksek dallanma ve yüksek derecede yanabilir olduğunu göstermektedir. Alınan sonuçlara göre; incelenen türlerin dallanma indeksi değerleri arasında önemli farklılıklar (Tablo 2.4) olduğu tespit edilmiştir. *Euphorbia characias* (27 cm) ve *Spartium junceum* (22,9 cm) en yüksek dallanma indeksi değerlerine (dal sayısının minimum olduğu anlamına gelmektedir) ve düşük yanabilirliğe; *Asparagus aphyllus* (1,5 cm), *Astragalus* sp. (3,3 cm), *Genista acanthoclada* (2,8 cm) türlerinin ise en düşük dallanma indeksi değerlerine ve yüksek yanabilirliğe sahip oldukları belirlenmiştir (Tablo 2.5). Bununla birlikte; *Cistus creticus*, *Cistus salviifolius*, *Crataegus monogyna*, *Juniperus oxycedrus*, *Olea europaea*, *Phillyrea latifolia*, *Quercus coccifera* türlerinin orta derecede yüksek yanabilirliğe; *Arbutus andrachne*, *Arbutus unedo*, *Hypericum empetrifolium*, *Myrtus communis*, *Phlomis lycia*, *Pistacia lentiscus*, *Quercus cerris*, *Styrax officinalis*, *Teucrium divaricatum*, *Daphne gnidioides* türlerinin orta yanabilirliğe; *Laurus nobilis*, *Origanum onites*, *Phlomis grandiflora*, *Pistacia terebinthus* türlerinin ise orta derecede düşük yanabilirlik gösterdikleri ortaya çıkarılmıştır (Şekil 2.17).



Şekil 2.16. Yaprak kalınlığının (mm) türler arası ve tür içi değişkenliği ve bunun yanabilirlik seviyeleri ile olan ilişkisi. Şekil ile ilgili ayrıntılar Şekil 2.12'deki gibidir.

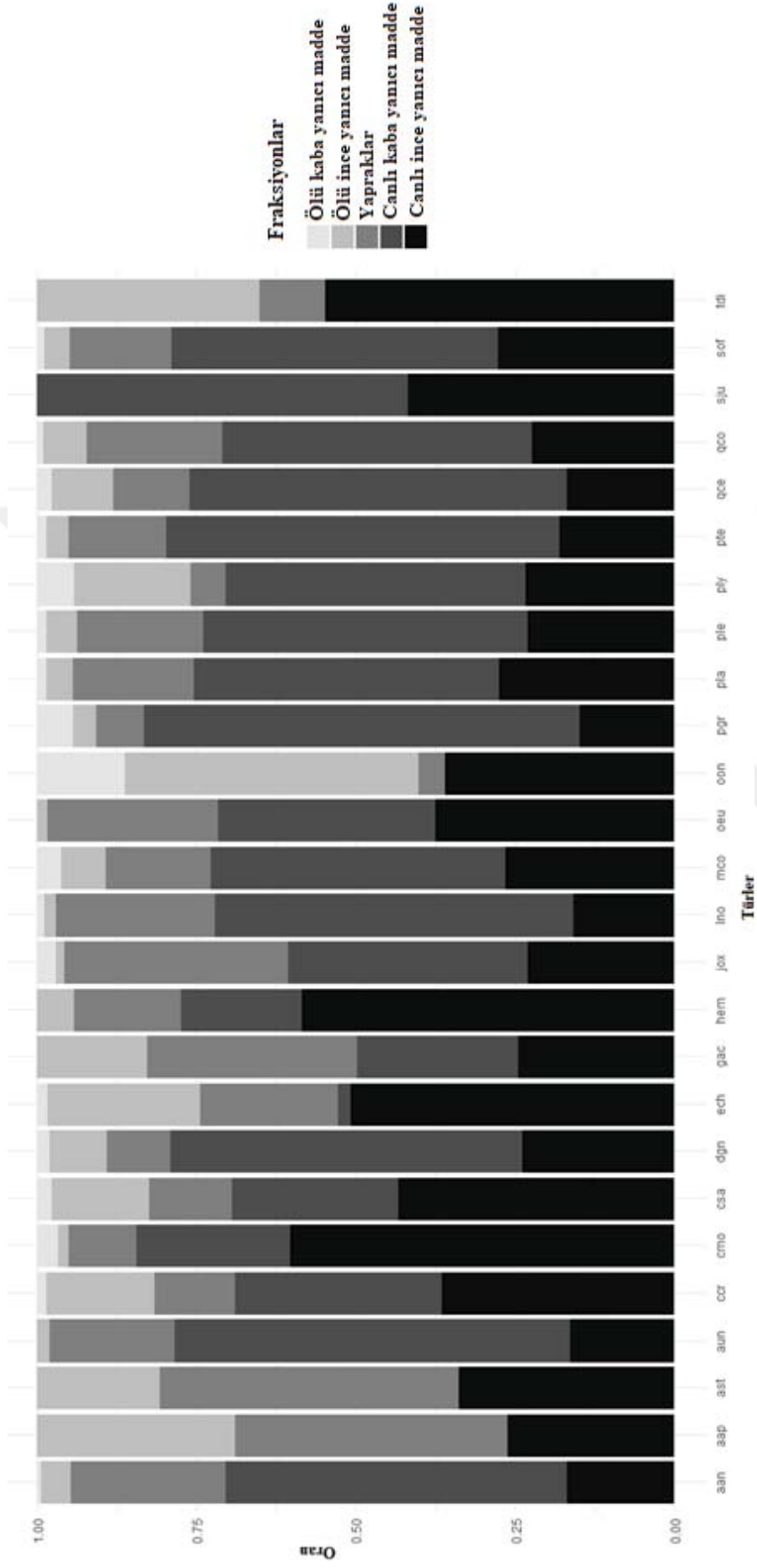


Şekil 2.17. Dallanma indeksinin (cm) türler arası ve tür içi değişkenliği ve bunun yanabilirlik seviyeleri ile olan ilişkisi. Şekil ile ilgili ayrıntılar Şekil 2.12’deki gibidir.

2.3.2. Türlerle Göre Toprak Üstü Biyokütle Ölçümlerinin Değerlendirilmesi

Elde edilen bulgular sonucunda, *Asparagus aphyllus* ve *Astragalus* sp. türlerini yanmaya daha yatkın hale getiren bir tür yanıcı madde yüküne sahip oldukları ortaya çıkmıştır. Kaba / ince yanıcı madde oranı ($F = 34,2$, $P < 0,0001$), ölü ince yanıcı madde miktarı ($F = 10,1$, $P < 0,0001$), ölü / canlı yanıcı madde oranı ($F = 4,60$, $P < 0,0001$) olarak elde edilmiştir (Tablo 2.4).

İncelenen tüm türlerin toplam kuru ağırlıklarına göre bitki fraksiyonları arasında (ölü ve canlı, ince, kaba malzemeler ve yapraklar) farklılıklar tespit edilmiştir (Şekil 2.18). Akdeniz vejetasyonunda baskın olarak bulunan bu türler arasında; 3 türün canlı ince yanıcı madde miktarı, 5 türün canlı kaba yanıcı madde miktarı, 6 türün yaprakları, 4 türün ölü ince yanıcı madde miktarı ve 3 türün ölü kaba yanıcı madde miktarı oldukça yüksek çıkmıştır (Tablo 2.5). *Asparagus aphyllus*, *Astragalus* sp., *Euphorbia characias* ve *Origanum onites* türleri yüksek miktarda ölü ince yanıcı madde gösterme eğilimindedir. Yığılmış yüzde çubuk grafiği, canlı ince yanıcı madde dal fraksiyonlarının baskın olduğu türleri açıkça ayırt etmiştir. 3 çalı türü (*Crataegus monogyna*, *Hypericum empetrifolium* ve *Teucrium divaricatum*) bu grafiğin siyah kısımlarında düzenlenmiş olup yüksek derecede canlı ince yanıcı madde dal birikimi ile karakterize edilmişlerdir. Çalışılan türlerden, *Arbutus unedo*, *Phlomis grandiflora*, *Pistacia terebinthus*, *Quercus cerris* ve *Spartium junceum* türleri yüksek miktarda canlı kaba yanıcı madde içerirler ve renk olarak koyu gri ile temsil edilirler. *Origanum onites*, *Phlomis grandiflora* ve *Phlomis lycia* türleri, ölü kaba yanıcı madde birikiminin yüksek olduğu türleri; *Asparagus aphyllus*, *Astragalus* sp., *Genista acanthoclada*, *Juniperus oxycedrus*, *Laurus nobilis* ve *Olea europaea* türleri ise yüksek derecede yaprak birikimine sahip olan türleri oluşturmaktadır (Şekil 2.18).



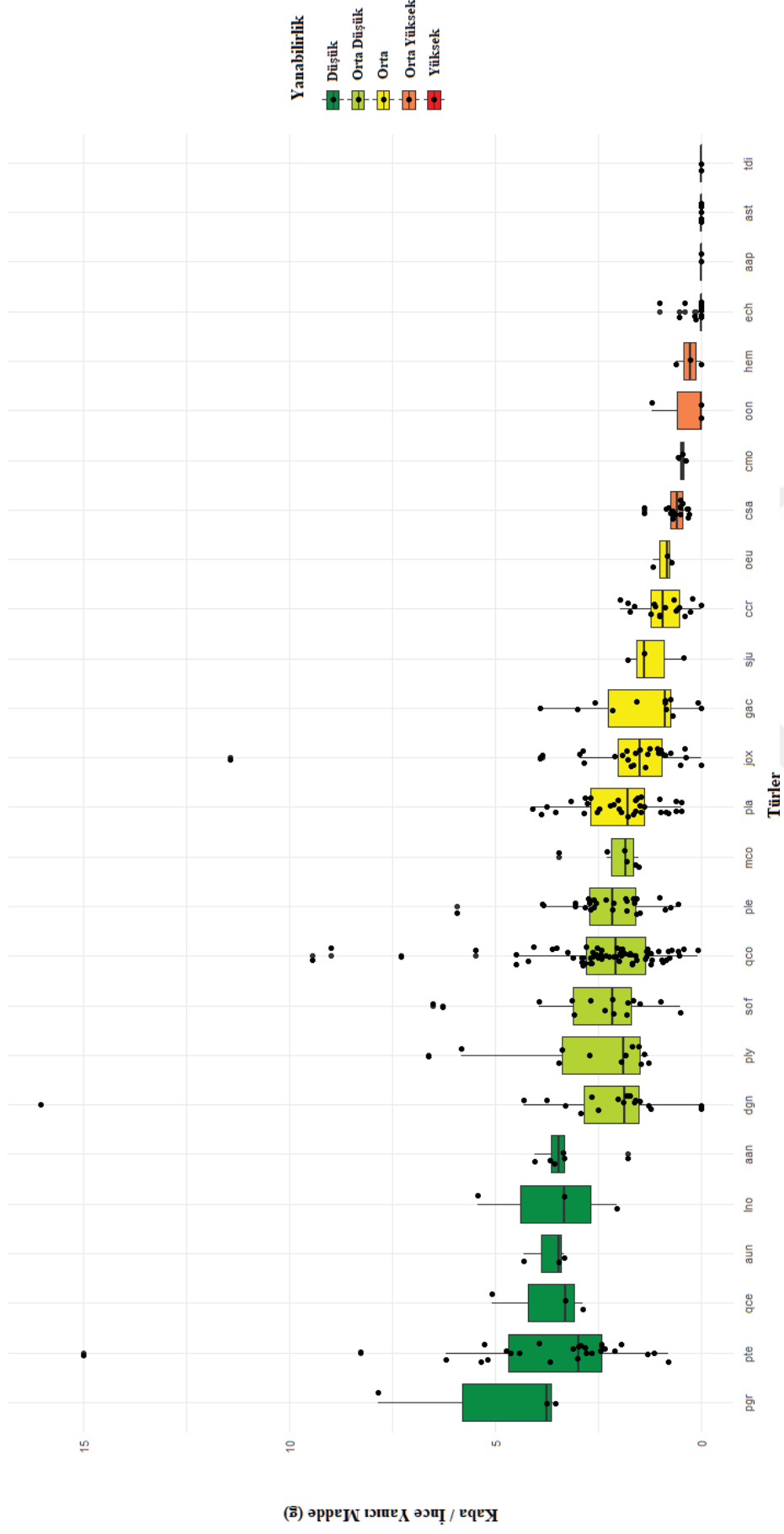
Şekil 2.18. Her takson için toplam kuru ağırlığa göre bitki fraksiyonlarının oranı (ölü ve canlı, ince ve kaba yanıcı maddeler ve yapraklar). Tür kodları Tablo 2.1.'de verilmiştir.

2.3.2.1. Kaba / ince yanıcı madde oranı

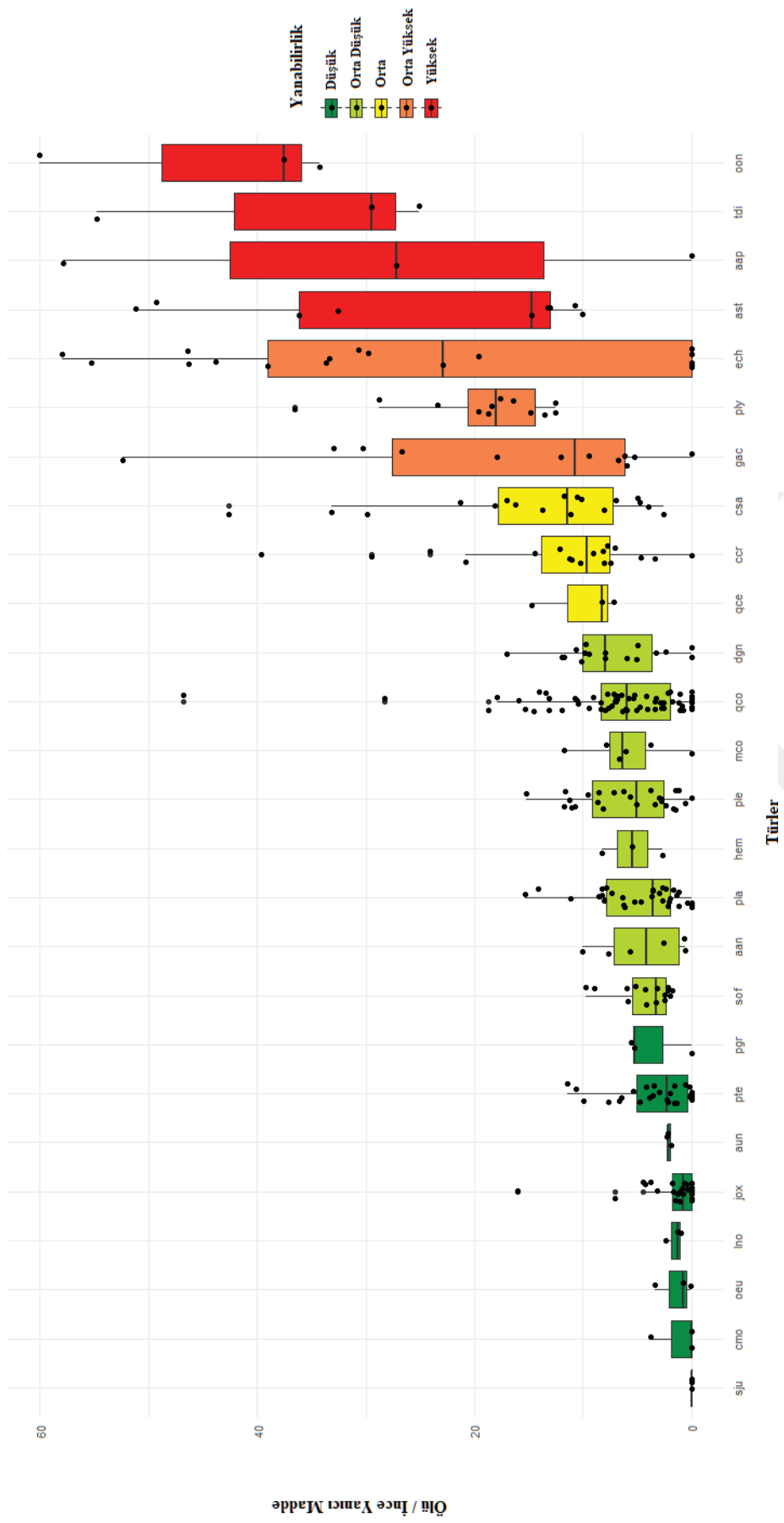
Toprak üstü biyokütle karakterlerinden biri olan kaba / ince yanıcı madde oranı ve yanabilirlik arasındaki ilişkiyi orta çıkarabilmek için yapılan istatistiksel analizlerde tüm türler için kaba / ince yanıcı madde oranı elde edilmiştir. Alınan sonuçlara göre; incelenen türlerin Kaba / ince yanıcı madde indeks değerleri arasında önemli farklılıklar (Tablo 2.4) olduğu tespit edilmiştir. *Arbutus andrachne*, *Arbutus unedo*, *Laurus nobilis*, *Phlomis grandiflora*, *Pistacia terebinthus* ve *Quercus cerris* türlerinin (ortalama >3.5 g) en yüksek kaba / ince yanıcı madde indeks değerlerine ve düşük yanabilirliğe; *Asparagus aphyllus*, *Astragalus* sp., *Euphorbia characias* ve *Teucrium divaricatum* türlerinin (ortalama < 1 g) ise en düşük kaba / ince yanıcı madde oranına sahip oldukları belirlenmiştir (Tablo 2.5). Bu durum, bu türlerin yanabilirliğini kaba / ince yanıcı madde oranının pozitif yönde etkilediğini ortaya çıkarmıştır. Bununla birlikte; *Cistus salviifolius*, *Crataegus monogyna*, *Hypericum empetrifolium* ve *Origanum onites* türlerinin orta derecede yüksek yanabilirliğe; *Cistus creticus*, *Genista acanthoclada*, *Juniperus oxycedrus*, *Olea europaea*, *Phillyrea latifolia* ve *Spartium junceum* türlerinin orta yanabilirliğe; *Daphne gnidioides*, *Myrtus communis*, *Phlomis lycia*, *Pistacia lentiscus*, *Quercus coccifera*, *Styrax officinalis*, türlerinin ise orta derecede düşük yanabilirlik gösterdikleri ortaya çıkarılmıştır (Şekil 2.19).

2.3.2.2. Ölü / ince yanıcı madde miktarı

Ölü / ince yanıcı madde ve yanabilirlik arasındaki ilişkinin ortaya çıkarılabilmesi adına toplamda 26 tür incelenmiştir. *Asparagus aphyllus*, *Astragalus* sp., *Origanum onites* ve *Teucrium divaricatum* türlerinin ölü / ince yanıcı madde miktarları (ortalama >%25) çalışılan türler içerisinde oldukça yüksektir (Tablo 2.4). Bu durum, bu türlerin yanabilirliğine ölü ince yanıcı madde miktarının pozitif yönde etkilediğini ortaya çıkarmıştır. *Arbutus unedo*, *Crataegus monogyna*, *Juniperus oxycedrus*, *Laurus nobilis*, *Olea europaea*, *Phlomis grandiflora*, *Pistacia terebinthus* ve *Spartium junceum* türleri ise düşük ölü / ince yanıcı madde miktarına (ortalama < % 3.60) sahiplerdir ve yanabilirlik seviyeleri düşüktür (Tablo 2.5). Çalışılan türler arasında, *Euphorbia characias*, *Genista acanthoclada* ve *Phlomis lycia* orta yüksek derecede yanabilirliğe; *Quercus cerris*, *Cistus creticus* ve *Cistus salviifolius* orta yanabilirliğe; *Arbutus andrachne*, *Daphne gnidioides*, *Hypericum empetrifolium*, *Myrtus communis*, *Phillyrea latifolia*, *Pistacia lentiscus*, *Quercus coccifera* ve *Styrax officinalis* ise orta düşük yanabilirliğe sahiptir (Şekil 2.20).



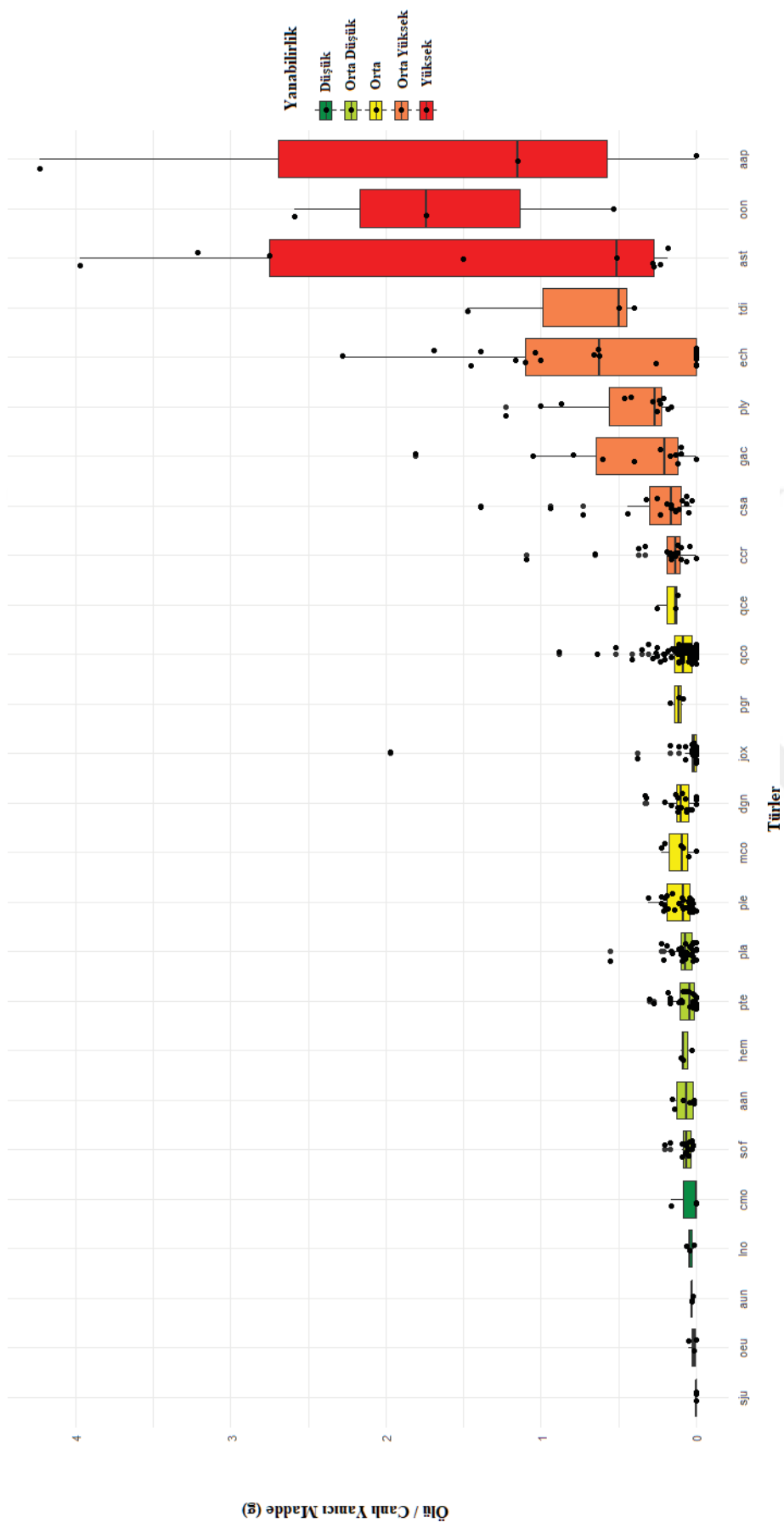
Şekil 2.19. Kaba / ince yabancı madde oranının türlerin türleri arası ve tür içi değişkenliği ve bunun yanabilirlik seviyeleri ile olan ilişkisi. Şekil ile ilgili ayrıntılar Şekil 2.12’deki gibidir



Şekil 2.20. Ölü / ince yanıcı madde miktarının türler arası ve tür içi değişkenliği ve bunun yanabilirlik seviyeleri ile olan ilişkisi. Şekil ile ilgili ayrıntılar Şekil 2.12'deki gibidir.

2.3.2.3. Ölü canlı yanıcı madde

Çalışılan türlerdeki ölü / canlı yanıcı madde oranı ve yanabilirlik arasındaki ilişkiyi ortaya çıkarabilmek adına toplamda 22 tür için hesaplamalar yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre *Arbutus unedo*, *Crataegus monogyna*, *Laurus nobilis*, *Olea europaea* ve *Spartium junceum* türlerinin (ortalama < 0.055 g) düşük ölü / canlı yanıcı madde oranına sahip oldukları (Tablo 2.4) ve düşük seviyede yanabilirlik özelliği gösterdikleri ortaya çıkarılmıştır (Şekil 2.21). Bunun yanında; *Asparagus aphyllus*, *Astragalus* sp. ve *Origanum onites* türlerinin ölü / canlı yanıcı madde oranları oldukça yüksektir (ortalama > 1.430). Bu durum, bu türlerin yanabilirliğe, ölü canlı yanıcı madde oranının pozitif yönde etki ettiğini göstermektedir (Tablo 2.5). Yanabilirlik seviyelerine baktığımız zaman, *Cistus creticus*, *Cistus salviifolius*, *Euphorbia characias*, *Genista acanthoclada*, *Phlomis lycia* ve *Teucrium divaricatum* türlerinin orta yüksek yanabilirliğe; *Daphne gnidioides*, *Juniperus oxycedrus*, *Myrtus communis*, *Phlomis grandiflora*, *Pistacia lentiscus*, *Quercus cerris* ve *Quercus coccifera* türlerinin orta seviyede yanabilirliğe; *Arbutus andrachne*, *Hypericum empetrifolium*, *Phillyrea latifolia*, *Pistacia terebinthus* ve *Styrax officinalis* türlerinin ise orta düşük yanabilirliğe sahip oldukları ortaya çıkmıştır (Şekil 2.21).



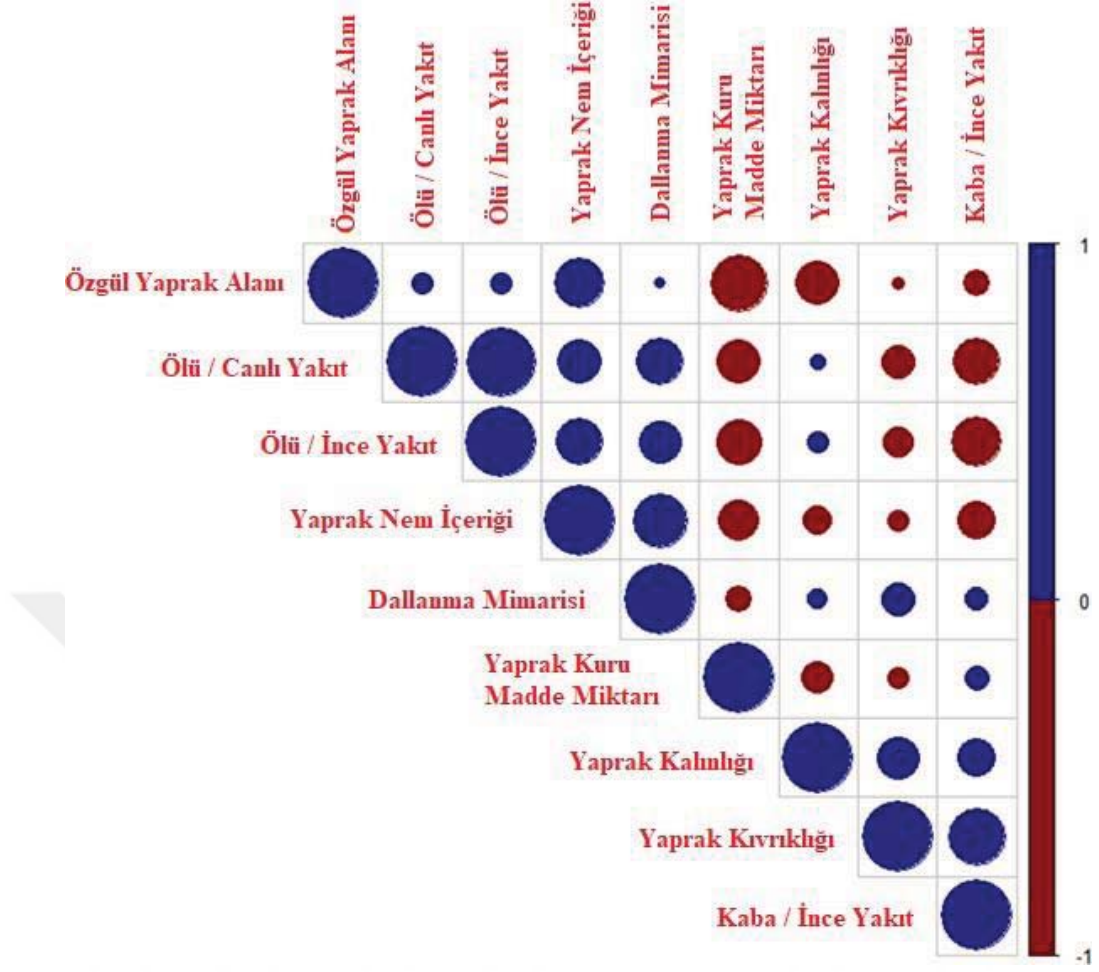
Şekil 2.21. Ölü / canlı yanıcı madde oranının türler arası ve tür içi değişkenliği ve bunun yanabilirlik seviyeleri ile olan ilişkisi. Şekil ile ilgili ayrıntılar Şekil 2.12’deki gibidir.

Tablo 2.5. Çalışmaya dâhil edilen taksonlar için dokuz yanabilirlik karakterinin ortalama değerleri. Her bir karakter için her taksonun nispi yanabilirlik miktarı, koyu yeşil (en düşük yanıcı takson), açık yeşil, sarı, turuncu ve kırmızıdan (en yüksek yanıcı taksonlar) oluşan bir renk gradyanı içinde gösterildi. Her karakter için her hücreye atanan renk, türler arasındaki karakter değerlerindeki farklılıkları tek yönlü bir ANOVA testinden sonra post-hoc testinin sonucuna göre belirlenmiştir. Karakter tam adları ve tür kodları Tablo 2.1.'de verilmiştir. Taksonlar, renk gruplarına atanan puanların toplanmasıyla tahmin edilen genel yanabilirlik derecelerine (YD) göre sıralanmıştır (koyu yeşil: 1, açık yeşil: 2, sarı: 3, turuncu: 4, kırmızı: 5). DLF ve DFF karakterleri tür seviyesinde yüksek derecede ilişkili olduğundan, bu iki karakterin ortalamaları alınarak yanabilirlik derecesi hesaplanmıştır.

Takson	LDMC	SLA	LMC	BR	LC	LT	CFF	DLF	DFF	YD
aap	-	-	-	1.5	-	-	0	1.797	28.33	5.00
ast	-	-	-	3.3	-	-	0	1.434	25.65	5.00
gac	-	-	-	2.8	-	-	1.44	0.458	17.14	4.00
qco	641.0	4.9	86.9	5.8	0.777	0.319	2.40	0.120	6.80	3.68
aan	658.9	5.9	98.3	12.8	1.422	0.242	3.28	0.071	4.55	3.62
pla	669.3	6.2	75.6	6.8	0.312	0.250	1.95	0.086	4.82	3.50
csa	562.2	7.3	118.9	6.0	0.647	0.384	0.64	0.304	14.81	3.31
ple	720.3	5.0	103.2	10.1	0.374	0.322	2.27	0.106	5.86	3.31
aun	553.4	6.3	103.4	12.8	1.313	0.214	3.69	0.027	2.08	3.25
ccr	482.9	7.5	106.5	5.8	0.519	0.412	0.92	0.226	12.69	3.18
qce	456.1	10.4	111.5	10.5	1.060	0.230	3.74	0.168	10.05	3.12
hem	389.5	7.3	94.7	10.9	0.216	0.223	0.28	0.071	5.48	3.12
mco	621.3	8.4	120.5	8.5	0.403	0.185	2.07	0.108	6.00	3.06
oon	313.8	8.5	148.6	17.6	0.213	0.223	0.39	1.619	43.94	3.00
oeu	654.4	4.6	89.2	3.7	0.381	0.317	0.90	0.020	1.41	3.00
ech	579.8	8.1	272.5	27.0	0.474	0.252	0.10	0.632	21.83	3.00
pgr	619.1	3.7	94.6	15.5	0.990	0.776	5.04	0.118	3.60	3.00
tdi	393.6	8.6	157.9	8.0	0.288	0.335	0	0.788	36.42	2.93
dgn	538.7	8.0	195.8	8.9	0.335	0.203	2.78	0.108	7.10	2.93
ply	192.3	6.6	127.7	12.7	1.255	0.945	2.75	0.462	19.40	2.87
jox	572.1	8.5	111.9	4.6	0.230	0.252	1.95	0.110	1.86	2.87
pte	467.7	9.1	120.7	14.3	0.607	0.211	3.84	0.074	3.43	2.81
cmo	407.3	10.5	108.6	3.7	0.298	0.234	0.45	0.054	1.24	2.62
sof	198.6	16.6	201.1	11.1	0.951	0.208	2.69	0.067	4.24	2.50
lno	533.2	5.8	79.7	10.2	0.493	0.434	3.60	0.036	1.55	2.33
sju	-	-	-	22.9	-	-	1.19	0	0	1.50

2.3.3. Yanabilirlik karakterleri arasındaki ilişkiler

Tür düzeyinde incelenen yanabilirlik karakterleri için kullanılan Pearson Korelasyon testi, karakter çiftleri arasındaki ilişkinin boyutunu ortaya çıkarmıştır. Elde edilen bulgulara göre özgül yaprak alanı; yaprak nem içeriği ile yüksek pozitif, ölü / canlı yanıcı madde oranı; ölü / ince yanıcı madde miktarı ve dallanma mimarisi ile pozitif korelasyon gösterirken, yaprak kuru madde miktarı ve yaprak kalınlığı ile yüksek derecede negatif, yaprak kıvrıklığı ve kaba / ince yanıcı madde oranı ile negatif korelasyon göstermektedir (Tablo 2.6, Şekil 2.22). Ölü / canlı yanıcı madde oranı; ölü / ince yanıcı madde miktarı ile çok yüksek pozitif, yaprak nem içeriği ve dallanma mimarisi ile yüksek pozitif korelasyon gösterirken; yaprak kuru madde miktarı ile yüksek negatif, kaba / ince yanıcı madde oranı ile çok yüksek negatif korelasyon göstermektedir. Ölü / ince yanıcı madde miktarı; yaprak nem içeriği ve dallanma mimarisi ile yüksek pozitif, yaprak kalınlığı ile pozitif, yaprak kuru madde miktarı, kaba / ince yanıcı madde oranı ile yüksek negatif, yaprak kıvrıklığı ile negatif korelasyon göstermektedir (Tablo 2.6, Şekil 2.22). Yaprak nem içeriği; dallanma mimarisi ile çok yüksek pozitif korelasyon gösterirken, yaprak kuru madde miktarı, kaba / ince yanıcı madde oranı ile negatif korelasyon göstermektedir. Dallanma mimarisi; yaprak kıvrıklığı ile yüksek pozitif, yaprak kuru madde miktarı ile negatif korelasyon gösterirken, yaprak kalınlığı ve kuru / ince yanıcı madde oranı ile pozitif ilişki göstermiştir. Yaprak kuru madde miktarı; yaprak kalınlığı ve yaprak kıvrıklığı ile negatif, kaba / ince yanıcı madde oranı ile pozitif korelasyon göstermektedir. Yaprak kalınlık parametresi; yaprak kıvrıklığı ve kaba / ince yanıcı madde oranı ile yüksek pozitif korelasyon gösterirken, yaprak kıvrıklığı kaba / ince yanıcı madde oranı ile yüksek pozitif korelasyon göstermiştir (Tablo 2.6, Şekil 2.22).



Şekil 2.22. Tür düzeyinde incelenen karakterler arasındaki ilişki. Değerler Pearson'un r'sidir ve daireler; karakter çiftleri arasındaki ilişkinin boyutunu (ne kadar büyükse o kadar yüksek ve tam tersi) ve yönünü (sırasıyla kırmızı negatif, mavi pozitif korelasyon) temsil eder. Analizlerde *Asparagus aphyllus*, *Astragalus* sp., *Genista acanthoclada* ve *Spartium junceum* türlerinde yeterli karakter verisi (sadece dört karakter) olmadığı için dikkate alınmamıştır.

Tablo 2.6. Yanabilirlik karakter değişkenlerine ait korelasyon değerleri. Tablodaki değerler ‘r’ korelasyon katsayı değerlerini ifade etmektedir.

Yanabilirlik Karakterleri	Yaprak Kuru Madde Miktarı	Özgül Yaprak Alanı	Yaprak Nem İçeriği	Dallanma Mimarisi	Yaprak Kıvrıklığı	Yaprak Kalınlığı	Ölü / Canlı Yabancı Madde	Kaba / İnce Yabancı Madde	Ölü / İnce Yabancı Madde
Yaprak Kuru Madde Miktarı	—	-0.65	-0.33	-0.15	-0.1	-0.2	-0.4	0.13	-0.42
Özgül Yaprak Alanı	-0.65	—	0.51	0.03	-0.04	-0.4	0.09	-0.14	0.1
Yaprak Nem İçeriği	-0.33	0.51	—	0.59	-0.09	-0.18	0.4	-0.28	0.43
Dallanma Mimarisi	-0.15	0.03	0.59	—	0.24	0.09	0.44	0.12	0.38
Yaprak Kıvrıklığı	-0.1	-0.04	-0.09	0.24	—	0.37	-0.23	0.65	-0.19
Yaprak Kalınlığı	-0.2	-0.4	-0.18	0.09	0.37	—	0.05	0.29	0.1
Ölü / Canlı Yabancı Madde	-0.4	0.09	0.4	0.44	-0.23	0.05	—	-0.45	0.96
Kaba / İnce Yabancı Madde	0.13	-0.14	-0.28	0.12	0.65	0.29	-0.45	—	-0.49
Ölü / İnce Yabancı Madde	-0.42	0.1	0.43	0.38	-0.19	0.1	0.96	-0.49	—

2.4. Tartışma

Bu çalışma, Muğla-Milas ve Antalya-Kaş bölgelerinde baskın olarak yayılış gösteren toplam 26 odunsu bitki türünün özelliklerinin yanabilirlik üzerine olan etkilerini birçok karakter üzerinden karşılaştırarak, yanabilirliğin farklı özelliklere sahip bitki türleri arasında farklılık gösterdiğini ortaya çıkarmıştır. Bu farklılık türe özgü nem içeriği, yaprak kuru madde miktarı, özgül yaprak alanı, yaprak kalınlığı, yaprak kıvrıklığı, dallanma mimarisi, kaba / ince yanıcı madde, ölü / ince yanıcı madde ve ölü canlı yanıcı madde parametreleri dâhil olmak üzere tek tek bireylerin özelliklerine dayalı olarak düşük ve yüksek yanabilirlik sınıfları ortaya çıkarılmıştır. Çalışmanın bulguları ayrıca, incelenen farklı bitki karakterlerinin türlerin yanabilirliği üzerinde farklı etkilere neden olduğunu; bu bağlamda, bitki komünitelerinin yanabilirliği değerlendirilirken, çok sayıda yanabilirlik karakterinin birlikte ele alınması gerektiğini göstermiştir. Bazı türlerin dallanma yapılarını daha yanıcı bir şekilde tutarak, bazı türlerin yapraklarının daha kıvrık ve daha ince olmasını sağlayarak, bazılarının kurumaya daha yatkın ve bazılarının ise ince yapraklara sahip olarak yanabilirliklerini artırmakta olduğu görülmüştür. Bu durum, yanabilirlik karakterlerinin türe özgü değişimini belirgin bir şekilde ortaya koymuştur.

Bitkiler yangının şeklini, şiddetini ve yayılmasını etkileyerek bulundukları vejetasyonda yanabilirlik açısından farklı özellikler göstermektedir. Orman yangınlarının sıklığı, yoğunluğu ve nerede meydana geldiği sadece iklim ve hava koşullarına değil, aynı zamanda belirli yanıcı madde özelliklerine, yani bitki örtüsü özelliklerine de bağlıdır (Schwilck 2015). Hafif gerçekleşen yangınlarda veya bir yangının başlangıcında, organik yanıcı maddelerin (bitki) fonksiyonel özelliklerinin yangın davranışını güçlü bir şekilde etkilediği ortaya çıkarılmıştır (Scarff ve Westoby, 2006; Plucinski ve Anderson, 2008; Engber ve Varner, 2012; Cornwell ve ark., 2015). Yapılan çalışmalar, farklı bitki türlerinin morfolojik ve kimyasal özelliklerinin, tek tek yaprak tutuşabilirliğini ve ateşe dayanıklılıkları üzerinde güçlü ve farklı etkileri olduğunu göstermiştir (Murray ve ark., 2013; Grootemaat ve ark., 2015).

Mevcut yangın ekolojisi literatürü içerisinde, bir topluluktaki birden çok tür üzerinde türe özgü uyumluluk ve uyarlanma ölçümlerini inceleyen araştırmalar, bireysel türlerin yanabilirliğini bitki karakterleriyle ilişkilendirmiştir (Garnier ve Laurent, 1994; Paula ve ark., 2009; Keeley ve ark., 2011; Engber ve Varner, 2012; Perez-Harguindeguy ve ark., 2013; Grootemaat ve ark., 2015; Simpson ve ark., 2016; Jolly ve Johnson, 2018; Tavşanoğlu ve Pausas, 2018; Kattge ve ark., 2020). Bitkilerin sahip oldukları bu

karakterlerin yanabilirliğe ne derece etki ettiği, günümüzde hala aydınlatılmaya çalışılan bir konudur.

Yanabilirlikle ilişkili bir bitki karakteri olduğu bilinen özgül yaprak alanı, yaprak kuru madde içeriği ile yaprak kalınlığı parametrelerinin bir fonksiyonudur. Hem yaprak kuru madde içeriği, hem de yaprak kalınlığı ilgili vejetasyon ve bitki grubuna bağlı olarak özgül yaprak alanına farklı derecelerde katkıda bulunurlar (Perez-Harguindeguy ve ark., 2013). Yaprak özgül alanı ve yaprak kuru madde miktarı değişkenleri arasında yanabilirlik düzeyinde ters orantılı bir ilişki bulunmuştur. Bitki türlerinin yaprak özgül alanı değerleri yanabilirlik ile ters orantılı iken yaprak kuru madde miktarı değerleri yanabilirlik ile doğru orantılı bir ilişki göstermiştir. Her iki değişken için de toplamda 8 türün bu ters orantılı ilişkiyi desteklediği ortaya çıkarılmıştır (Şekil 2.13, 2.14). Çalışmada incelenen bitki karakterleri arasında özgül yaprak alanının, yaprak nem içeriğinden sonra yanabilirliği en fazla etkileyen karakter olduğu Bond ve Van Wilgen (1996) ve Gill ve Moore (1996)'nın çalışmalarında ortaya çıkarılmıştır. Türün özgül yaprak alan değeri ne kadar yüksekse, yaprak su içeriğinden de o kadar fazla etkileneceği Garnier ve ark., (2001) yaptığı çalışmada ortaya çıkarılmıştır. Bu tez çalışmasından elde edilen sonuçlar da, incelenen 22 farklı bitki türünden düşük özgül yaprak alanına sahip olan türlerin yaprak nem içeriklerinin de düşük olduğunu ortaya çıkarmıştır. Bu durum bu türlerin yüksek yanabilirliğe sahip olduklarını göstermektedir. Çalışmadan elde edilen bulgulara bakıldığında, özgül yaprak alanı karakterinin yanabilirliğe verdiği cevap, türler arasında farklılık göstermektedir. Bu karakter için yapılan analizlerden 4 tanesinin yüksek yanabilirlik, 5 tanesinin orta yüksek yanabilirlik, 10 tanesinin orta yanabilirlik ve 3 tanesinin düşük yanabilirlik gösterdikleri gözlemlenmiştir (Şekil 2.13).

Nem içeriği genel olarak yanıcı madde tutuşabilirliğinin güçlü bir belirleyicisi olarak kabul edilir (Byram 1959; Plucinski ve Anderson 2008; Ganteaume ve ark., 2009; Sullivan ve ark., 2012). Tezde elde edilen yaprak nem oranı sonuçlarındaki değişkenliğin, 22 bitki türünün yanabilirliğindeki varyasyonla güçlü bir şekilde ilişkili olduğu ortaya çıkarılmıştır. Çalışmada, yaprak nem oranı düşük olan 6 bitki türünün yanabilirliklerinin yüksek olduğu; buna karşın tek bir türün (*Euphorbia characias*) ise yüksek nem oranına sahip olduğu bu nedenle de yanabilirliğinin düşük olduğu saptanmıştır (Şekil 2.12). Bu bağlamda, Akdeniz coğrafyasında yangınların hava ve yanıcı madde neminin düşük, sıcaklıkların yüksek olduğu yaz aylarında yoğunlaşma eğiliminde olduğunu düşünürsek,

nem oranı düşük olan bitkilerin herhangi bir yangın durumunda aşırı derecede yanabilirlik özelliği göstereceklerini söyleyebiliriz.

Çalışmadan elde edilen bulgular, incelenen bitkilerin yaprak kuru madde miktarlarındaki değişkenliğin, farklı yanabilirlik kategorilerinde değerlendirilmesine neden olmuştur. Elde edilen bulgular, yaprak kuru madde içeriğinin yanabilirlikle pozitif olarak ilişkili bir karakter olduğu önerisini doğrulamaktadır (Cornelissen ve ark., 2003; Perez-Harguindeguy ve ark., 2013). Bunun yanında yaprak kuru madde miktarının, yaprakların su içeriği ile yakından ilgili olduğuna dair birçok çalışma bulunmaktadır (Garnier ve Laurent, 1994; Perez-Harguindeguy ve ark., 2013). Bu çalışmada elde edilen sonuçlar; yüksek kuru madde içeriğine sahip 4 türün aynı zamanda düşük nem içeriğine sahip olduklarını göstermiştir (Şekil 2.12, 2.14). Bu durum yüksek kuru madde ve nem içeriği değişkenleri tarafından değerlendirilen türlerin yüksek ve orta yüksek yanabilirlik kategorisinde değerlendirilebileceğini göstermiştir. Yüksek kuru madde içeriğine sahip bu 4 türün (*Arbutus andrachne*, *Olea europaea*, *Phillyrea latifolia*, *Pistacia lentiscus*) yüksek yanabilirlik göstermelerinin düşük nem içeriğinden kaynaklandığını ve olası bir yangın durumunda bu türlerin yanması için daha az enerji harcanacağı varsayımını desteklemektedir (Pompe ve Vines, 1966; Chuvieco ve ark., 2009). Yapılan çalışmalarda, yüksek kuru madde içeriğine sahip türlerin daha hızlı tutuşması, uzun süre ve yüksek yoğunlukta yanması ve fazla biyokütle tüketimine neden olması beklenmektedir. Bu çalışmalar, yüksek yaprak kuru madde miktarına sahip yaprakların nispeten daha sert olma eğiliminde olduklarını ve bu nedenle fiziksel tehlikelere karşı daha dirençli olabileceklerini öne sürmüştür (Cornelissen ve ark. 2003). Tezde elde edilen sonuçlara göre, yüksek derecede yanabilirlik özelliği gösteren bu türlerin (Şekil 2.14) de, sert yapraklı tür kategorisinde ele alınabileceği söylenebilir. Diğer bir deyişle, yüksek yaprak kuru madde miktarına sahip olan sert yapraklı bitkilerin otçul etkisi, sağanak yağış ve rüzgâr gibi fiziksel risklere karşı dayanıklı olmasına (Cornelissen ve ark. 2003) rağmen yangına karşı düşük direnç gösterdiği ortaya çıkarılmıştır. Çalı türlerinin yüksek yanabilirliğe sahip olmaları; düşük bitki boyu, ince dallanma ve yüksek kuru madde içeriğine sahip yaprak dökmeyen bitki özellikleri gibi özelliklerin kombinasyonu ile ilişkili olabileceği birkaç çalışmada bahsedilmiştir (Gill ve Allan 2008; Burger ve Bond 2015; Santacruz-García ve ark., 2019). Bu tez çalışmasında 4 tür için elde edilmiş olan yüksek kuru madde içerik değerleri, bu türlerin yüksek derecede yanabilirliğe sahip olduğunu göstermektedir. Bu 4 çalı türünün tamamının yaprak dökmeyen herdem yeşil

türler olması yüksek yaprak kuru madde miktarına sahip türlerin yaprak dökmeyen bitkilerden oluşması yukarıda bahsedilen tespiti destekler niteliktedir. Bu durum literatürde hâlihazırda kabul görmüş, yaprak döken çalı formlarının tutuşabilirliği ve dolayısıyla yanabilirliği arttırıcı özellikte olmaları düşüncesini desteklemekle birlikte yaprak dökmeyen çalı formlarının da bitki yapısal özellikleri nedeniyle yüksek yanabilirlikte olabileceğini ortaya çıkarmıştır.

Yaprak kalınlığının, özgül yaprak alanının temel bileşenlerinden biri olduğu ve gölgede büyüyen yaprakların yüksek özgül yaprak alanına ve daha ince yapraklara sahip oldukları Perez-Harguindeguy ve ark. (2013)'nın çalışmalarında belirtilmiştir. Yaprak kalınlığının yaprakların fiziksel dayanıklılığını belirlemede kullanılan en iyi parametrelerden biri olduğu ve yanabilirlikle arasında negatif bir ilişki bulunduğu yapılan çalışmalarda ortaya çıkarılmıştır. Daha ince ve daha az yoğun yaprakların (daha yüksek yaprak özgül alanına sahip) genellikle daha hızlı ayrıştığı bulunmuştur (Cornelissen 1996; Santiago 2007). Ayrıca, özgül yaprak alanı ve yaprak kalınlığı arasında negatif bir ilişki olduğu da Grootemaat ve ark. (2017)'nin çalışmasında vurgulanmıştır. Bu tez çalışması sonucunda elde edilen bulgulara göre, yüksek özgül yaprak alanına sahip 3 türün (*Crataegus monogyna*, *Quercus cerris*, *Styrax officinalis*), yaprak kalınlık değerlerinin düşük olduğu (ince yapraklara sahip oldukları), ancak değişkenler ölçeğinde incelendiğinde bu 3 türün farklı yanabilirlik özelliği gösterdiği ortaya çıkarılmıştır (Şekil 2.13, Şekil 2.16). Türlerin sahip olduğu özgül yaprak alanının yanabilirlikten çok tutuşabilirlikle ilişkisinin olması (Montgomery ve Cheo 1971) ve farklı bitki karakter kombinasyonlarının yanabilirlik üzerinde farklı etkilerinin olması, elde edilen bu farklı yanabilirlik değerlerini açıklayabilir. Yaprak kalınlığı parametresi için incelenen 22 tür içerisinde 10 türün yüksek yanabilirlik kategorisinde değerlendirilebileceği ortaya çıkmıştır. Elde edilen bulgulara göre, bu 10 tür içerisindeki 7 tür bitki yapısal özelliklerinden dolayı (uzun boylu çalı formlarında olmaları) güneşi doğrudan kullanabilmektedir. Buna göre elde edilen bu sonuç, güneş gören bitki yapraklarının gölgedeki bitkilere göre daha ince olduğunu ortaya koyan çalışmayı (Perez-Harguindeguy ve ark., 2013) doğrular niteliktedir. Diğer 3 türün (*Daphne gnidioides*, *Hypericum empetrifolium* ve *Origanum onites*) ise yapraklarının ince olması yüksek yanabilirliğe sahip türler kategorisinde değerlendirilmelerine neden olmuştur.

Tez çalışmasının bu bölümünde, incelenen türler arasında yanabilirlik ve yaprak kıvrıklığı açısından yüksek değişkenlik olduğu ortaya çıkmıştır *Arbutus andrachne*,

Arbutus unedo ve *Phlomis lycia* türlerinin çalışılan 22 tür içerisinde en yüksek yaprak kıvrıklık değerine sahip oldukları ve bu anlamda yüksek derecede yanabilir oldukları ortaya çıkarılmıştır. Grootemaat ve ark. (2017) yaptıkları çalışmada yaprak kıvrıklığının özgül yaprak alanı ve yaprak kalınlığı karakterleriyle ilişkili olduğunu şematize etmişlerdir. Bu araştırmacılar, yaprak kıvrıklığı ve yaprak kalınlığı arasında negatif bir ilişki söz konusu olduğunu ortaya çıkarmışlardır (Grootemaat ve ark. 2017). Çalışmamızda elde edilen veriler, tür bazında bu durumu destekler niteliktedir. Yüksek yaprak kalınlığına sahip türlerin daha az yanabilir olduğu, yüksek yaprak kıvrıklık oranına sahip türlerin ise yüksek yanabilirliğe sahip oldukları ortaya çıkarılmıştır. Yaprak kıvrıklık ve yaprak kalınlık parametrelerinin türler arası yanabilirlik derecelerinin karşılaştırılarak elde edilmiş sonuçlarına göre orta yüksek (*Quercus cerris*) ve yüksek yanabilirliğe (*Arbutus andrachne*, *Arbutus unedo*) sahip 3 türün yaprak kalınlığının düşük olduğunu, bu durumun da Grootemaat ve ark. (2017)'nin çalışmalarını destekler nitelikte olduğu ortaya çıkarılmıştır. Grootemaat ve ark. (2017), ayrıca, kıvrık yapraklara sahip türlerin yüksek özgül yaprak alanına sahip olduklarını ve bu türlerin yangının yatak boyunca yayılmasına yardımcı olduklarını ileri sürmüşlerdir. Çalışmamızda elde ettiğimiz verilere göre, en yüksek özgül yaprak alanına sahip üç türden ikisi (*Quercus cerris* ve *Styrax officinalis*) yüksek kıvrıklık oranına sahip türler olarak karşımıza çıkmıştır. Bu iki türün yapraklarının yüksek kıvrıklık derecesine sahip olması, yüksek derecede yanabilir olmalarına neden olmuştur. Yapılan çalışmalar yaprak boyutu ve kıvrıklığın bir arada farklı etkileri olabileceğini ortaya koymuştur. Küçük ama yassı yapraklar, büyük yassı yapraklara göre daha havalanmış yanıcı madde yataklarına sahip olabilirler. Bu durum çalışmada elde edilen yaprak kıvrıklığı yüksek olan 3 türün yapraklarının fazla havalanmış yanıcı madde yatakları oluşturarak yüksek reaksiyon hızına (Rothermel 1972) yol açabileceğini ortaya koymuştur. Bu türlerin yüksek yanabilirlik derecesine sahip olması herhangi bir yangın durumunda daha fazla yanıcı madde tüketimine neden olabileceklerini bulgusunu desteklemektedir (Grootemaat ve ark. 2017). Bunun yanı sıra diğer birçok çalışmada yanıcı madde yatağı derinliği ve yanabilirliğin pozitif ilişkili olduğu, daha derin yanıcı madde yataklarının daha fazla havalandırmaya bağlı olarak, daha uzun alevlere neden olduğu bulunmuştur. Bu duruma katkı sağlayan karakterlerden biri de yaprak kıvrıklığıdır. Daha büyük ve daha kıvrık yaprakların bu çıkarımı desteklediği ortaya çıkarılmıştır (Scarff ve Westoby 2006; Engber ve Varner 2012). Uzun ve büyük (Schwilk ve Caprio 2011; Engber ve Varner 2012) yaprakların yanı sıra daha ince ve daha açık (Montgomery ve Cheo 1971; Kane ve ark.,

2008) yapraklara sahip olan türlerin oluşturduğu ekosistemlerin yanabilirlikle ilişkilerinin yüksek olduğu farklı çalışmalarla desteklenmiştir. Bu tez çalışmasında, yüksek yaprak kıvrıklığına sahip *Arbutus andrachne*, *Arbutus unedo* ve *Phlomis lycia* türlerinin diğer türlere göre uzun ve büyük yapraklara sahip olmaları bu türlerin yanabilirliklerinin yüksek yanabilirlik kategorisinde değerlendirilmelerine neden olmuştur.

Ölü dalların bitki bünyesinde tutulması, hava / yanıcı madde karışımını etkileyen ince dallanma modelleri ve uçucu yağların varlığı gibi özelliklerin tümü, potansiyel yanabilirliği artırıcı özellikler olarak belirtilmiştir (Rundel 1981; Papio ve Trabaud 1991). Ekologlar, bu tür potansiyel yanabilirlik özelliklerinin, yangın uyarlanmaları olarak yorumlanan diğer özelliklerle ilişkilendirilip ilişkilendirilemeyeceğini merak etmişlerdir.

Yapraklar genellikle bir bitkinin ilk tutuşan parçalarıdır ve çoğunlukla yangın sırasında uç dallarla birlikte yanmaları gerçekleşir (Midgley ve ark., 2011; Murray ve ark., 2013; Belcher, 2016). Çalışılan çalı türlerinin yüksek yanabilirliğinin, bitki boyunun kısa olması, ince dallanma göstermesi ve dallarında yüksek kuru madde içeriğine sahip yaprak dökmeyen yaprakların olması gibi özelliklerin kombinasyonu ile ilişkili olabileceği yapılan çalışmalarda belirtilmiştir. Bu tez çalışmasında elde edilen bulgular, minimum dal sayısına sahip olan türlerin düşük yanabilirlik gösterdiğini ortaya çıkarmıştır. Yangına eğilimli ekosistemlerde yanıcı madde olarak değerlendirilen bitkilerin yaprak morfolojileri gibi yapısal özelliklerinin yanında, dallanma modellerini içeren mimari özellikleri de yanabilirlik kavramını tam olarak açıklayabilmek için literatürde aydınlatılmaya çalışılan konular arasındadır. Bu bahsedilen özelliklerden dallanma mimarisinin yanıcı madde boyutu, sınıfı ve birikiminde değişikliklere yol açarak vejetasyonun yanabilirliğini etkileyebileceği Burger ve Bond (2015)'un çalışmasında bahsedilmiştir. Bu tez çalışmasında, dallanma mimarisi ve yanabilirlik arasındaki ilişki, örneklenen türlerdeki “birim dal uzunluğu başına düşen yan dal sayısı” parametresi hesap edilerek ortaya çıkarılmaya çalışılmış böylece incelenen bitki dallanma indeksi hesaplanarak ortaya konulmaya çalışılmıştır. Elde edilen bulgular, yanabilirlik ve bitki dallanma indeksi arasında negatif bir ilişki olduğunu destekler niteliktedir. İncelenen bitki türleri arasında düşük dallanma indeksi değerine sahip olan 3 farklı bitki türünün (*Asparagus aphyllus*, *Astragalus* sp., *Genista acanthoclada*) yanabilirlik seviyeleri oldukça yüksek çıkmıştır. Yangına eğilimli ekosistemlerde, birçok bitki türü bulundukları ortama uyum sağlamak için daha az dallanan bir yapı gösterir (Pérez-Harguindeguy ve ark., 2013). Bunun yanında yoğun dallanma gösteren bitkilerin yanabilirliği ve yangın

yayılım hızını arttırdığı yönünde çalışmalar bulunmaktadır. Yoğun dallanma gösteren türlerin yüksek yanabilirliğe sahip olması, bu türlerin, bulundukları ekosistemlerde yangın sırasında güçlü bir etkiye sahip olabileceklerini ortaya çıkarmıştır. Küçük yapraklı türlerin daha yoğun, dar ve sık dallara sahip olma eğiliminde olduğu bilinmektedir. Bununla birlikte, bu tarz yapraklara sahip olan türler daha yoğun yanan dar, sık dallara ve yoğun yanıcı maddeye sahip olma eğilimindedir (Westoby ve Wright, 2003; Pickup ve ark., 2005). Çalışmada yoğun dallanma gösteren, yüksek yanabilirliğe sahip 3 türün (*Asparagus aphyllus*, *Astragalus* sp., *Genista acanthoclada*) yapraklarının oldukça küçük ve yoğun olması literatür çalışmalarını destekler niteliktedir.

Bu çalışma, yangına eğilimli ekosistemlerden biri olan Akdeniz vejetasyonunu oluşturan bitki türlerinde, farklı yanıcı madde sınıfları kullanılarak elde edilen kaba / ince yanıcı madde, ölü ince yanıcı madde, ölü / canlı yanıcı madde parametrelerinin yanabilirlik ile ilişkili olduğunu ortaya çıkarmıştır. Biyokütle ölçümlerinde kullanılan farklı yanıcı madde sınıflarının bitki örtüsü özellikleri arasında yanabilirliği etkileyen önemli bir karakter olduğu bilinmektedir (Cornelissen ve ark., 2003). Çalışmada kullanılan karakterlerden; kaba / ince yanıcı madde, ölü ince yanıcı madde, ölü / canlı yanıcı madde parametrelerinin türler üzerinde farklı yanabilirlik derecelerinde değerlendirilebileceğini ortaya çıkarmıştır. Yanabilirliğin önemli bir bileşeni olan tüketilebilirliğin farklı yanabilirlik bileşenleri ve onların oluşturduğu parametre özelliklerine göre belirlendiği bilinmektedir. Döküntüde bulunan ölü dalların yangının sıcaklığını ve ısı salınımını etkilediği Schwik (2003)'in çalışmasında ortaya konmuştur. Tezde değerlendirilen yanıcı madde sınıflarının oluşturduğu kaba / ince yanıcı madde, ölü ince yanıcı madde ve ölü / canlı yanıcı madde parametrelerinin, iki türün (*Asparagus aphyllus* ve *Astragalus* sp.), yüksek yanabilirliğe sahip türler arasında değerlendirilebileceğini ortaya koymuştur. Çalışmada, ölü ince yanıcı madde miktarı ve ölü / canlı yanıcı madde oranının yüksek olduğu *Asparagus aphyllus* ve *Astragalus* sp. taksonlarının yüksek derecede yanabilir özellik gösterdikleri belirlenmiştir. Bu türlerin Schwilk (2003) 'ün yaptığı çalışmada elde ettiği bulgulara göre yangının sıcaklığını ve ısı salınımını etkileyebileceği söylenebilir. Yüksek oranda ölü ince yanıcı madde miktarının yangının yayılmasını teşvik ederek tehlikeyi arttırdığı bilinmektedir (Bond ve Van Wilgen 1996; De Luis ve ark. 2004; Saura-Mas ve ark., 2010). Bu durumda çalışmada incelenen ve ölü ince yanıcı madde miktarı fazla olan 4 türün (*Asparagus aphyllus*, *Astragalus* sp., *Teucrium divaricatum* ve

Origanum onites) herhangi bir yangın anında yangının yayılmasında etkili olabilecekleri söylenebilir.

Baeza ve ark. (2011)'de yaptıkları bir çalışmada, *Cistus* türlerinin yangından sonra hızlı bir şekilde kolonileşme stratejilerinden dolayı, bu türlerin üzerindeki ölü biyokütle oranının yüksek olduğunu, buna karşılık rekabetçi olarak bilinen türlerden *Juniperus oxycedrus* ve *Quercus coccifera*'nın yanıcı madde yatağında düşük miktarda ölü biyokütleye sahip olduklarını göstermiştir. Bu bağlamda, ölü / ince yanıcı madde parametresi toplam biyokütledeki ölü / ince yanıcı madde oranını ortaya çıkarmak için kullanıldığını düşünürsek, *Cistus creticus* ve *Cistus salviifolius* türlerinin ölü / ince yanıcı madde oranlarının yüksek, *Juniperus oxycedrus* ve *Quercus coccifera* türlerinin ise ölü / ince yanıcı madde oranlarının düşük olduğunu söyleyebiliriz. Bu durum, literatürü desteklediği gibi tez çalışmasına dâhil edilen *Cistus* türlerinin ölü / ince yanıcı madde parametresi dikkate alındığında, *Juniperus oxycedrus* ve *Quercus coccifera* türlerinin *Cistus* taksonlarına göre daha yanabilir olduklarını ortaya çıkarmıştır.

Ortaya çıkan sonuçlara göre, biyokütle ölçümlerinde kullanılan kaba / ince yanıcı madde, ölü ince yanıcı madde ve ölü / canlı yanıcı madde ve dallanma mimarisi parametrelerinin belirli türler için ortak yanabilirlik özelliği gösterdikleri söylenebilir. Dallanma mimarisi ve kaba / ince yanıcı madde oranı ile yanabilirlik arasında negatif bir ilişki söz konusuyken, ölü ince yanıcı madde, ölü / canlı yanıcı madde parametreleri arasında pozitif ilişki bulunmaktadır. Bu durum *Arbutus andrachne* ve *Arbutus unedo* türlerinde bu dört parametrenin, yanabilirliği aynı yönde etkilediğini ortaya çıkarmıştır. Böylece, dallanma mimarisinin, yanıcı madde sınıfları üzerinde diğer bitki yanabilirlik karakterlerinden daha fazla etkisinin olduğu görülmektedir. Bunun yanında, çalışma sonucunda incelenen çoğu türün kaba / ince yanıcı madde, ölü ince yanıcı madde ve ölü / canlı yanıcı madde parametreleri temelinde benzer yanabilirlik özellik göstermeleri, Akdeniz havzası türleri bitki karakterlerinin de yanabilirlik olgusu üzerinde oldukça etkili olduğu sonucuna varmamızı sağlamıştır. Bu çalışmadan elde edilen bulgular, en azından tez çalışmasının yürütüldüğü bölgede, bitki topluluğu kompozisyonunda meydana gelen değişikliklerin, ekosistemin yanabilirliğine etki edebileceğini düşündürmektedir.

İncelenen türler arasında, biyokütle örnekleri bakımından her iki durumda (ölü ve canlı) ve çap sınıflarında (ince, kaba malzemeler ve yapraklar) farklılıklar tespit edilmiştir. Akdeniz vejetasyonunda baskın olarak bulunan türler arasında, *Crataegus monogyna*, *Phlomis grandiflora* ve *Spartium junceum*'un yüksek oranda canlı dal ve daha az ölü

biyokütle tutuşu sergilediği görülmektedir. Bu durum bu türlerin daha az yanabilir olabileceği sonucuna varmamızı sağlamaktadır (Baeza ve Santana, 2015). Diğer taraftan; *Origanum onites* türü yüksek derecede ölü biyokütle biriktirme eğilimindedir ve bu da bu türün yüksek derecede yanabilir olmasına neden olabilir. Bitki tutuşabilirliğini arttıran en önemli bitki özelliklerinden birinin ölü dalların tutulması olmasına rağmen (Schwilk ve Ackerly 2001; Keeley ve ark. 2012), bu karakter ve yanabilirlik üzerine olan etkisi ile ilgili bilgiler yetersizdir. Akdeniz tipi ekosistemlerde, daha önce, yangın sonrası yenilenme gösteren bitki türlerinin evriminin, ölü dalların tutulması gibi gelişmiş yanabilirlik karakterleri için doğal seçim teorisiyle örtüştüğü varsayılmıştı (Schwilk ve Ackerly 2001; He ve ark., 2011; Keeley ve ark., 2011, 2012; Pausas ve ark., 2012). Santana ve ark. (2011)'nın yaptıkları çalışmada, ölü biyokütlenin, özellikle sıcaklık şokuyla uyarılan çimlenme gösteren türlerde tutuşmayı arttırdığını, ölü dalları tutan türlerin yanma sırasında toprakta kalma sürelerinin fazla olduğunu ve bu türlerin yangın sırasında yüksek sıcaklıkların ortaya çıkmasına neden olduklarını ortaya çıkarmışlardır. Sıcaklık şokuyla uyarılan çimlenmenin, Anacardiaceae, Apiaceae, Cistaceae, Convolvulaceae, Ericaceae, Fabaceae, Geraniaceae, Hypericaceae, Lamiaceae, Malvaceae, Portulacaceae, Rosaceae ve Rhamnaceae familyalarına ait türlerde rastlandığı literatür çalışmalarında ortaya çıkmıştır (Keeley ve Fotheringham, 2000; Kazancı ve Tavşanoğlu, 2019) ve ısıyla uyarılan çimlenmenin bu türler için karakteristik olduğu belirtilmiştir (Keeley ve Baer-Keeley, 1999). Çalışmada incelediğimiz türlerden toplam 13 tür bu familyalara ait türleri içermektedir. *Astragalus* sp., *Cistus creticus*, *Cistus salviifolius*, *Genista acanthoclada*, *Origanum onites*, *Phlomis lycia* ve *Teucrium divaricatum* türleri sahip oldukları yüksek ölü dal tutma miktarları ile literatürü desteklerken; *Arbutus andrachne*, *Hypericum empetrifolium*, *Phlomis grandiflora*, *Pistacia lentiscus*, *Pistacia terebinthus* ve *Spartium junceum* türlerinin ölü dal tutmaya yönelik bir eğilim göstermedikleri ortaya çıkmıştır. Bu yangın sonrası yenilenme stratejileri ve yanabilirlik özellikleri arasında bir ilişki olduğunu ve yanabilirliği yüksek türlerin bu durumdan fayda sağlayacaklarını düşündürmektedir. Yangın sonrası tohumla yenilenen türler, ölü dalları tutmaya yönelik bir eğilim gösterir (Schwilk 2003; Saura-Mas ve ark., 2010), buna karşılık yangının yokluğunda, yeniden sürgün vererek devamlılıklarını sürdüren türlerin daha düşük ölü biyokütle oranına sahip olmaları beklenmektedir (Keeley ve ark., 2012). Bu tez çalışmasında, yangın sonrası yeniden sürgün vererek hayatta kalan türler arasında bulunan *Juniperus oxycedrus* ve *Quercus coccifera* türlerinin ölü dalları tutma eğilimlerinin oldukça az olduğu görülmüştür.

Bununla birlikte, önceki çalışmalar bazı türlerde yangın sonrası yenilenmenin sadece ısıya maruz kalmaya bağlı olmadığını ortaya koymuştur (Baeza ve Roy 2008; Santana ve ark., 2013; Ooi ve ark., 2014). Yangına eğilimli ortamlarda bitkilerin kendi kendilerini korumak için farklı yollar geliştirebildikleri öne sürülmüştür. Örneğin, bir bitkinin üzerinde ölü biyokütleyi tutması hızlı yanmasına ve toprağın az ısınmasına neden olur ve böylece topraktaki tohum bankasının hayatta kalma olasılığı artar (Gagnon ve ark., 2010). Çalışmada tür üzerinde bulunan ölü biyokütleyi yüksek miktarda tutan türler arasında bulunan *Asparagus aphyllus*, *Euphorbia characias*, *Origanum onites*, *Phlomis lycia* ve *Teucrium divaricatum* türlerinin herhangi bir yangın durumunda daha hızlı yanacakları ve böylece toprağın ısınmasının önüne geçebilecekleri söylenebilir. Daha net bir ifadeyle, bazı türlerin neden diğerlerinden fazla ölü biyokütle biriktirdiğinin olası biyolojik önemi konusunda hala birçok belirsizlik olduğunu söyleyebiliriz.

Bu çalışma, çalışılan türlerden ölü dal tutma kapasitesi yüksek olan türlerin diğer yanabilirlik parametrelerinden ölü/ ince yanıcı madde, ölü / canlı yanıcı madde ve dallanma mimarisi arasında pozitif ilişki olduğunu ve bu parametrelerin, türlerin yanabilirliğini aynı ölçüde etkilediğini ortaya koymaktadır. Diğer yanabilirlik parametreleri arasında ise tür bazında değişiklikler göstermektedir. Yangın ile ilişkileri incelenen bitki türlerinin biyokütle ölçümlerinin türler arasında nasıl değiştiği ve bu karakterin diğer ölçümü yapılan yanabilirlik karakterleri ile ilişkisinin ortaya çıkarılması, önceden yapılan birçok çalışmayı desteklemesi ve mevcut yazına önemli katkı sağlaması bakımından oldukça önemlidir. Bitki topluluklarını oluşturan baskın türlerin, yanabilirlik ve yanıcı madde özelliklerine ilişkin bilgiler, özellikle son zamanlarda gerçekleşen, orman yangınlarının sıklığının, kapsamının ve yoğunluğunun arttığı Akdeniz Havzası gibi bölgelerde yangının önlenmesi ve yönetimi noktasında büyük önem taşımaktadır.

3. YANABİLİRLİK KARAKTERLERİNİN YANGIN REJİMLERİNE BAĞLI OLARAK DEĞİŞİMİN İNCELENMESİ

3.1. Giriş

Yangın, bitki topluluğunun kompozisyonunu ve yapısını yönlendiren en önemli süreçlerden birisidir. Yangın rejimleri ise büyük ölçüde iklim, bitki örtüsü ve yanabilirliği etkileyen bitki karakterleri tarafından yönetilir (Engber ve Varner, 2012). Yangın rejimini oluşturan en önemli bileşenler; yanıcı madde tüketimi, yangın yayılma modelleri, yangının yoğunluğu, şiddeti, sıklığı ve mevsimsellik olarak bilinmektedir (Bond ve Keeley, 2005). Makro iklim, özellikle sıcaklık ve yağış gibi faktörlerin mevsimselliği, farklı biyomlardaki yangın rejimini güçlü bir şekilde etkilemektedir (Tavşanoğlu, 2017). Düşük nem, yüksek sıcaklık ve rüzgarlar yangın oluşumunu ve yayılmasını artırmaktadır (Flannigan ve ark., 2000). Bununla birlikte, belirli bir yerdeki yangın rejimi yalnızca iklime ve havaya değil, aynı zamanda yanıcı madde özellikleri ve insan faaliyetleri dahil ateşleme kaynaklarına da bağlıdır (Cornwell ve ark., 2015).

Yangın rejimleri, özellikle iklim ve insan faaliyetlerindeki değişikliklere bağlı olarak tarih boyunca değişmiştir (Marlon ve ark., 2008; Pausas and Keeley, 2009). Tarih öncesi zamanlardan beri insanlar yanıcı madde miktarını, sürekliliğini ve dolayısıyla yangın rejimlerini değiştirerek vejetasyonun farklılaşmasına neden olmaktadır. Toplumlarda gerçekleşen değişiklikler ve bu toplumları oluşturan insanların arazi kullanım stratejileri tarih boyunca yangın rejimlerinin değişmesine neden olmuştur (Delcourt ve Delcourt, 1997; Guyette ve ark., 2002; Keeley, 2002; Pausas, 2004; Pausas ve Keeley, 2009). 20. yüzyılın ortalarından bu yana yağışların azalması, artan ortalama sıcaklıklar ve sıcak dalgası sıklığı (Founda ve ark., 2019), birçok güney Avrupa ülkesindeki büyük sosyoekonomik değişikliklerin eşlik ettiği, çalılıkların ve geçiş ormanlarının yoğunlaşmasına, ağaçlandırmaya, biyokütle artışına yol açmıştır ve bu durum insan kaynaklı yangınların artmasına ve yangın rejimlerinin değişmesine neden olmaktadır (Moreira ve ark., 2011; Pausas ve Fernández-Muñoz, 2012). Buna ek olarak, yangını baskılamaya yönelik faaliyetler de, iklim değişikliği etkisi altında felaket seviyesinde büyük yangınların ortaya çıkmasına yol açmaktadır (Moreira ve ark., 2020). Bu nedenle, insanın neden olduğu yanıcı madde miktarı ve türündeki değişiklikler yangın rejimlerinin değişmesi için en önemli itici güçlerden biri olarak kabul edilmektedir. Bununla birlikte,

bitki örtüsünün yanabilirliği yanıcı maddenin sahip olduğu neme (yanıcı madde tutuşabilirliği) karşı çok hassastır ve bu nedenle yanıcı madde miktarının sınırlayıcı bir faktör olmadığı bölgelerde orman yangınları büyük ölçüde iklim parametrelerine ve hava koşullarına (kuraklık) bağlıdır. Bu durum, orman yangınları ve küresel ısınma arasında doğrudan bağlantı olduğunu kanıtlar niteliktedir. Dünyanın çoğu bölgesinde olduğu gibi Akdeniz Havzasında da sıcaklıkların yükselmesinden (Piñol ve ark., 1998; Esteban-Parra ve ark., 2003; Pausas 2004) kaynaklı iklim değişikliğine dair kanıtlar bulunmakta ve bu durum doğrudan yangın rejimlerini etkilemektedir (Piñol ve ark., 1998; Pausas, 2004).

Yangının bitki örtüsü üzerinde güçlü bir etkisi bulunmaktadır. Birçok ekosistemde küresel ısınma nedeniyle yangın rejimlerindeki değişiklikler, tesir ettikleri vejetasyonda bulunan bitki tür dağılımını ve ekosistem işlevini küresel ısınmanın doğrudan etkisinden daha fazla etkileyebilir. Bununla birlikte, yanıcı madde türü ve iklimin mevcut yangın rejimleri üzerindeki göreceli rolü hala tartışılmaktadır (Keeley ve Zedler, 2009). Hem insan etkisiyle hem de iklimde gerçekleşen değişiklikler, bu iki itici gücün yangın rejimleri üzerinde birlikte etkili olmasına neden olmaktadır. Bitki örtüsünde meydana gelen değişimler bitki topluluklarının yanabilirliğini değiştirebilmektedir ve bu ekosistem süreçleri hakkında geri bildirim sağlayan yangın rejimi değişikliklerine (yangının şekli, sıklığı ve yoğunluğu) neden olmaktadır (Michelaki ve ark., 2020).

Akdeniz iklim bölgelerinde doğal bitki örtüsünün yapısını ve fonksiyonel özelliklerini belirlemede yangın baskın bir rol oynamaktadır. Bu alanlarda yangının etkili olduğu vejetasyonlara, kurakçıl çalılık alanları ve ağaçlık vejetasyon tiplerinden olan Kaliforniya'nın chaparral (Sweeney 1957; Hanes 1971) ve Akdeniz Havzasında çalılıkların oluşturduğu vejetasyonlar örnek olarak verilebilir (Naveh ve Whittaker 1979; Trabaud ve Lepart 1980; Keeley ve ark., 2012). Chaparral ekosistemlerinde, yangın her 20 ila 100 yılda bir tekrarlanır. Yangının yayılması, alansal sürekliliği olan çalı vejetasyonu, yüksek oranda ince yanıcı madde bulunması, yanıcı madde nem içeriğinin düşük olması ve uzun yaz kuraklık dönemi ile teşvik edilir. Orman yangınları tipik olarak son derece sıcak ve etkili bir şekilde gerçekleşir, en büyük ağaç gövdeleri dışında toprak üstünde yer alan hemen her şeyi yok eder. Chaparral vejetasyonunu oluşturan bitkiler, yeniden sürgün vererek ve yangına dayanıklı tohumları sayesinde, yangından sonra hızla yenilenirler (Horton ve Kraebel, 1955). Tek yıllık bitki türleri, yandıktan sonraki ilk iki yıl boyunca bitki örtüsü üzerinde hakimiyet gösterirler. Alt çalılar ve çok yıllık bitkiler yangından 3 ila 7 yıl sonra vejetasyon üzerinde maksimum kapatma gerçekleştirirken,

çalılıkların vejetasyona hakim olması akabindeki 5 ila 10 yılda gerçekleşir (Hanes, 1971). Vejetasyonu oluşturan topluluklar yaşlandıkça, yüzeyde biriken ölü ince yanıcı madde tabakası artar ve bu yanabilirliği arttırıcı bir özellik olarak karşımıza çıkar. Akdeniz çalılıklarında yer değiştiren yangınlar, vejetasyonda aynı yaşta ağaçlardan oluşan çeşitli iyileşme aşamalarında mozaik bir peyzaj oluşturmaya neden olur (Minnich, 1983; Tavşanoğlu ve Gürkan, 2014). Teorik olarak, bu yangın mozaiklerinin mekansal özellikleri, yangının oluşma sıklığı ve zamanlaması, yangın tipi, yangın şiddeti, yangın yönetimi, yangın sonrası bitki örtüsünün geri kazanımı ve arazi kullanım şekilleri gibi bölgesel yangın rejiminin diğer unsurlarıyla yakından ilişkilidir (Parsons, 1976; Minnich 1983; Bahar, 2018). Yangının seyrek olarak gerçekleştiği ve aktif olarak yangın önlemesinin yapıldığı alanlarda, yanıcı madde birikimi seyrek ve geniş alanlara yayılırken bu durum vejetasyonun şiddetli yanmasına neden olur (Christensen, 1994). Bu nedenle, yangın rejimindeki değişiklikleri ve bunların iklim ile olan ilişkilerini anlamak, gelecekteki Akdeniz bitki örtüsü senaryolarını tahmin etmede oldukça önemlidir (Pausas, 1999a).

Yangının meydana geldiği Akdeniz tipi ekosistemlerde bulunan birçok bitki türü diğer bitki türlerinden farklı yanabilirlik özelliklerine sahiptir. Bu bitkiler; farklı yangın rejimleri altında, yangın sonrası hayatta kalma veya kendini yenileme noktasında değişik uyarlanmalar göstermektedir (Neyişçi, 1996; Paula ve ark., 2009; Tavşanoğlu ve Gürkan, 2014; Pausas, 2015). Yapılan çalışmalar; lokal floranın yenilenme stratejilerinin Akdeniz bitki komünitelerinin kompozisyonunun şekillenmesinde ve biyoçeşitliliğinde önemli rol oynadığını ortaya koymuştur (Kazanis ve Arianoutsou, 2004; Coca ve Pausas 2009; Tavşanoğlu ve Gürkan, 2014). Her ne kadar yanabilirliğin bitkilerin yangınla ilişkili bir karakter olduğu ve yangına eğilimli ekosistemlerde bitkilerin daha yanıcı olmak üzere evrim geçirdiği uzun yıllar önce ileri sürüldüyse de bu hipotez on yıllar boyunca göz ardı edilmiş ve bitkilerin yanıcılığının yangın rejimleri tarafından şekillendirilebileceği düşüncesinin kanıtlanabilirliği sorgulanmıştır (Troumbis ve Trabaud 1989). Türler sadece yanabilirlik açısından değil, aynı zamanda yanıcı madde sürekliliği ve toplam yanıcı madde yüküne katkıları açısından da farklılık göstermektedir (Sarkos ve ark., 1982; Bradstock ve ark., 1992). Bu nedenle yangın rejimleri, bitki örtüsünün floristik bileşimi tarafından büyük ölçüde değiştirilmektedir (D'Antonio ve Vitousek 1992; Brooks ve ark., 2004). Bir türün desteklediği yangın rejimi, türü en çok destekleyen rejimden farklıysa, popülasyonun toplam yanıcı maddelere katkısını ve dolayısıyla yerel yangın rejimleri

üzerindeki etkisini azaltacak olumsuz bir geri bildirim süreci beklenebilir. Tersine, bir türün yanabilirliğinin optimum yangın rejimi ile karşılaştığı durumlarda, popülasyon artışı ve yangın rejimi arasında olumlu bir geri bildirim beklenebilir (Bond ve Midgely 1995; Schwilk ve Kerr 2002; Scarff, 2006).

Bu çalışmanın amacı, Türkiye’de Akdeniz ekosisteminde bulunan Kızılçam (*Pinus brutia*) orman altı florasını oluşturan baskın maki türlerinin yanabilirliklerinin popülasyon ve komünite düzeyinde araştırılması ve bu türlerin yanabilirlik karakterlerinin farklı yangın rejimleri altında nasıl değiştiğinin ortaya çıkarılmasıdır. Bu amaçla, Muğla-Milas ve Antalya-Kaş bölgesinde bulunan, 12 alçak ve 12 yüksek rakıma sahip toplam 24 doğal Kızılçam ormanında yer alan baskın bitki türlerinin yanabilirlik karakterleri incelenmiştir (Tablo 3.1). Yangın rejimlerinin, yanabilirlik karakterleri üzerindeki etkisinin anlaşılabilmesi amacıyla, farklı yangın rejimine sahip Kızılçam orman alanları projeye dâhil edilmiştir. Yanabilirliğin ekolojik ve evrimsel önemi hakkındaki teorik argümanlar zaman zaman literatürde nadiren yer alsa da (Bond ve Midgley, 1995), yanabilirlik özelliklerinin yangın rejimleriyle değiştiğine ilişkin kanıtlar ancak yakın zamanda ortaya çıkmıştır (Saura-Mas ve ark., 2010; Pausas ve ark., 2012). Bitkilerdeki yanabilirliğin gelişen biyolojik bir karakter olduğu da ortaya konmuştur (Pausas ve Moreira, 2012). Literatürde, yanabilirliğin ekolojik önemi ve yangın rejimlerinin bitkilerin yanabilirliğini nasıl şekillendirdiği konusunda hala birçok boşluk bulunmaktadır. Yanabilirliğin, topluluktaki yangın rejiminden, tür düzeyinden, özellikle de Akdeniz Havzasının farklı bitki örtüsündeki yangın rejimlerinden nasıl etkilendiği tam olarak bilinmemektedir.

Çalışmanın bu bölümünde; Güneybatı Türkiye’de (Milas ve Kaş) Akdeniz odunsu türlerinde yanabilirlik karakterlerinin farklı alanlardaki bitki popülasyonları ve komüniteleri arasında değişkenlik gösterip göstermediğinin belirlenmesi, yangın rejimlerinin, bitkilerin yanabilirlik karakterlerindeki değişkenliği ne ölçüde açıkladığının ortaya çıkarılması amaçlanmıştır. Bu sayede, bitkilerin yanabilirlik karakterlerinin Türkiye’de Akdeniz ekosistemlerinde bulunan ve farklı yangın rejimlerine sahip Kızılçam ormanlarında bir değişkenlik gösterip göstermediğinin belirlenmesi hedeflenmektedir. Bu hedefe ulaşabilmek için, çalışma alanlarında yer alan 26 bitki türünün yanabilirlik ile ilgili dokuz karakteri konusunda bir önceki bölümde yapılan arazide ölçümleri ve laboratuvar ölçümleri kullanılmış, yanabilirlik karakterlerinin farklı alanlardaki bitki komüniteleri ve türleri arasında farklılık gösterip göstermediği tespit

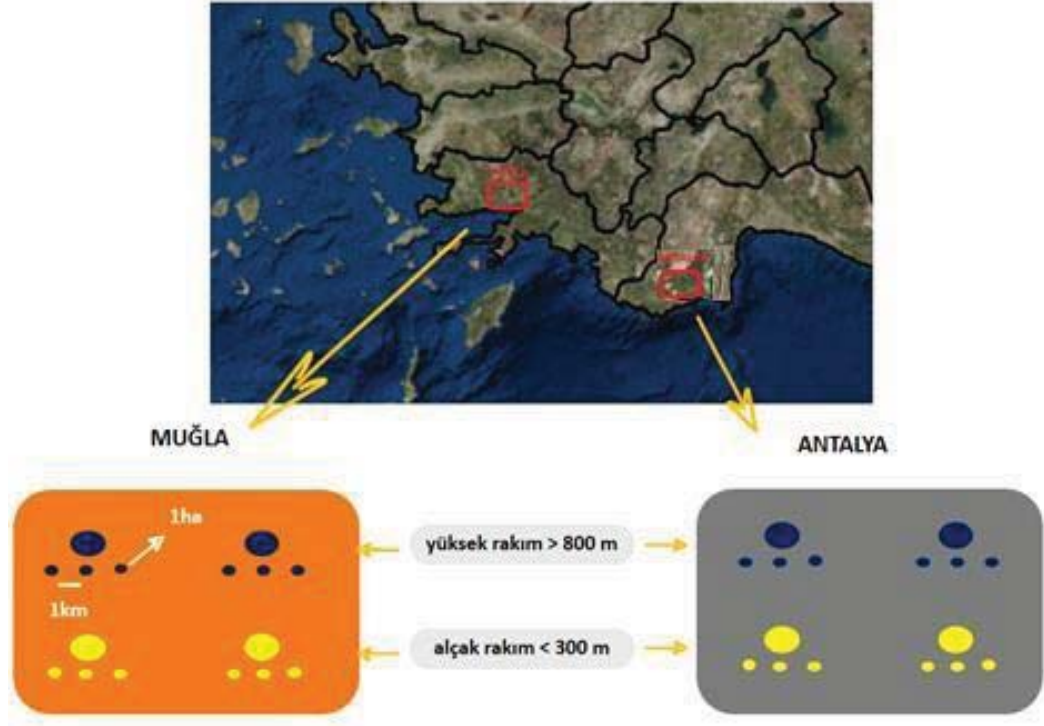
edilmiştir. Çalışma sonucunda, farklı yangın rejimlerinin bitkilerin yanabilirlik karakterlerindeki değişkenliği ne ölçüde açıkladığı da ortaya konmuştur.

Bu çalışma, yangınla ilişkili bitki karakterleri arasında yer alan yanıcılığın yangın rejimleri ile nasıl şekillendiğini Akdeniz Havzasında ortaya koyan ilk birkaç çalışmadan birisidir. Daha çok tür düzeyinde incelenmiş olan yanabilirlik karakterlerinin komünite düzeyindeki değişkenliği Akdeniz Havzası türlerinde daha önce kapsamlı bir şekilde test edilmemiş bir konudur. Tezin ana çalışma alanını oluşturan Kızılçam (*Pinus brutia*) ormanlarında ise yanabilirlik karakterlerindeki değişkenlik ve bunun yangın rejimleri ile olan ilişkisi daha önce hiç çalışılmamıştır. Bu bağlamda, çalışmadan elde edilmiş olan bulguların, gerek Akdeniz Havzası gerekse dünya yangın ekolojisi literatürüne katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Ayrıca, bu çalışmanın sonuçları, Türkiye’de yangınla ilişkili olarak daha çok rejenerasyonu incelenmiş olan Kızılçam ormanlarında yer alan bitkilerin yanabilirlik karakterlerinin önemini ortaya koyması bakımından da önemlidir ve gelecekte ülkemizde bu konuda yapılacak başka çalışmaları da yönlendireceği düşünülmektedir.

3.2. Yöntem

3.2.1. Araştırma Alanı

Çalışmanın bu bölümü, Anadolu'nun en sık yangın görülen iki kenti olan Muğla ve Antalya sınırları içerisinde yer alan Kızılçam (*Pinus brutia*) ormanlarında yürütülmüştür. Proje çalışmasının yürütülmesi için bu iki ilin yer aldığı güneybatı Anadolu yöresinde iki çalışma bölgesi (Muğla-Milas ve Antalya-Kaş) seçilmiştir.



Şekil 3.1. Güneybatı Anadolu'da bulunan Muğla ve Antalya ilinde bulunan çalışma alanlarının haritada gösterimi.

Her bir çalışma bölgesi, kendi içerisinde ve yangınların daha nadir gerçekleştiği iki adet yüksek rakıma sahip (> 800 m) ve yangınların daha sık gerçekleştiği iki adet alçak rakıma (< 300 m) sahip Kızılçam orman alanı içermektedir. Her bir alan içerisinde ise üç adet 1 ha büyüklüğünde çalışma parseli seçilmiştir. Çalışmada gerçekleştirilen tüm çalışmalar bu çalışma parselleri içinde yapılmıştır (Şekil 3.1).

3.2.2. Tür Seçimi ve Örneklem

Bu bölüm kapsamında, arazi çalışmaları gerçekleştirilmiş ve Milas ve Kaş yöresinde yer alan 24 Kızılçam ormanında sayım, ölçüm ve örneklemeler yapılmıştır. Arazi çalışmaları sırasında, her bir örneklem alanında dominant durumda bulunan 5 bitki türüne ait 3'er birey üzerinde ölçümler gerçekleştirilmiş ve örnekler alınmıştır. Bu türler, alandan alana değişmekle birlikte, bazı türlerin hemen hemen tüm örneklem alanlarında baskın durumda oldukları, bazı türlerin ise sadece belli alanlarda bulundukları gözlemlenmiştir (Tablo 3.1).

Çalışmanın ikinci bölümünde ölçümleri gerçekleştirilen yanabilirlik karakterlerinden; yaprak kıvrıklığı, dallanma mimarisi, yaprak nem içeriği, yaprak kuru madde miktarı, özgül yaprak alanı, yaprak kalınlığı ve kaba / ince yanıcı madde, ölü ince yanıcı madde, ölü / canlı yanıcı madde parametreleri bu bölüm kapsamında incelenen yanabilirlik karakterleridir. Bu karakterler, bitkilerin yanabilirliğini bitki vejetatif üzerinden tahmin etmeye yönelik olarak incelenmesi gereken en önemli karakterler arasında yer almaktadır. Tüm bu ölçüm ve sayımlar sonucunda elde edilen değerler, farklı yangın rejimleri altında bulunan popülasyon ve komünitelerin yanabilirlik değerlerinin değişip değişmediği konusundaki hipotezin sınanmasında kullanılmıştır.

3.2.3. İstatistiksel Analizler

Çalışmada elde edilen verilerin analizinde genel doğrusal karma modeller kullanılmıştır. Karma modeller kullanılırken, yangın rejimi ve çalışma bölgesi sabit faktörler olarak ele alınmış, çalışma alanı ve çalışma parseli ise rassal faktörler olarak değerlendirilmiştir. Verilerin analizinde karma model kullanılması sayesinde, incelenen bitki karakterlerindeki olası alansal örüntüler sonuçlara etki edeceğinden, bulunacak bir istatistiksel ilişkinin daha yüksek bir güce ve güvenilirliğe sahip olması sağlanmıştır. Genel doğrusal karma model analizleri *lme4* paketi (Bates ve ark., 2016) kullanılarak R istatistik programında gerçekleştirilmiştir (R Core Team, 2020).

Tablo 3.1. Örneklenen Kızılçam ormanlarının konumsal özellikleri. “HiFi” ve “LoFi”, sırasıyla, yüksek ve düşük sıklıkta yangınların görüldüğü alanları, popülasyon” her bir yangın rejimi alanındaki iki farklı tekrarı, “örnekleme alanları” örneklenen her bir Kızılçam ormanını temsil etmektedir.

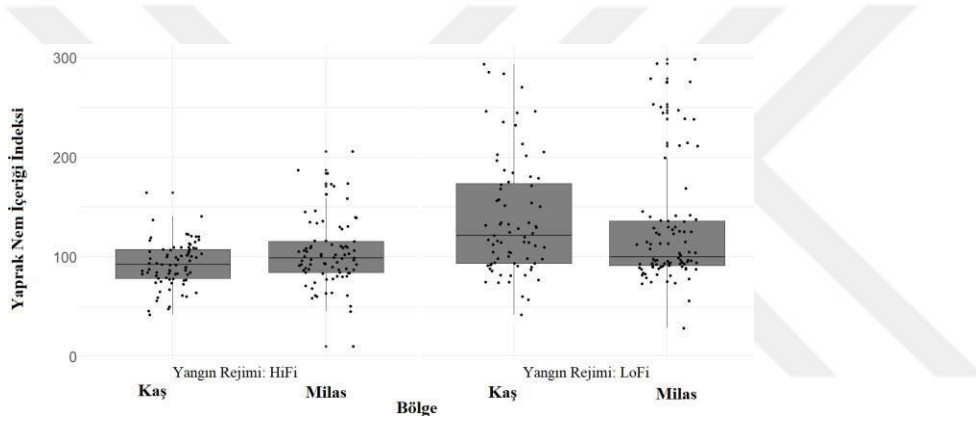
Alan No	Bölge	Yangın Rejimi	Popülasyon	Örnekleme Alanları	Enlem (K)	Boylam (D)	Rakım (m)	Örneklenen Türler
1	Muğla	HiFi	A	Alan1	37.05535	27.99136	81	ccr, csa, lno, mco, pla, ple, qco
2	Muğla	HiFi	A	Alan2	37.07243	27.99677	147	ccr, csa, gac, hem, pla, ple, qco
3	Muğla	HiFi	A	Alan3	37.06455	28.02579	230	aan, aun, ccr, csa, gac, mco, pla, ple, qco, sju
4	Muğla	HiFi	B	Alan1	37.04076	28.23967	67	aan, csa, pla, ple, pte, qco
5	Muğla	HiFi	B	Alan2	37.04374	28.21943	74	aap, ast, gac, ple, pte, qco, tdi, dgn
6	Muğla	HiFi	B	Alan3	37.05831	28.30318	104	ast, ccr, oeu, oon, pla, ple, qco, sof, dgn
7	Muğla	LoFi	A	Alan1	37.15569	28.07803	1185	ast, ech, jox, pgr, pla, pte, qco, sof, dgn
8	Muğla	LoFi	A	Alan2	37.15638	28.09526	1094	ech, jox, pgr, pla, pte, qco, dgn
9	Muğla	LoFi	A	Alan3	37.15266	28.11208	1013	gac, jox, pla, pte, qce, qco, dgn
10	Muğla	LoFi	B	Alan1	37.10708	28.10008	1145	ech, jox, pgr, pla, pte, qco, sof
11	Muğla	LoFi	B	Alan2	37.09690	28.08675	1069	ccr, cmo, ech, jox, pte, qco, sof
12	Muğla	LoFi	B	Alan3	37.10493	28.09642	1130	ech, jox, pgr, qco, sof, dgn
13	Kaş	HiFi	A	Alan1	36.28242	29.38635	82	ccr, csa, pla, ple, qco
14	Kaş	HiFi	A	Alan2	36.28289	29.39451	112	gac, csa, pla, ple, qco
15	Kaş	HiFi	A	Alan3	36.28181	29.40408	222	gac, csa, pla, ple, qco
16	Kaş	HiFi	B	Alan1	36.33296	29.20817	103	aan, csa, pla, ple, qco
17	Kaş	HiFi	B	Alan2	36.34009	29.20030	151	ast, ple, pte, qco, dgn
18	Kaş	HiFi	B	Alan3	36.33389	29.23109	13	pla, ast, ple, qco, dgn
19	Kaş	LoFi	A	Alan1	36.36845	29.49248	972	ast, pgr, qco, sof, dgn
20	Kaş	LoFi	A	Alan2	36.36083	29.48463	1121	ech, jox, pgr, qco, dgn
21	Kaş	LoFi	A	Alan3	36.35047	29.47456	1156	gac, jox, pla, qco, dgn
22	Kaş	LoFi	B	Alan1	36.40932	29.70858	1046	pgr, pte, qco, sof
23	Kaş	LoFi	B	Alan2	36.40651	29.69628	1028	ech, pte, qco, sof
24	Kaş	LoFi	B	Alan3	36.41375	29.71584	1097	jox, pgr, qco, sof

3.3. Bulgular

Çalışma alanlarında baskın olarak bulunan toplam 26 bitki türü tespit edilmiştir ve bu türlere ilişkin yanabilirlik karakter verileri çalışmanın ikinci bölümünde elde edilen veriler kullanılarak farklı yangın rejimleri altında yanabilirlik karakterlerinin popülasyon ve komünite düzeyinde analizleri gerçekleştirilmiştir.

1.1.1. Yaprak nem içeriği

Farklı yangın rejimine sahip alanlarda yer alan bitki komünitelerinin yaprak nem içeriği indeks değerleri bakımından istatistiksel olarak farklılık gösterdiği tespit edilmiştir (Tablo 3.2, Tablo 3.3). Bu farklılığın, daha az yangının görüldüğü yerlerde nem içeriğinin daha yüksek değerler almasından kaynaklandığı görülmüştür (Şekil 3.2).



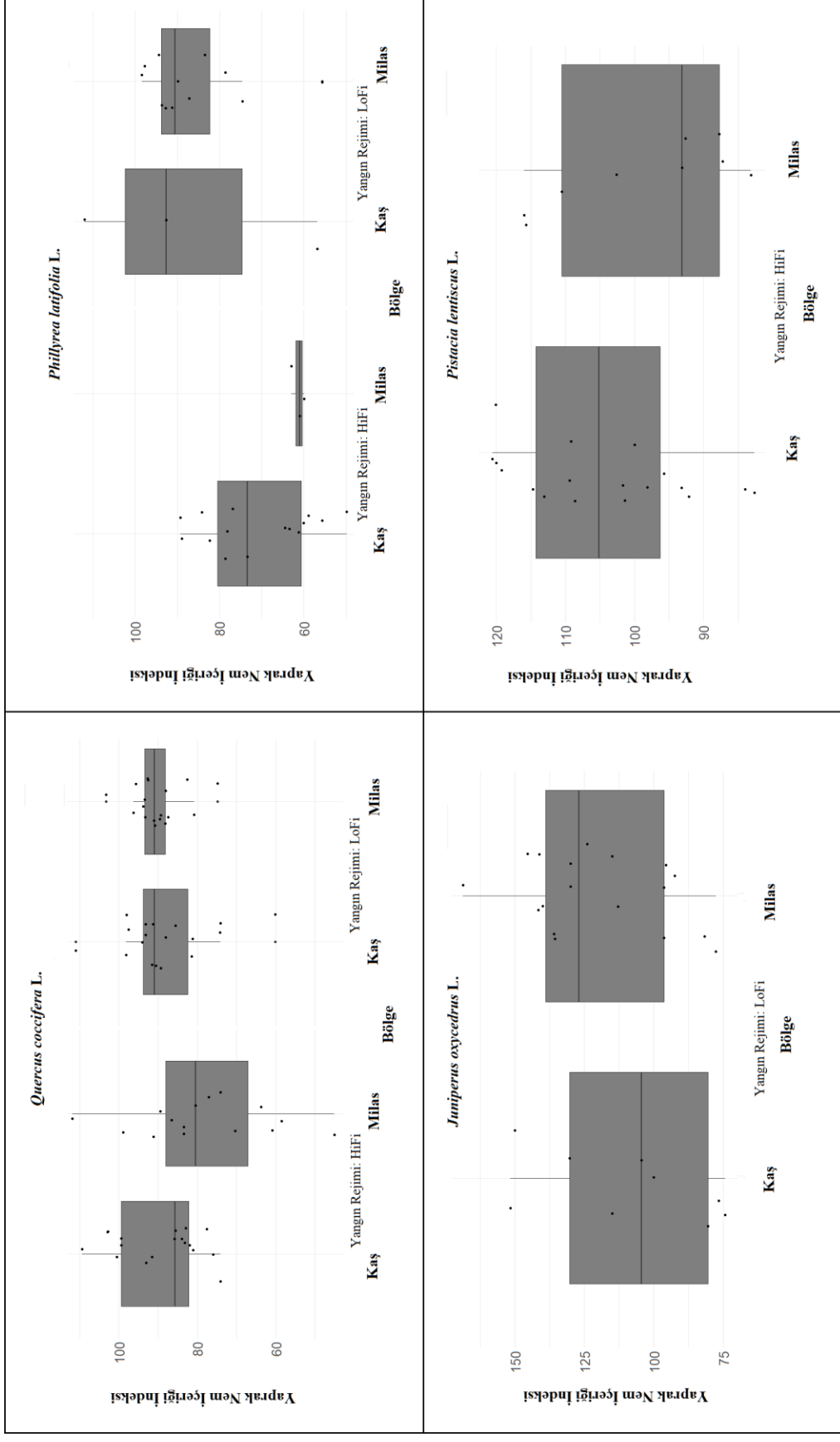
Şekil 3.2. Yaprak nem içeriği değerlerinin farklı yangın rejimi ve çalışma alanlarındaki bitki komünitelerindeki durumu.

Tablo 3.2. Komünite seviyesindeki yaprak nem içeriği indeksi verisinin çalışma bölgesi ve yangın rejimi için oluşturulan genel doğrusal karma modelinin özeti. Model analizleri, sadece rassal faktörü (alt alan) içeren bir boş model ile hem rassal hem de sabit faktörü (bölge ya da yangın rejimi) içeren modelin arasındaki farkı test etmektedir. AIC is Akaike Ölçütünü, logLik is log-olabilirlik değerini, L. oranı, olabilirlik oranını, d.f. ise serbestlik derecesini ifade etmektedir. İstatistiksel olarak anlamlı ($P < 0,05$) olasılık değerleri koyu olarak verilmiştir

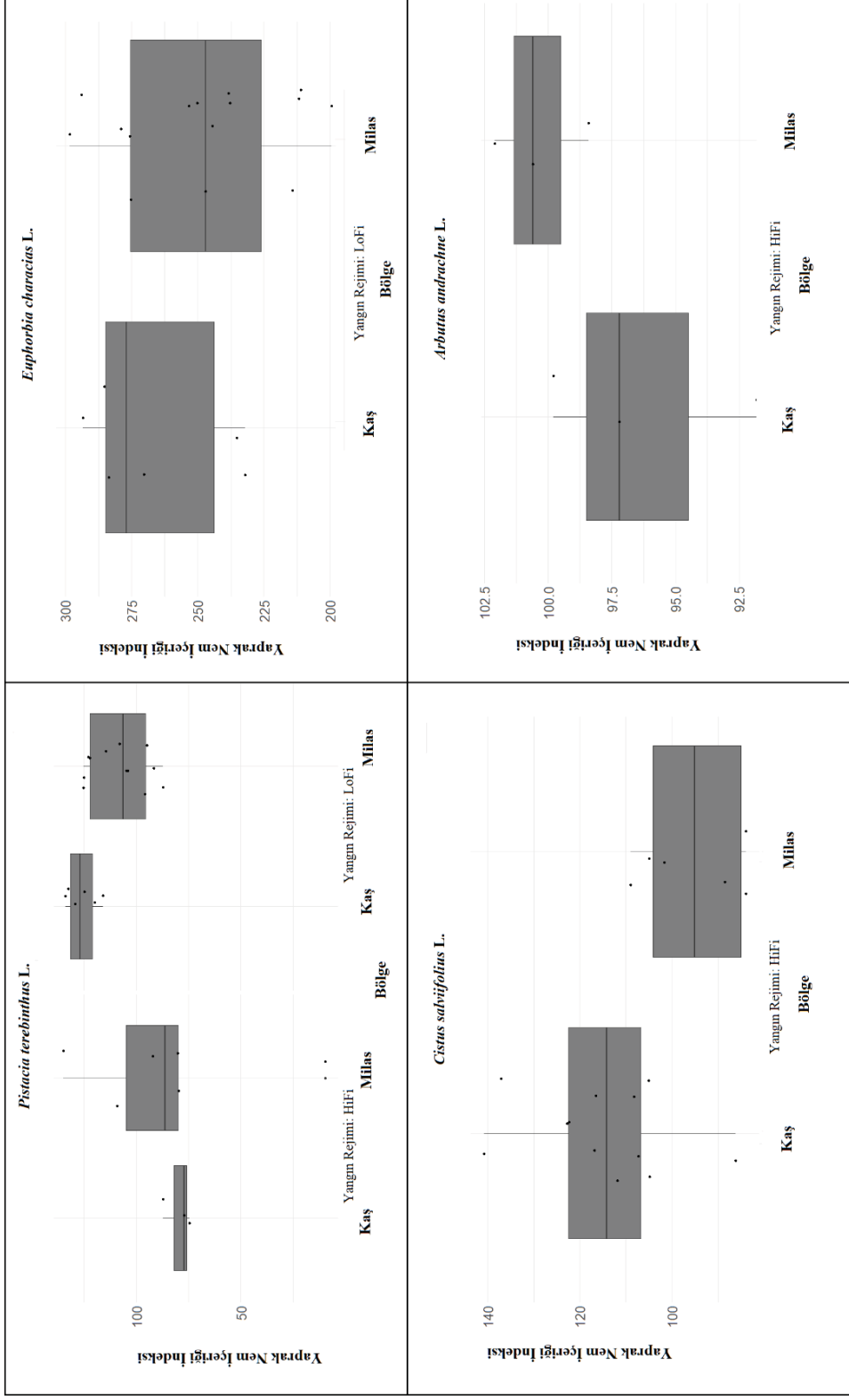
Model	AIC	logLik	L. oranı	d.f.	P
Boş	1393,3	-693,7			
+ Bölge	1395,3	-693,7	0,0	4	0,996
+ Yangın Rejimi	1383,5	-687,7	11,8	4	0,000
+ B*YR	1383,3	-685,6	16,1	6	0,001

Tablo 3.3. Popülasyon seviyesindeki yaprak nem içeriği indeks verisinin çalışma bölgesi ve yangın rejimi için oluşturulan genel doğrusal karma modelinin özeti. Sonuçlar, yalnızca çalışma alanlarında yaygın olarak bulunan altı tür için sunulmuştur. Model analizleri, sadece rassal faktörü (alt alan) içeren bir boş model ile hem rassal hem de sabit faktörü (bölge ya da yangın rejimi) içeren modelin arasındaki farkı test etmektedir. AIC is Akaike Ölçütünü, logLik is log-olabilirlik değerini, L. oranı, olabilirlik oranını, d.f. ise serbestlik derecesini ifade etmektedir. İstatistiksel olarak anlamlı ($P < 0,05$) olasılık değerleri koyu olarak verilmiştir.

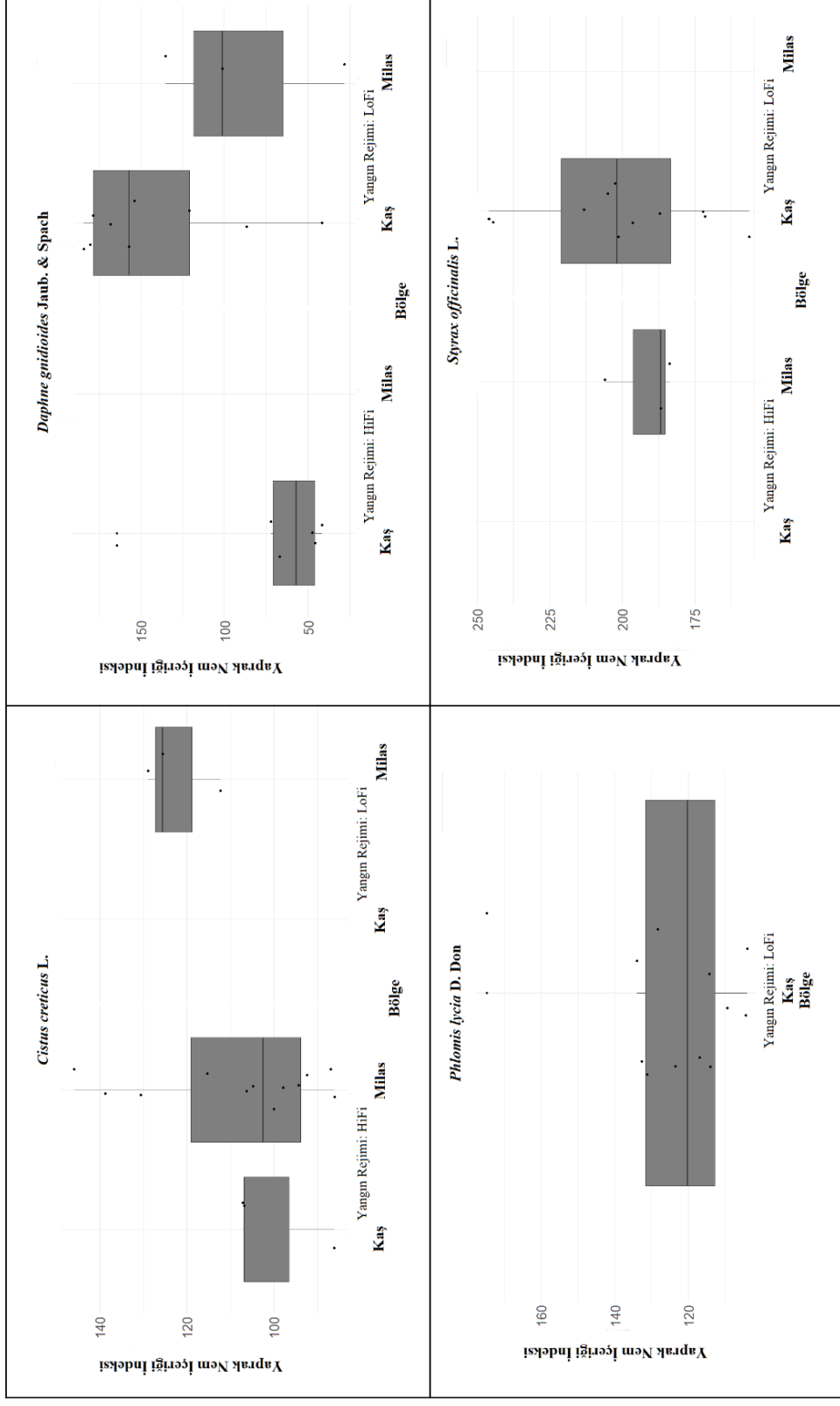
Model	AIC	logLik	L. oranı	d.f.	P	Model	AIC	logLik	L. oranı	d.f.	P
<i>Quercus coccifera</i>											
Boş	149,3	-71,7				<i>Daphne gnidioides</i>	90,1	-42,1			
+ Bölge	149,2	-70,6	2,1	4	0,146	+ Bölge	92,0	-42,0	0,1	4	0,671
+ Yangın Rejimi	148,2	-70,1	3,1	4	0,079	+ Yangın Rejimi	85,2	-38,6	7,0	4	0,008
+ B*YR	143,9	-66,0	11,4	6	0,009						
<i>Phillyrea latifolia</i>											
Boş	91,3	-42,7				<i>Cistus salvifolius</i>	45,5	-19,7			
+ Bölge	88,5	-40,3	4,8	4	0,029	+ Bölge	42,0	-17,0	5,6	4	0,019
+ Yangın Rejimi	87,8	-37,0	11,5	4	0,000						
+ B*YR	94,0	-36,5	12,3	6	0,006	<i>Cistus creticus</i>					
<i>Juniperus oxycedrus</i>											
Boş	94,2	-44,1				+ Bölge	50,8	-22,4			
+ Bölge	95,0	-43,5	1,1	4	0,285	+ Yangın Rejimi	51,8	-22,0	1,0	4	0,328
							50,6	-21,3	2,2	4	0,139
<i>Pistacia lentiscus</i>											
Boş	55,8	-24,9				<i>Arbutus andrachne</i>	1,6	2,2			
+ Bölge	56,3	-24,2	1,5	4	0,228	+ Yangın Rejimi	0,7	3,6	2,9	4	0,090
<i>Pistacia terebinthus</i>											
Boş	109,3	-51,7				<i>Euphorbia characias</i>	63,0	-28,3			
+ Bölge	110,5	-51,2	0,8	4	0,355	+ Bölge	63,3	-27,6	1,2	4	0,267
+ Yangın Rejimi	102,6	-47,3	8,8	4	0,003						
+ B*YR	105,0	-46,5	10,3	6	0,016						



Şekil 3.3. *Quercus coccifera*, *Phillyrea latifolia*, *Juniperus oxycedrus* ve *Pistacia lentiscus* türleri nem içeriği indeks değerlerinin çalışma bölgesi ve yangın rejimlerine göre değişimi.



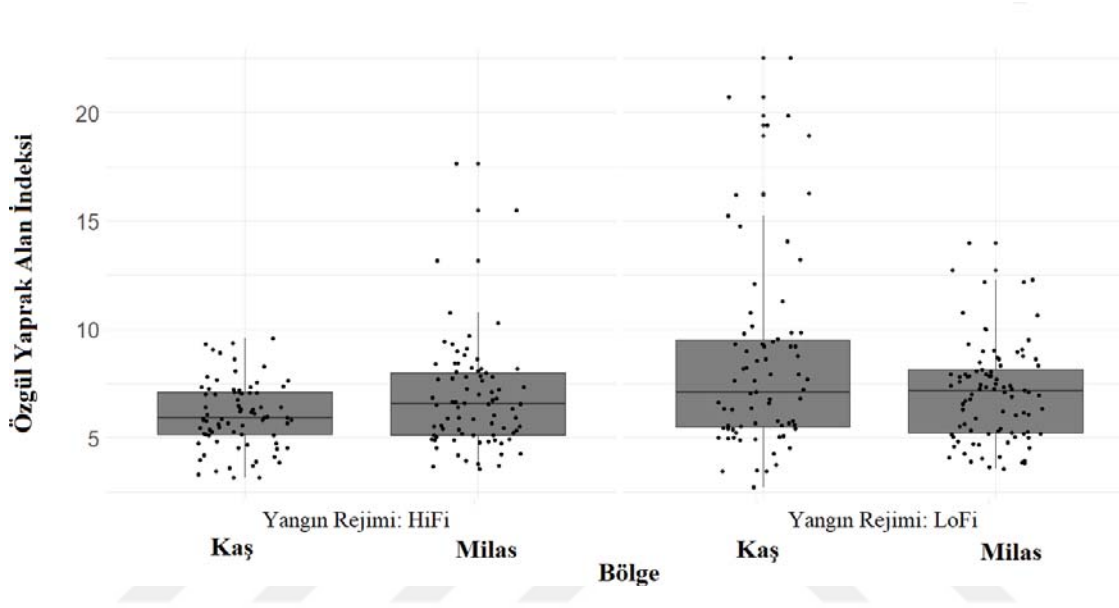
Şekil 3.4. *Pistacia terebinthus*, *Euphorbia characias*, *Cistus salviifolius*, *Arbutus andrachne* türleri nem içeriği indeks değerlerinin çalışma bölgesi ve yangın rejimlerine göre değişimi



Şekil 3.5. *Cistus creticus*, *Daphne gnidioides*, *Phlomis lycia* ve *Syrax officinalis* türlerinin nem içeriği indeks değerlerinin çalışma bölgesi ve yağın rejimlerine göre değişimi

3.3.1. Özgöl yaprak alanı

Farklı yangın rejimine sahip alanlarda yer alan bitki komünitelerinin özgöl yaprak alan indeksi değerleri bakımından istatistiksel olarak farklılık gösterdiği tespit edilmiştir (Tablo 3.4, Tablo 3.5). Bu farklılığın, daha az yangının görüldüğü yerlerde özgöl yaprak alan indeksinin daha yüksek değerler almasından kaynaklandığı görülmüştür (Şekil 3.6).



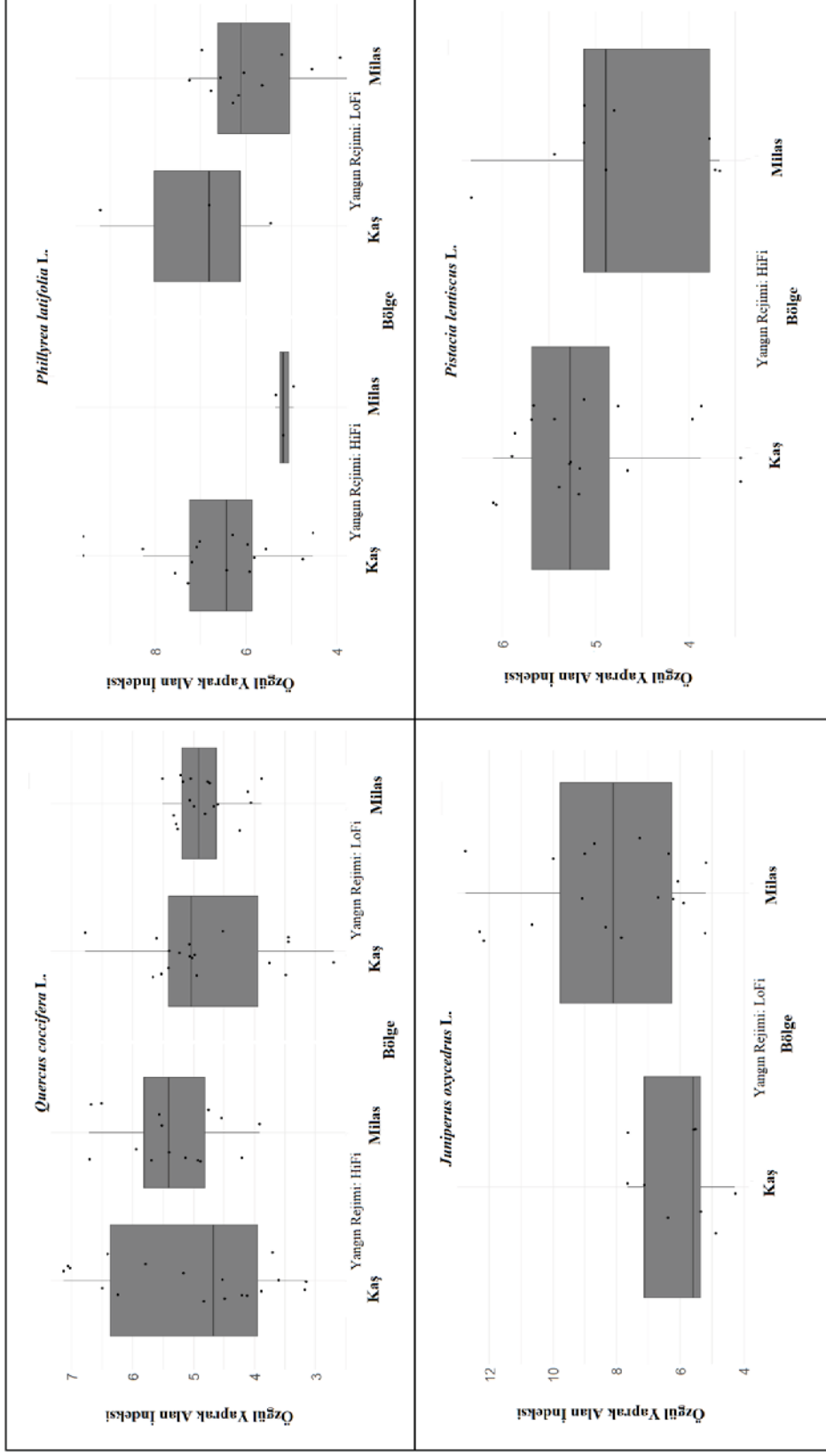
Şekil 3.6. Özgöl yaprak alan indeksi değerlerinin farklı yangın rejimi ve çalışma alanlarındaki bitki komünitelerindeki durumu.

Tablo 3.4. Komünite seviyesindeki özgöl yaprak alanı indeksi verisinin çalışma bölgesi ve yangın rejimi için oluşturulan genel doğrusal karma modelinin özeti. Model analizleri, sadece rassal faktörü (alt alan) içeren bir boş model ile hem rassal hem de sabit faktörü (bölge ya da yangın rejimi) içeren modelin arasındaki farkı test etmektedir. AIC is Akaike Ölçütünü, logLik is log-olabilirlik değerini, L. oranı, olabilirlik oranını, d.f. ise serbestlik derecesini ifade etmektedir. İstatistiksel olarak anlamlı ($P < 0,05$) olasılık değerleri koyu olarak verilmiştir.

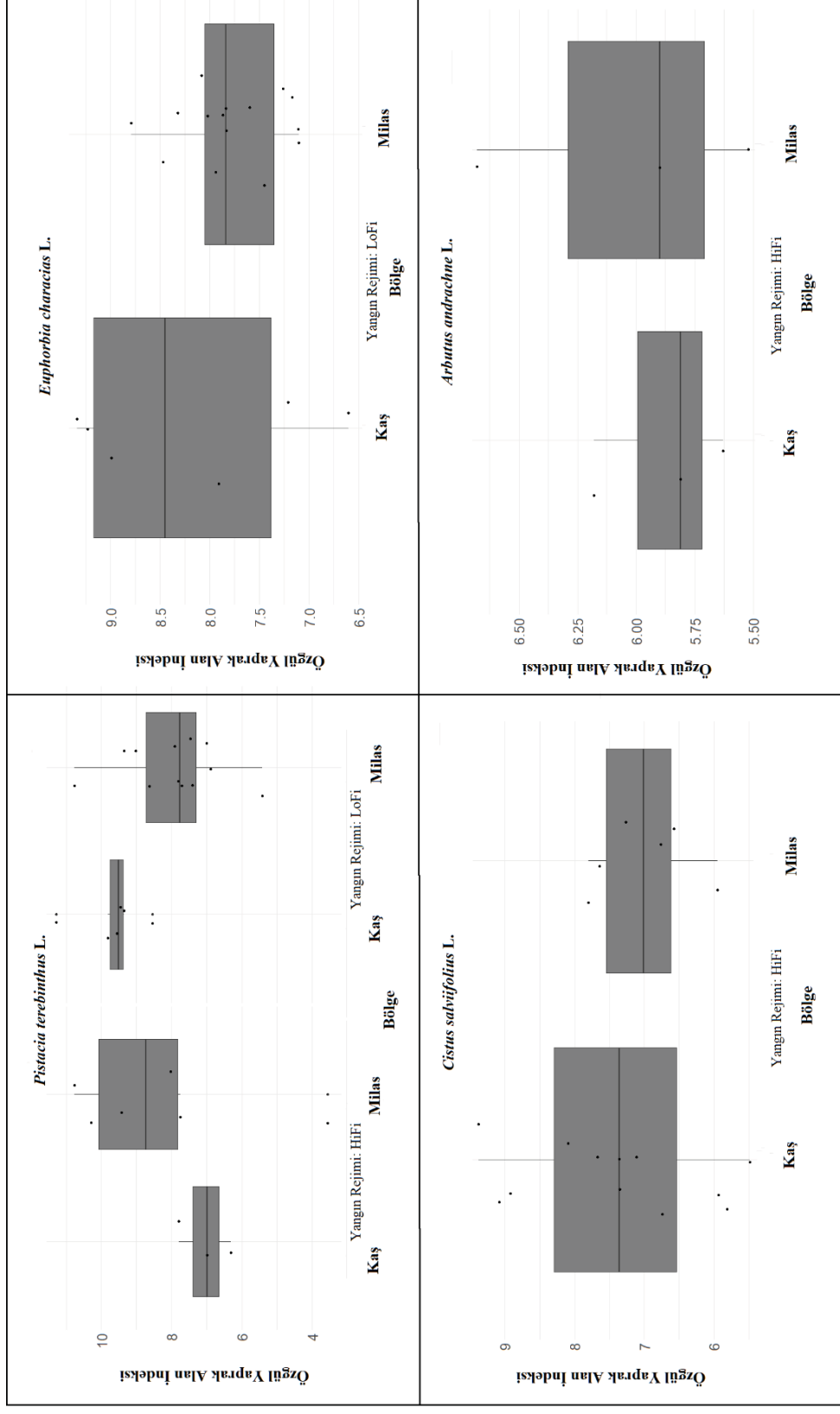
Model	AIC	logLik	L. oranı	d.f.	P
Boş	449,9	-222,0			
+ Bölge	451,9	-221,9	0,0	4	0,776
+ Yangın Rejimi	447,0	-219,5	4,9	4	0,026
+ B*YR	444,2	-216,1	11,7	6	0,008

Tablo 3.5. Popülasyon seviyesindeki özgül yaprak alanı indeksi verisinin çalışma bölgesi ve yangın rejimi için oluşturulan genel doğrusal karma modelinin özeti. Sonuçlar, yalnızca çalışma alanlarında yaygın olarak bulunan altı tür için sunulmuştur. Model analizleri, sadece rassal faktörü (alt alan) içeren bir boş model ile hem rassal hem de sabit faktörü (bölge ya da yangın rejimi) içeren modelin arasındaki farkı test etmektedir. AIC is Akaike Ölçütünü, logLik is log-olabilirlik değerini, L. oranı, olabilirlik oranını, d.f. ise serbestlik derecesini ifade etmektedir. İstatistiksel olarak anlamlı ($P < 0,05$) olasılık değerleri koyu olarak verilmiştir.

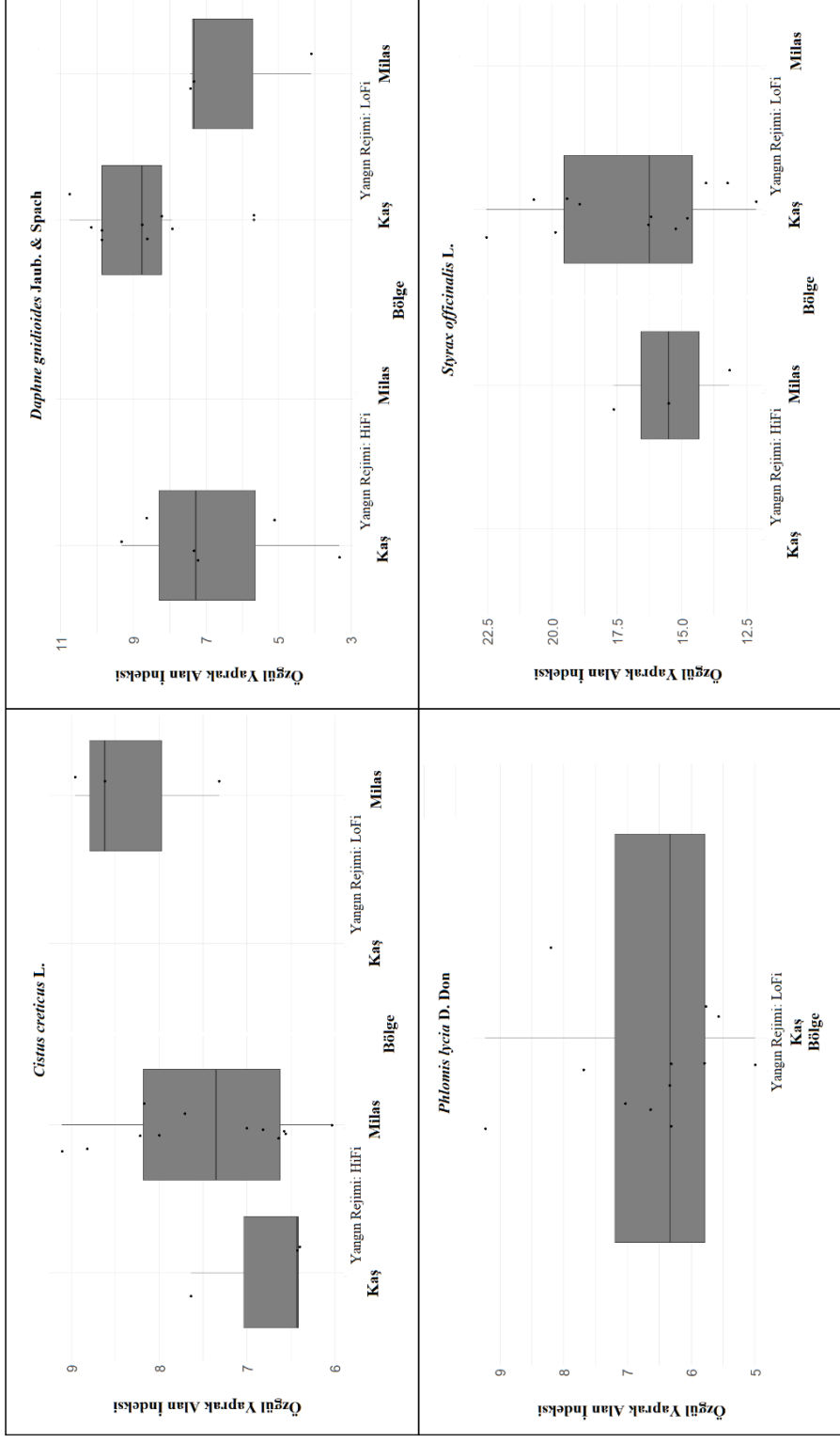
Model	AIC	logLik	L. oranı	d.f.	P	Model	AIC	logLik	L. oranı	d.f.	P
<i>Quercus coccifera</i>						<i>Daphne gnidioides</i>					
Boş	-4,11	5,0				Boş	23,5	-8,7			
+ Bölge	-2,76	5,4	0,6	4	0,423	+ Bölge	23,6	-7,8	1,8	4	0,177
+ Yangın Rejimi	-4,11	6,2	2,3	4	0,132	+ Yangın Rejimi	23,5	-7,7	2,0	4	0,159
+ B*YR	-4,38	6,7	3,4	6	0,340						
<i>Phillyrea latifolia</i>						<i>Cistus salvifolius</i>					
Boş	12,3	-3,1				Boş	-0,8	3,4			
+ Bölge	8,4	-0,2	5,8	4	0,015	+ Bölge	1,1	3,4	0,1	4	0,749
+ Yangın Rejimi	13,7	-2,8	0,6	4	0,439						
+ B*YR	11,5	-0,3	6,8	6	0,078	<i>Cistus creticus</i>					
<i>Juniperus oxycedrus</i>						Boş	-8,0	7,0			
Boş	34,2	-14,1				+ Bölge	51,8	-22,0	1,0	4	0,328
+ Bölge	28,6	-10,3	7,6	4	0,005	+ Yangın Rejimi	-6,6	7,3	0,6	4	0,447
<i>Pistacia lentiscus</i>						<i>Arbutus andrachne</i>					
Boş	-9,7	7,8				Boş	-7,6	6,8			
+ Bölge	-9,6	8,8	1,9	4	0,172	+ Yangın Rejimi	-5,8	6,9	0,2	4	0,620
<i>Pistacia terebinthus</i>											
Boş	19,6	-6,8									
+ Bölge	20,5	-6,2	1,1	4	0,289						
+ Yangın Rejimi	20,6	-6,3	1,1	4	0,302						
+ B*YR	19,5	-3,7	6,1	6	0,104						



Şekil 3.7. *Quercus coccifera*, *Phillyrea latifolia*, *Juniperus oxycedrus* ve *Pistacia lentiscus* türlerinde özgül yaprak alanı indeks değerlerinin çalışma bölgesi ve yangın rejimlerine göre değişimi.



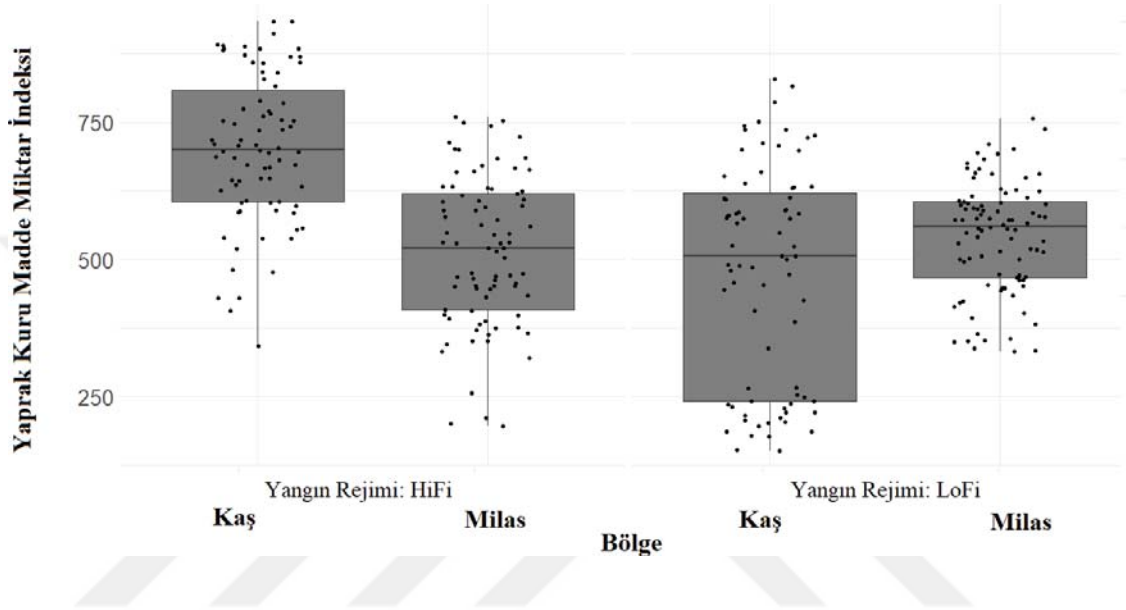
Şekil 3.8. *Pistacia terebinthus*, *Euphorbia characias*, *Cistus salviifolius*, *Arbutus andrachne* türlerinde özgül yaprak alanı indeks değerlerinin çalışma bölgesi ve yangın rejimlerine göre değişimi.



Şekil 3.9. *Cistus creticus*, *Daphne gnidioides*, *Phlomis lycia* ve *Styrax officinalis* özgül yaprak alanı indeks değerlerinin çalışma bölgesi ve yangın rejimlerine göre değişimi

3.3.2. Yaprak kuru madde miktarı

Farklı yangın rejimine sahip alanlarda yer alan bitki komünitelerinin yaprak kuru madde miktar indeksi değerleri bakımından istatistiksel olarak farklılık gösterdiği tespit edilmiştir (Tablo 3.6, Tablo 3.7). Bu farklılığın, daha az yangının görüldüğü yerlerde yaprak kuru madde miktarının daha yüksek olmasından kaynaklandığı görülmüştür (Şekil 3.10).



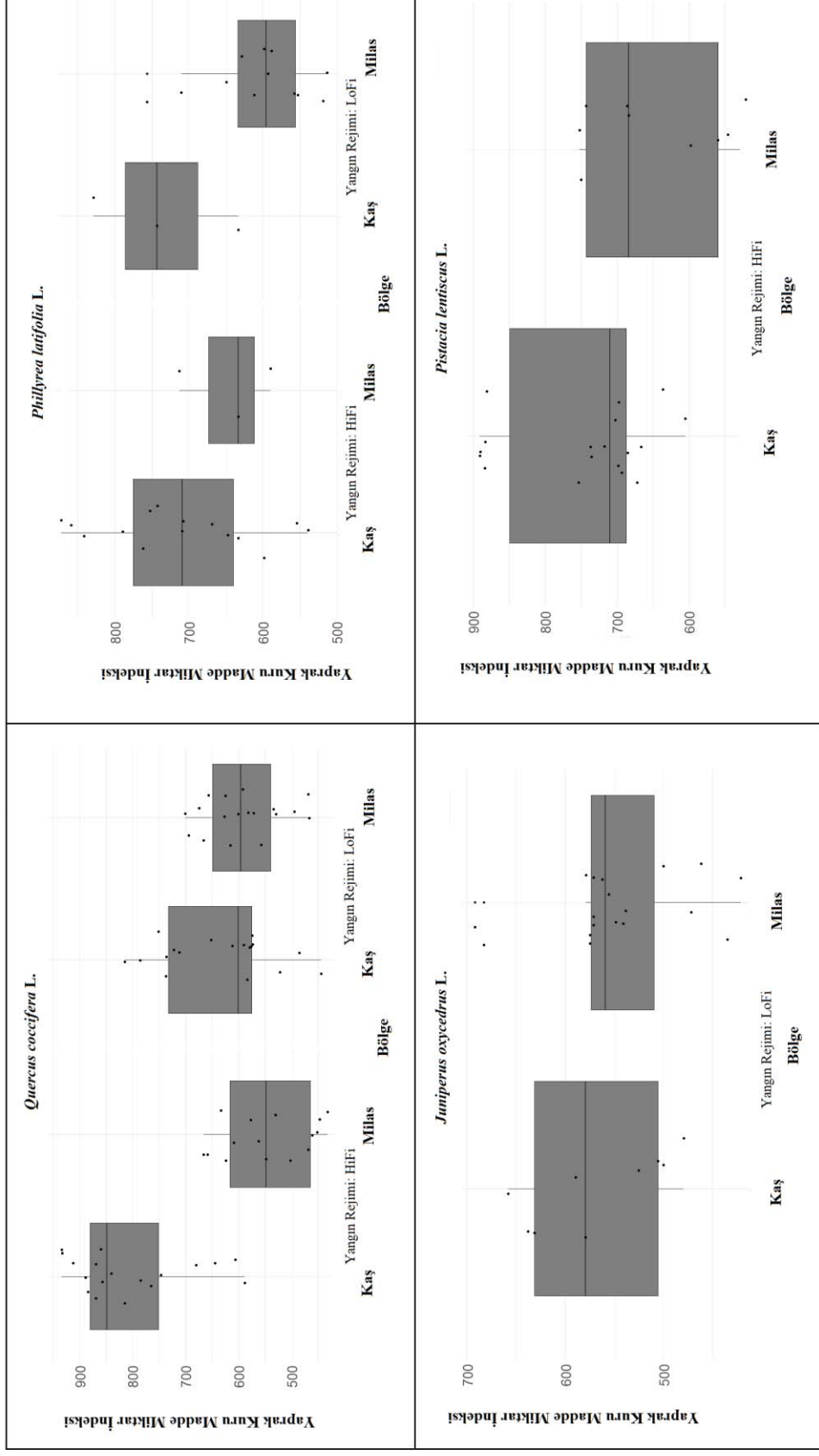
Şekil 3.10. Yaprak Kuru Madde Miktar indeksi değerlerinin farklı yangın rejimi ve çalışma alanlarındaki bitki komünitelerindeki durumu.

Tablo 3.6. Komünite seviyesindeki yaprak kuru madde miktar indeksi verisinin çalışma bölgesi ve yangın rejimi için oluşturulan genel doğrusal karma modelinin özeti. Model analizleri, sadece rassal faktörü (alt alan) içeren bir boş model ile hem rassal hem de sabit faktörü (bölge ya da yangın rejimi) içeren modelin arasındaki farkı test etmektedir. AIC is Akaike Ölçütünü, logLik is log-olabilirlik değerini, L. oranı, olabilirlik oranını, d.f. ise serbestlik derecesini ifade etmektedir. İstatistiksel olarak anlamlı ($P < 0,05$) olasılık değerleri koyu olarak verilmiştir.

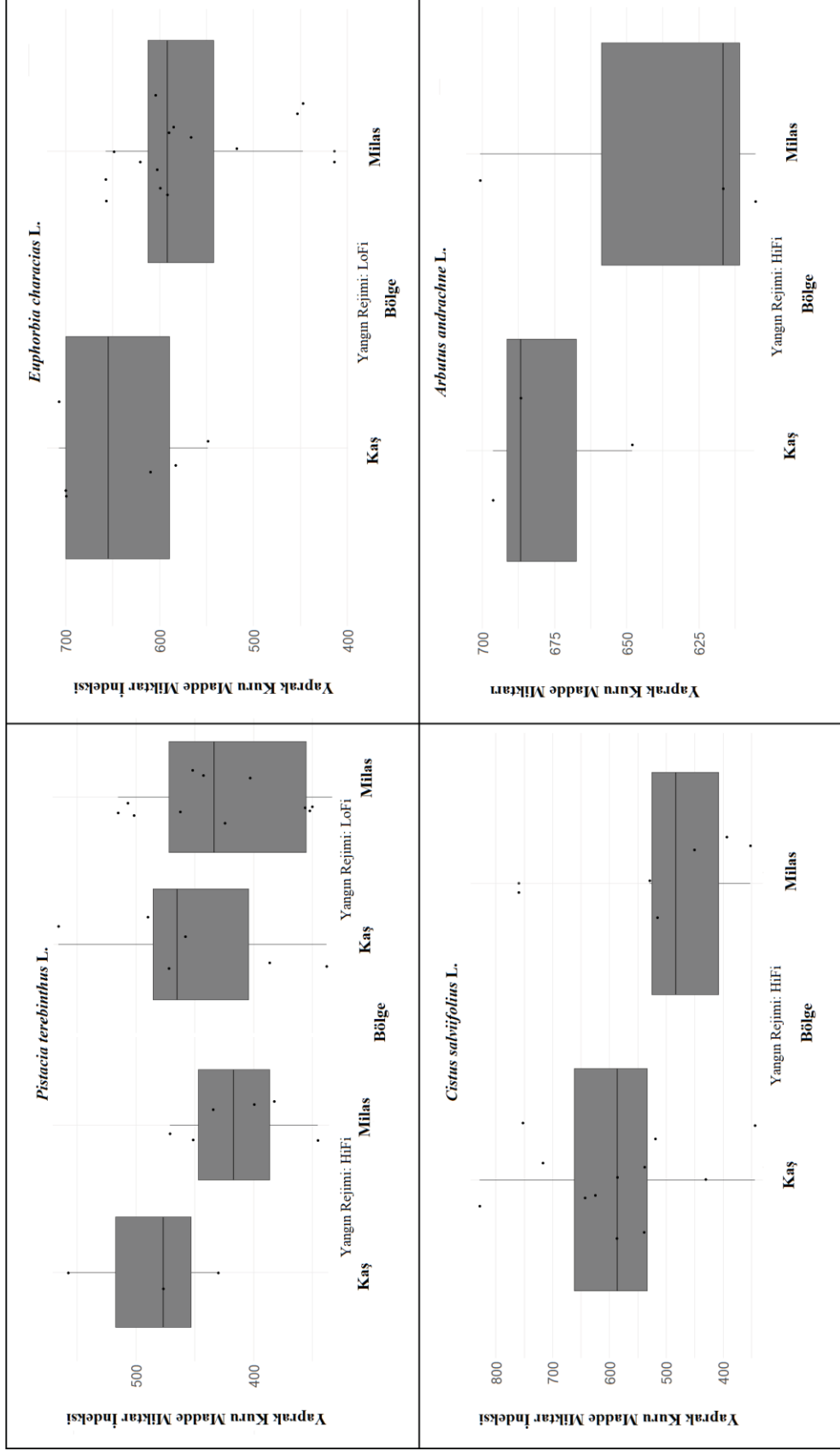
Model	AIC	logLik	L. oranı	d.f.	P
Boş	1720,3	-857,2			
+ Bölge	1721,9	-857,0	0,4	4	0,520
+ Yangın Rejimi	1719,4	-855,7	3,0	4	0,086
+ B*YR	1708,4	-848,2	17,9	6	0,0005

Tablo 3.7. Popülasyon seviyesindeki yaprak kuru madde miktar indeksinin verisinin çalışma bölgesi ve yangın rejimi için oluşturulan genel doğrusal karma modelinin özeti. Sonuçlar, yalnızca çalışma alanlarında yaygın olarak bulunan altı tür için sunulmuştur. Model analizleri, sadece rassal faktörü (alt alan) içeren bir boş model ile hem rassal hem de sabit faktörü (bölge ya da yangın rejimi) içeren modelin arasındaki farkı test etmektedir. AIC is Akaike Ölçütünü, logLik is log-olabilirlik değerini, L. oranı, olabilirlik oranını, d.f. ise serbestlik derecesini ifade etmektedir. İstatistiksel olarak anlamlı ($P < 0,05$) olasılık değerleri koyu olarak verilmiştir.

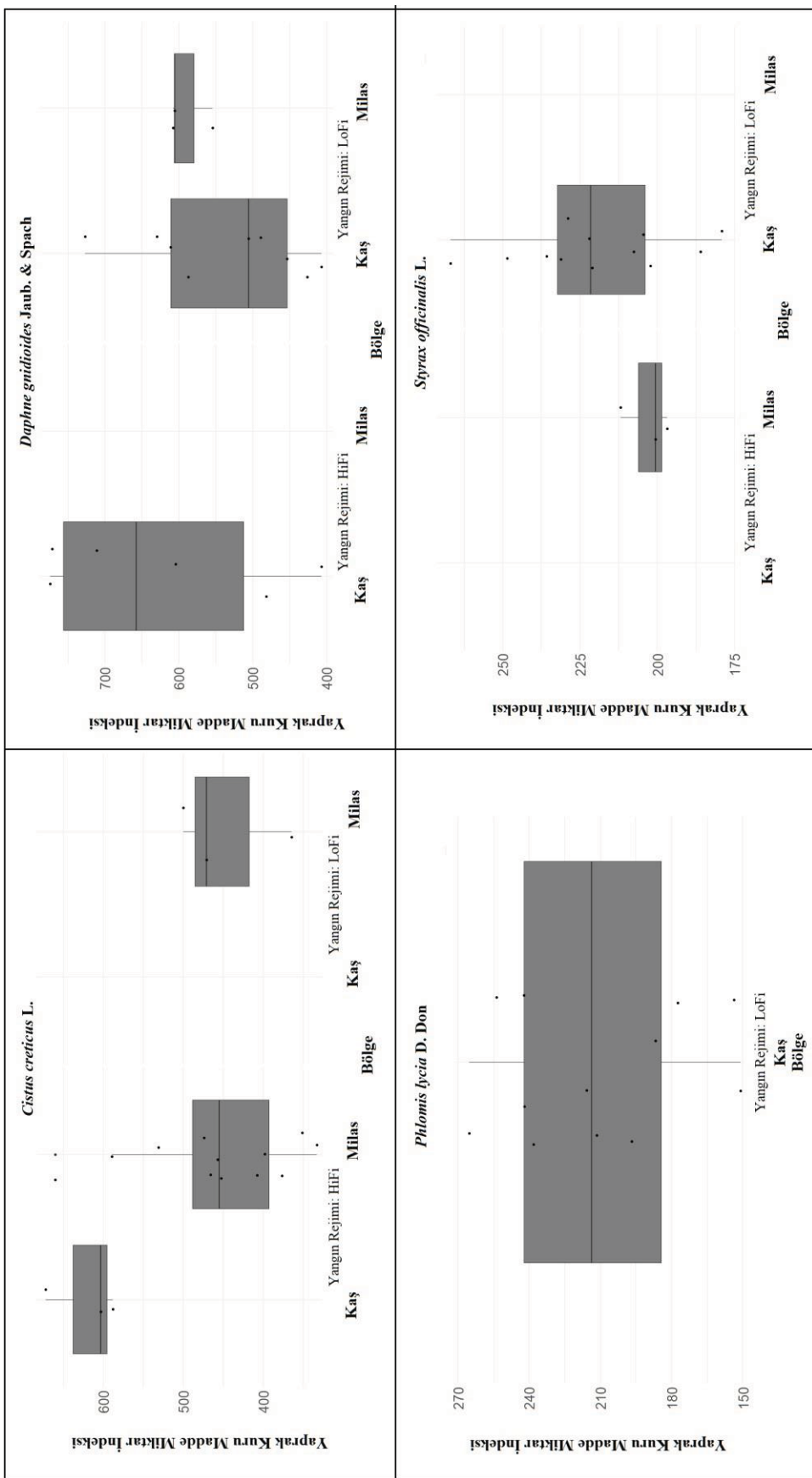
Model	AIC	logLik	L. oranı	d.f.	P	Model	AIC	logLik	L. oranı	d.f.	P
<i>Quercus coccifera</i>						<i>Daphne gnidioides</i>					
Boş	333,9	-163,9				Boş	88,9	-41,4			
+ Bölge	310,6	-151,3	25,3	4	< 0,001	+ Bölge	90,8	-41,4	0,1	4	0,749
+ Yangın Rejimi	331,4	-161,7	4,4	4	0,035	+ Yangın Rejimi	89,4	-40,7	1,5	4	0,221
+ B*YR	289,9	-138,9	50,0	6	< 0,001						
<i>Phillyrea latifolia</i>						<i>Cistus salvifolius</i>					
Boş	141,2	-67,6				Boş	95,4	-44,7			
+ Bölge	134,2	-63,0	9,0	4	0,002	+ Bölge	94,3	-43,2	3,0	4	0,080
+ Yangın Rejimi	138,1	-65,0	5,0	4	0,024						
+ B*YR	137,7	-62,9	9,5	6	0,023	<i>Cistus creticus</i>					
						Boş	87,0	-40,5			
<i>Juniperus oxycedrus</i>						+ Bölge	51,8	-22,0	1,0	4	0,328
Boş	102,7	-48,4				+ Yangın Rejimi	88,7	-40,3	0,3	4	0,56
+ Bölge	103,4	-47,7	1,3	4	0,252						
<i>Pistacia lentiscus</i>						<i>Arbutus andrachne</i>					
Boş	117,6	-55,8				Boş	19,5	-6,7			
+ Bölge	113,3	-52,7	6,3	4	0,012	+ Yangın Rejimi	19,9	-6,0	1,6	4	0,210
<i>Pistacia terebinthus</i>						<i>Euphorbia characias</i>					
Boş	106,5	-50,2				Boş	87,0	-40,5			
+ Bölge	105,9	-49,0	2,6	4	0,108	+ Bölge	85,4	-38,7	3,6	4	0,057
+ Yangın Rejimi	108,5	-50,2	0,0	4	0,830						
+ B*YR	109,1	-48,6	3,4	6	0,334						



Şekil 3.11. *Quercus coccifera*, *Phillyrea latifolia*, *Juniperus oxycedrus* ve *Pistacia lentiscus* türlerinde yaprak kuru madde miktar indeks değerlerinin çalışma bölgesi ve yangın rejimlerine göre değişimi.



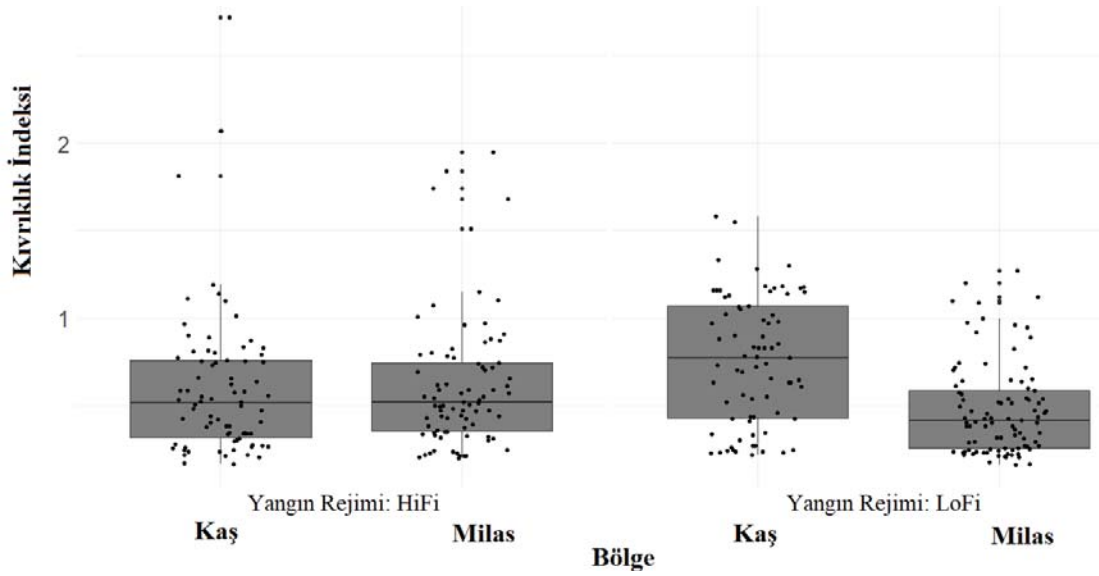
Şekil 3.12. *Pistacia terebinthus*, *Euphorbia characias*, *Cistus salviifolius*, *Arbutus andrachne* türlerinde yaprak kuru madde miktarı indeks değerlerinin çalışma bölgesi ve yangın rejimlerine göre değişimi



Şekil 3.13. *Cistus creticus*, *Daphne gnidioides*, *Phlomis lycia* ve *Syrax officinalis* yaprak kuru madde miktar indeks değerlerinin çalışma bölgesi ve yangın rejimlerine göre değişimi

3.3.3. Yaprak kıvrıklığı

Farklı yangın rejimine sahip alanlarda yer alan bitki komünitelerinin yaprak kıvrıklığı değerleri arasında istatistiksel olarak önemli bir fark olsa da, verideki değişkenliği bölge-yangın rejimi arasındaki fark (Kaş ve Milas arasındaki fark) daha büyük oranda açıklamıştır (Tablo 3.8, Tablo 3.9). Bu duruma, Kaş bölgesinde düşük yangın sıklığına sahip alanlarda beklenenden yüksek yaprak kıvrıklığına sahip türlerin görülmesi neden olmuştur (Şekil 3.14).



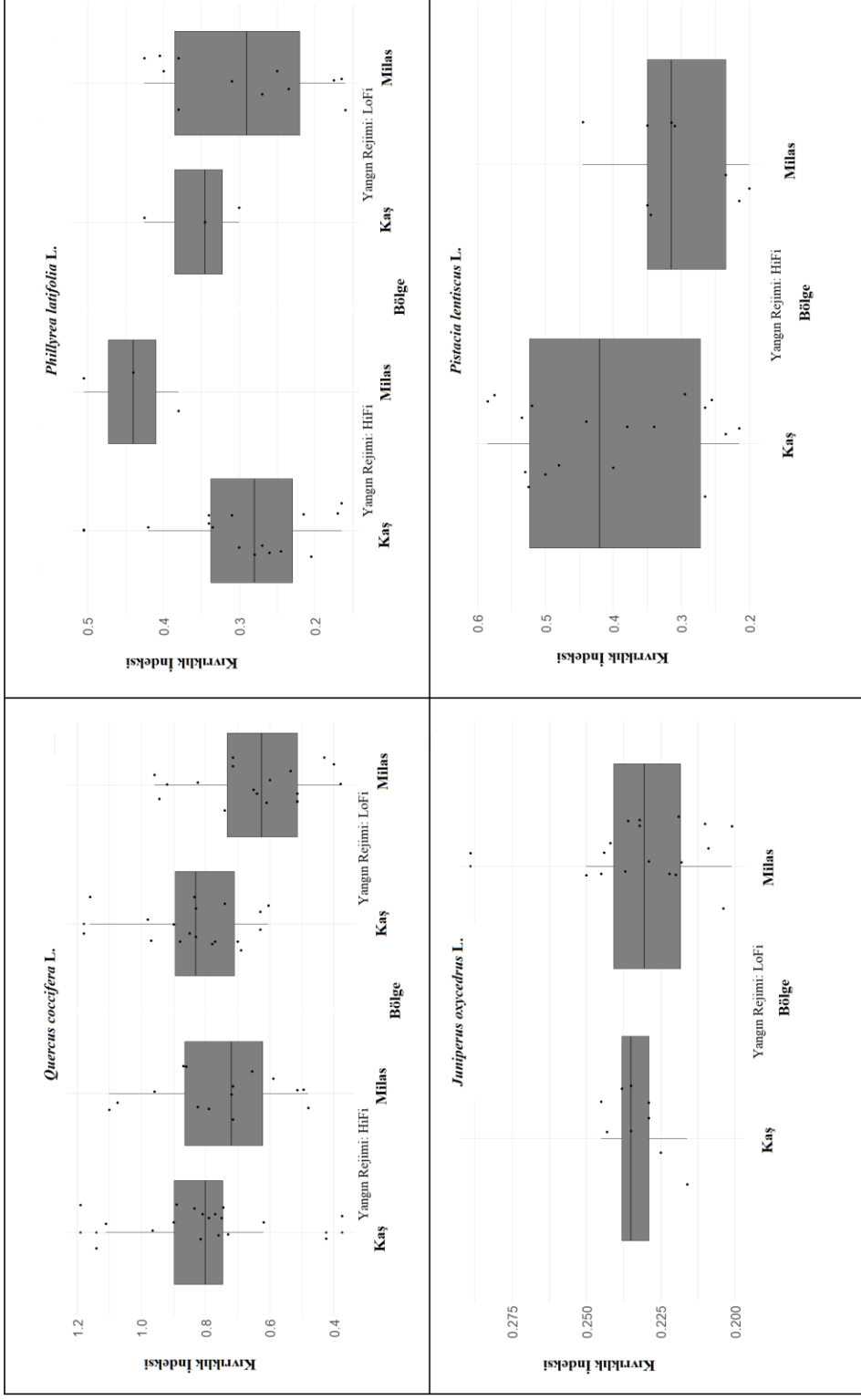
Şekil 3.14. Kıvrıklık indeksi değerlerinin farklı yangın rejimi ve çalışma alanlarındaki bitki komünitelerindeki durumu.

Tablo 3.8. Komünite seviyesindeki yaprak kıvrıklık indeksi verisinin çalışma bölgesi ve yangın rejimi için oluşturulan genel doğrusal karma modelinin özeti. Model analizleri, sadece rassal faktörü (alt alan) içeren bir boş model ile hem rassal hem de sabit faktörü (bölge ya da yangın rejimi) içeren modelin arasındaki farkı test etmektedir. AIC is Akaike Ölçütünü, logLik is log-olabilirlik değerini, L. oranı, olabilirlik oranını, d.f. ise serbestlik derecesini ifade etmektedir. İstatistiksel olarak anlamlı ($P < 0,05$) olasılık değerleri koyu olarak verilmiştir.

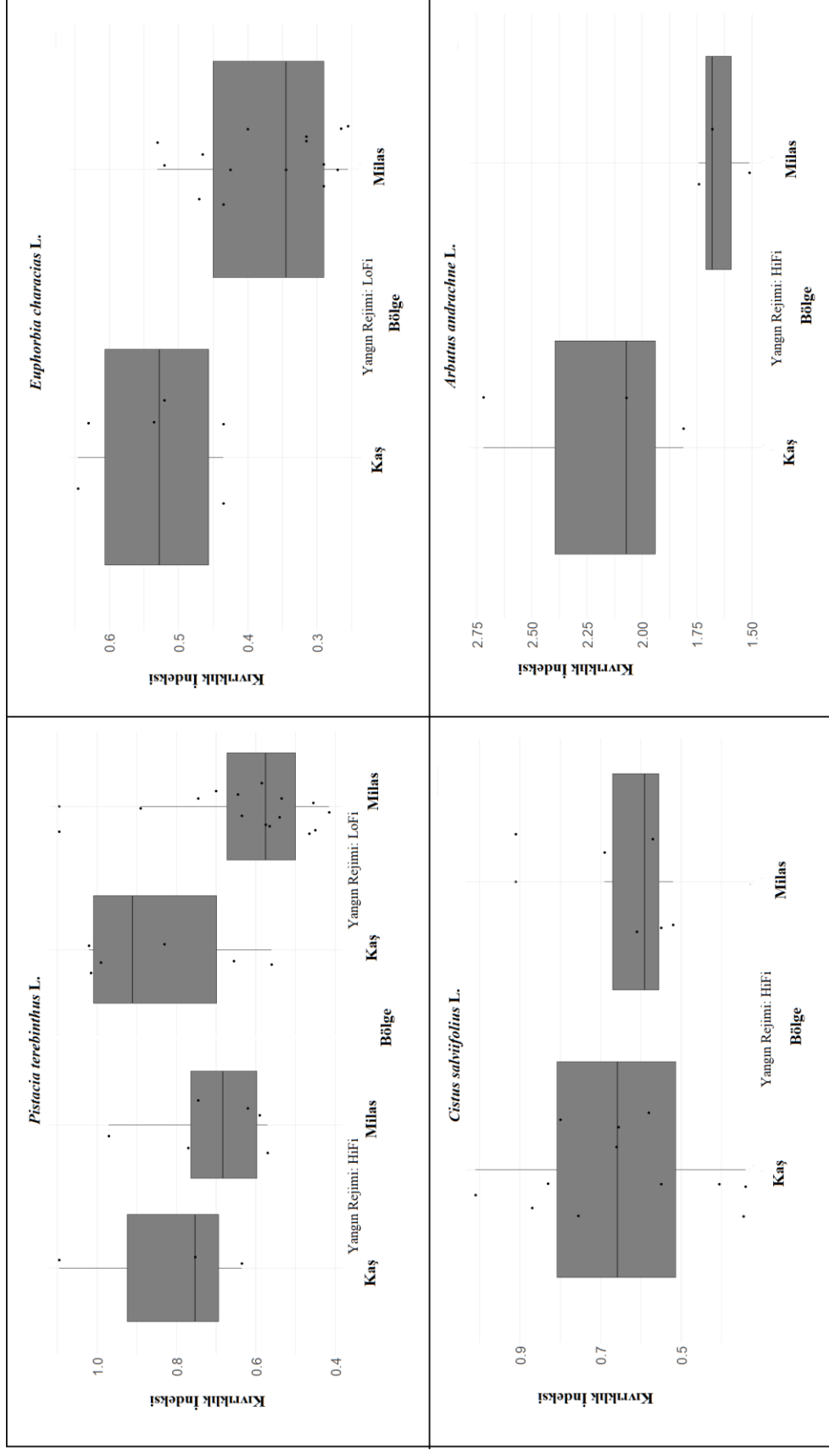
Model	AIC	logLik	L. oranı	d.f.	P
Boş	-76.90	41.45		3	
+ Bölge	-77.63	42.81	2.72	4	0,098
+ Yangın Rejimi	-74.92	41.46	0.02	4	0,881
+ B*YR	-80.52	46.2	9.62	6	0,022

Tablo 3.9. Popülasyon seviyesindeki kıvrıklık indeksi verisinin yangın rejimi için oluşturulan genel doğrusal karma modelinin özeti. Sonuçlar, yalnızca çalışmada bulunan altı tür için sunulmuştur. Model analizleri, sadece rassal faktörü (alt alan) içeren bir boş model ile hem rassal hem de sabit faktörü (bölge ya da yangın rejimi) içeren modelin arasındaki farkı test etmektedir. AIC is Akaike Ölcütünü, logLik is log-olabilirlik değerini, L. oranı, olabilirlik oranını, d.f. ise serbestlik derecesini ifade etmektedir. İstatistiksel olarak anlamlı ($P < 0,05$) olasılık değerleri koyu olarak verilmiştir.

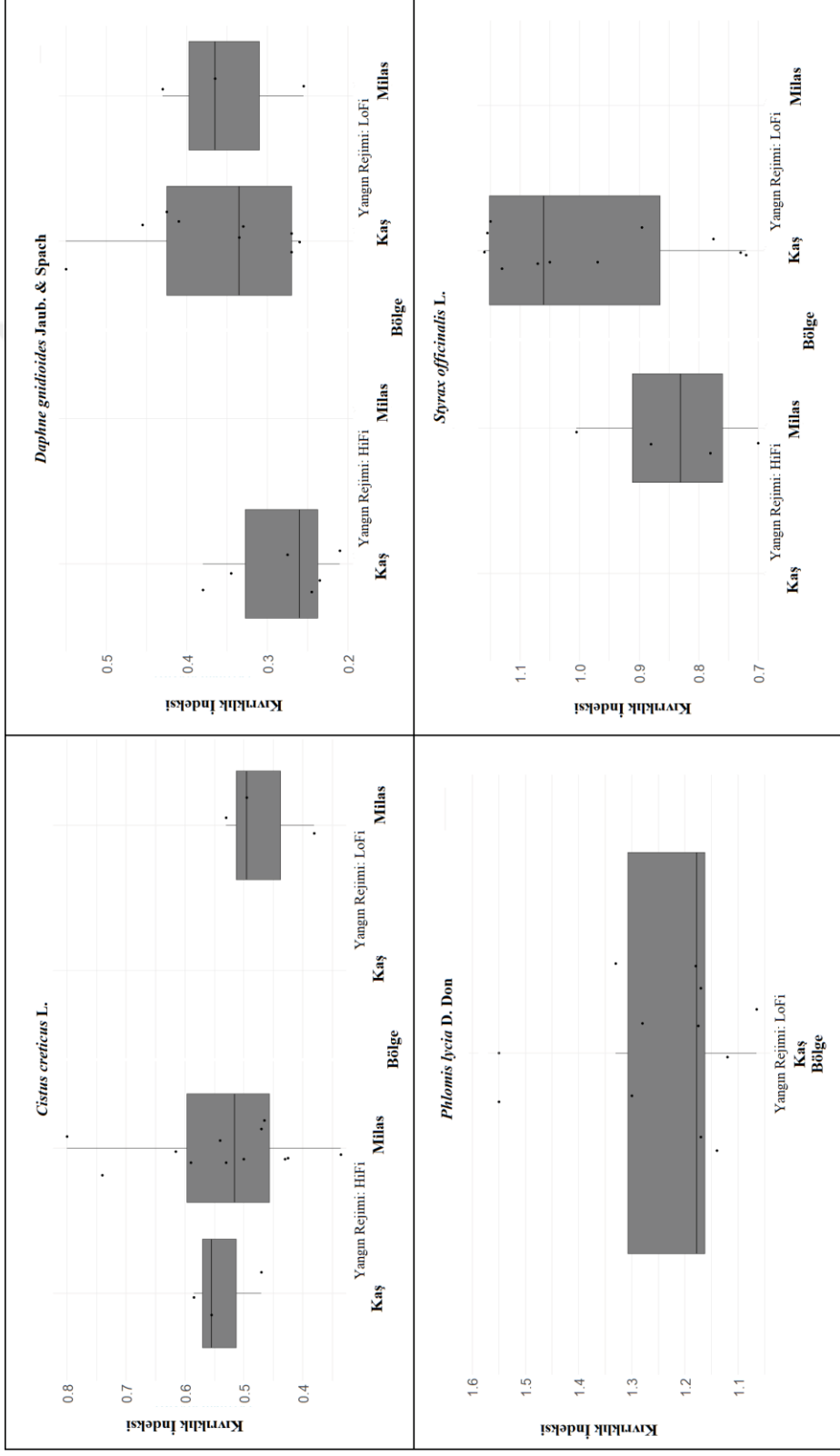
Model	AIC	logLik	L. oranı	d.f.	P	Model	AIC	logLik	L. oranı	d.f.	P
<i>Quercus coccifera</i>						<i>Daphne gnidioides</i>					
Boş	-96,0	-51,0				Boş	-35,8	20,9			
+ Bölge	-101,5	-54,8	7,5	4	0,006	+ Bölge	-34,0	21,0	0,1	4	0,735
+ Yangın Rejimi	-95,0	-51,6	1,0	4	0,309	+ Yangın Rejimi	-37,9	23,0	4,1	4	0,043
+ B*YR	-101,0	-56,4	11,0	6	0,012						
<i>Phillyrea latifolia</i>						<i>Cistus salvifolius</i>					
Boş	-60,8	33,4				Boş	-25,3	15,6			
+ Bölge	-58,9	33,5	0,2	4	0,669	+ Bölge	-24,6	16,3	1,3	4	0,257
+ Yangın Rejimi	-58,8	33,4	0,02	4	0,887						
+ B*YR	-61,9	37,0	7,1	6	0,068	<i>Cistus creticus</i>					
<i>Juniperus oxycedrus</i>						Boş	-36,3	21,2			
Boş	-136,9	-71,4				+ Bölge	51,8	-22,0	1,0	4	0,328
+ Bölge	-134,9	-71,4	0,1	4	0,789	+ Yangın Rejimi	-35,0	21,5	0,6	4	0,433
<i>Pistacia lentiscus</i>						<i>Arbutus andrachne</i>					
Boş	-42,3	24,2				Boş	-1,37	3,7			
+ Bölge	-44,7	26,3	4,3	4	0,038	+ Yangın Rejimi	-3,37	5,7	4,0	4	0,045
<i>Pistacia terebinthus</i>						<i>Euphorbia characias</i>					
Boş	-38,8	22,3				Boş	-36,0	21,0			
+ Bölge	-43,6	25,8	6,8	4	0,008	+ Bölge	-43,7	25,9	9,7	4	0,001
+ Yangın Rejimi	-37,6	22,8	0,9	4	0,349						
+ B*YR	-41,0	26,6	8,3	6	0,039						



Şekil 3.15. *Quercus coccifera*, *Phillyrea latifolia*, *Juniperus oxycedrus* ve *Pistacia lentiscus* türlerinin kıvrıklık indeksi değerlerinin çalışma bölgesi ve yangın rejimlerine göre değişimi.



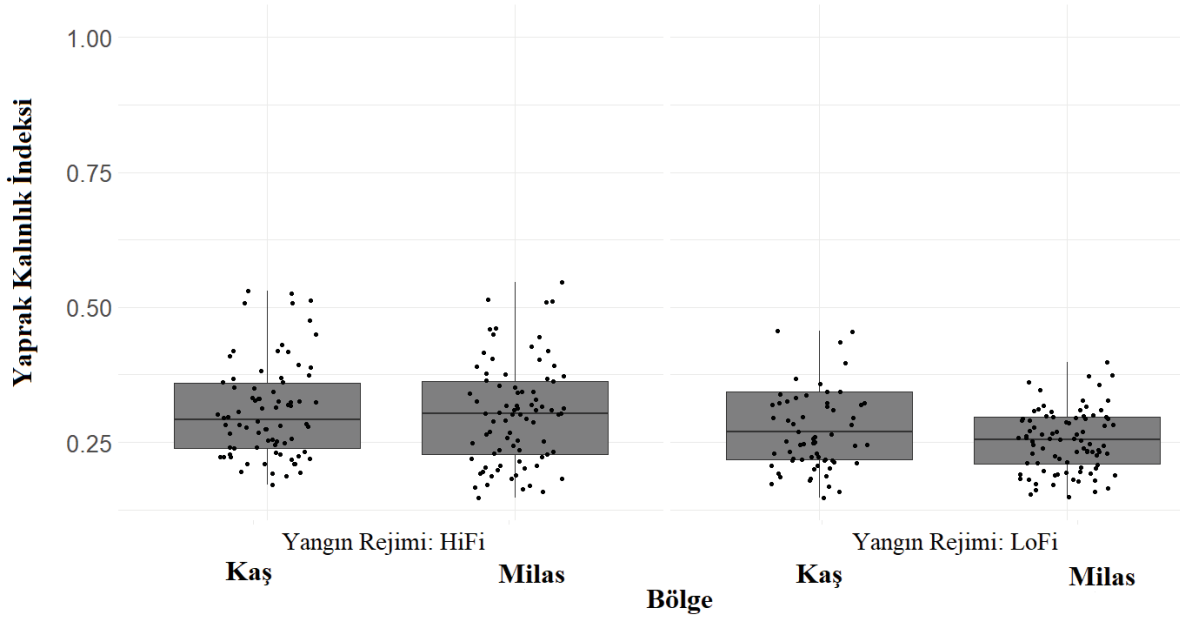
Şekil 3.16. *Pistacia terebinthus*, *Euphorbia characias*, *Cistus salviifolius*, *Arbutus andrachne* türlerinin kıvrıklık indeksi değerlerinin çalışma bölgesi ve yangın rejimlerine göre değişimi



Şekil 3.17. *Cistus creticus*, *Daphne gnidioides*, *Phlomis lycia* ve *Styrax officinalis* türlerinin kıvrıklık indeksi değerlerinin çalışma bölgesi ve yangın rejimlerine göre değişimi

3.3.4. Yaprak kalınlığı

Farklı yangın rejimine sahip alanlarda yer alan bitki komünitelerinin yaprak kalınlığı indeksi değerleri bakımından istatistiksel olarak farklılık gösterdiği tespit edilmiştir (Tablo 3.10, Tablo 3.11). Bu farklılığın, daha az yangının görüldüğü yerlerde yaprak kalınlık indeksinin daha yüksek değerler almasından kaynaklandığı görülmüştür (Şekil 3.18).



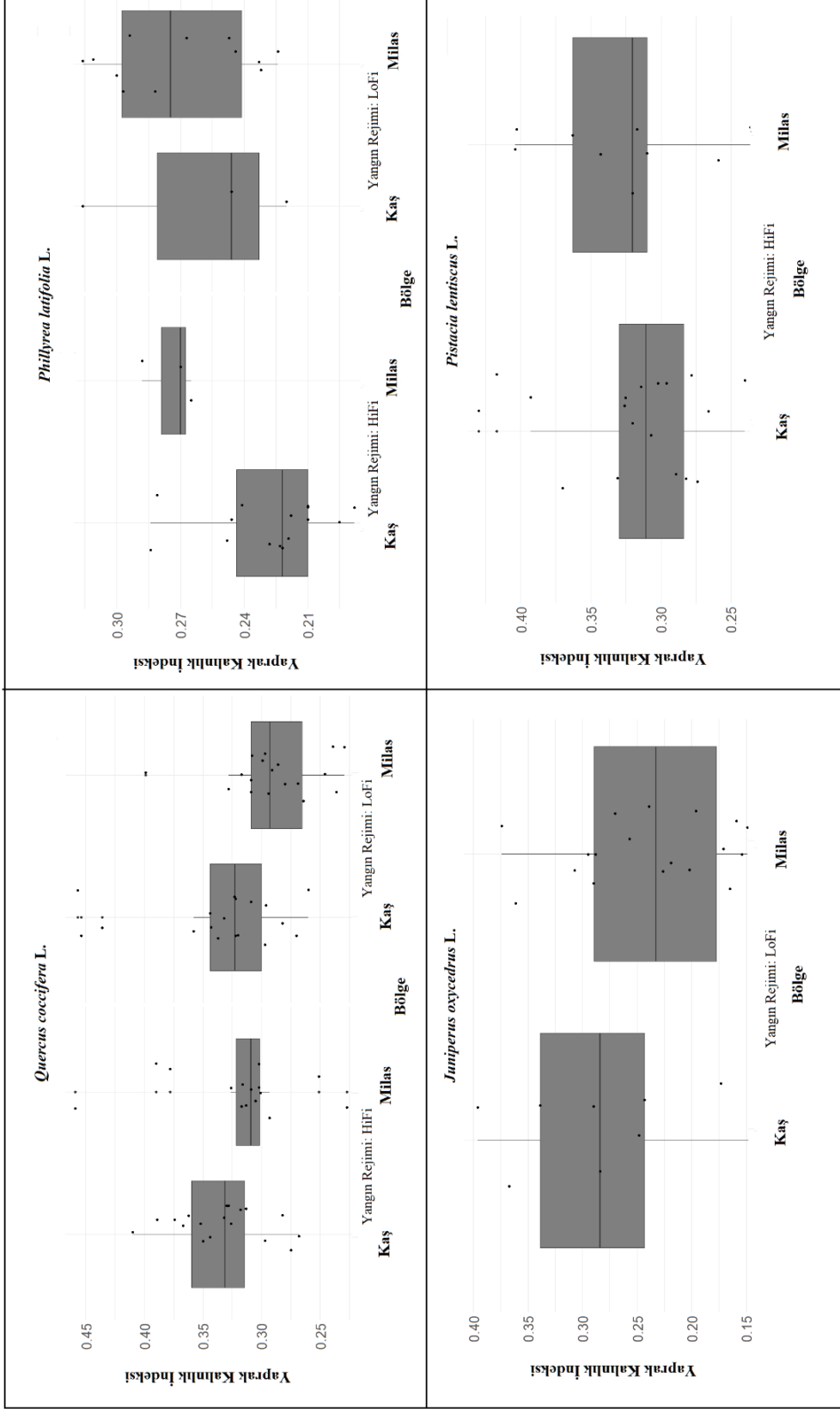
Şekil 3.18. Yaprak kalınlığı indeksi değerlerinin farklı yangın rejimi ve çalışma alanlarındaki bitki komünitelerindeki durumu.

Tablo 3.10. Komünite seviyesindeki yaprak kalınlığı indeksi verisinin çalışma bölgesi ve yangın rejimi için oluşturulan genel doğrusal karma modelinin özeti. Model analizleri, sadece rassal faktörü (alt alan) içeren bir boş model ile hem rassal hem de sabit faktörü (bölge ya da yangın rejimi) içeren modelin arasındaki farkı test etmektedir. AIC is Akaike Ölçütünü, logLik is log-olabilirlik değerini, L. oranı, olabilirlik oranını, d.f. ise serbestlik derecesini ifade etmektedir. İstatistiksel olarak anlamlı ($P < 0,05$) olasılık değerleri koyu olarak verilmiştir.

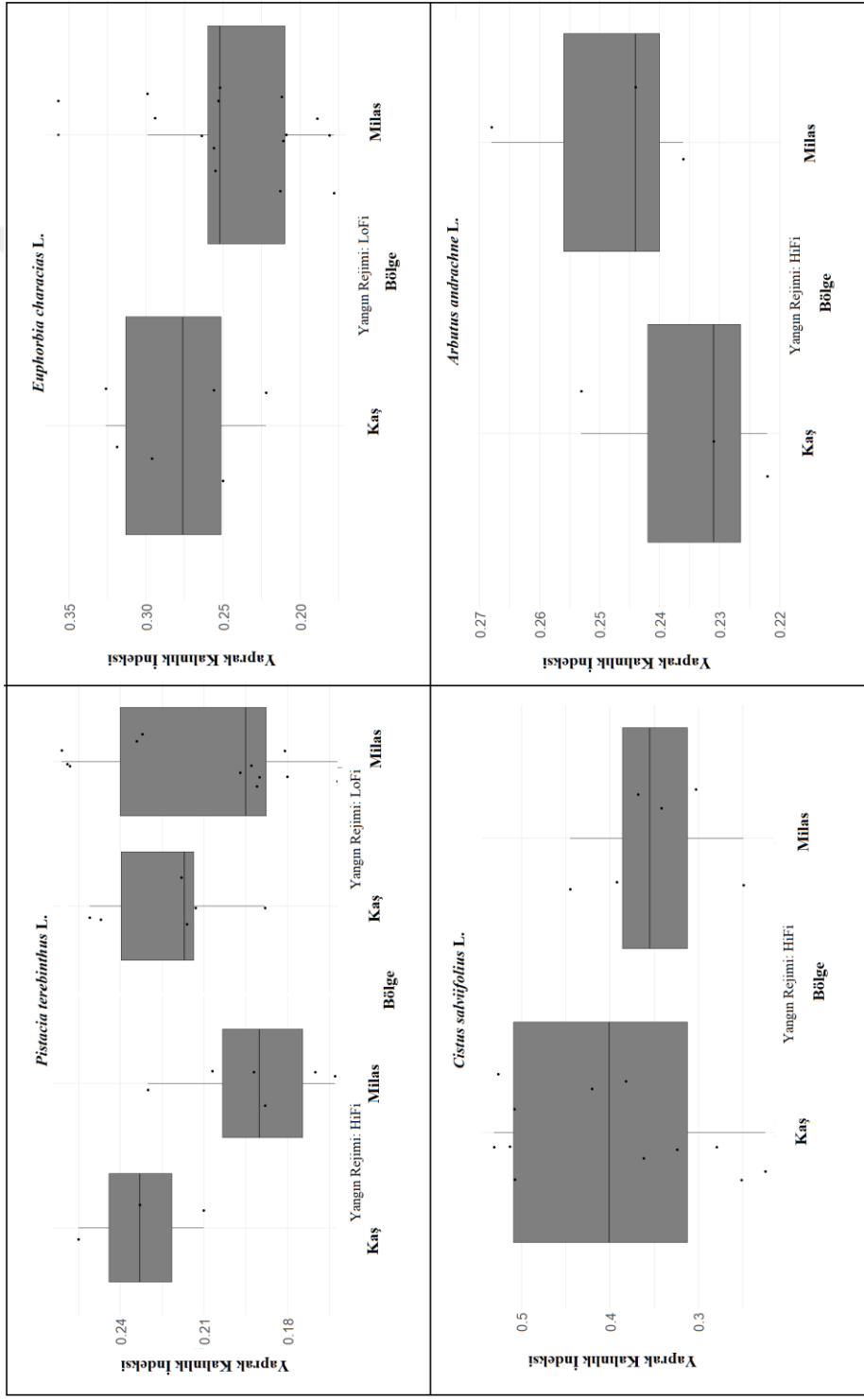
Model	AIC	logLik	L. oranı	d.f.	P
Boş	-474,4	240,2			
+ Bölge	-477,0	242,6	4,7	4	0,030
+ Yangın Rejimi	-472,4	240,2	0,0	4	0,988
+ B*YR	-479,0	245,5	10,5	6	0,014

Tablo 3.11. Popülasyon seviyesindeki yaprak kalınlığı indeks verisinin çalışma bölgesi ve yangın rejimi için oluşturulan genel doğrusal karma modelinin özeti. Sonuçlar, yalnızca çalışma alanlarında yaygın olarak bulunan altı tür için sunulmuştur. Model analizleri, sadece rassal faktörü (alt alan) içeren bir boş model ile hem rassal hem de sabit faktörü (bölge ya da yangın rejimi) içeren modelin arasındaki farkı test etmektedir. AIC is Akaike Ölçütünü, logLik is log-olabilirlik değerini, L. oranı, olabilirlik oranını, d.f. ise serbestlik derecesini ifade etmektedir. İstatistiksel olarak anlamlı ($P < 0,05$) olasılık değerleri koyu olarak verilmiştir.

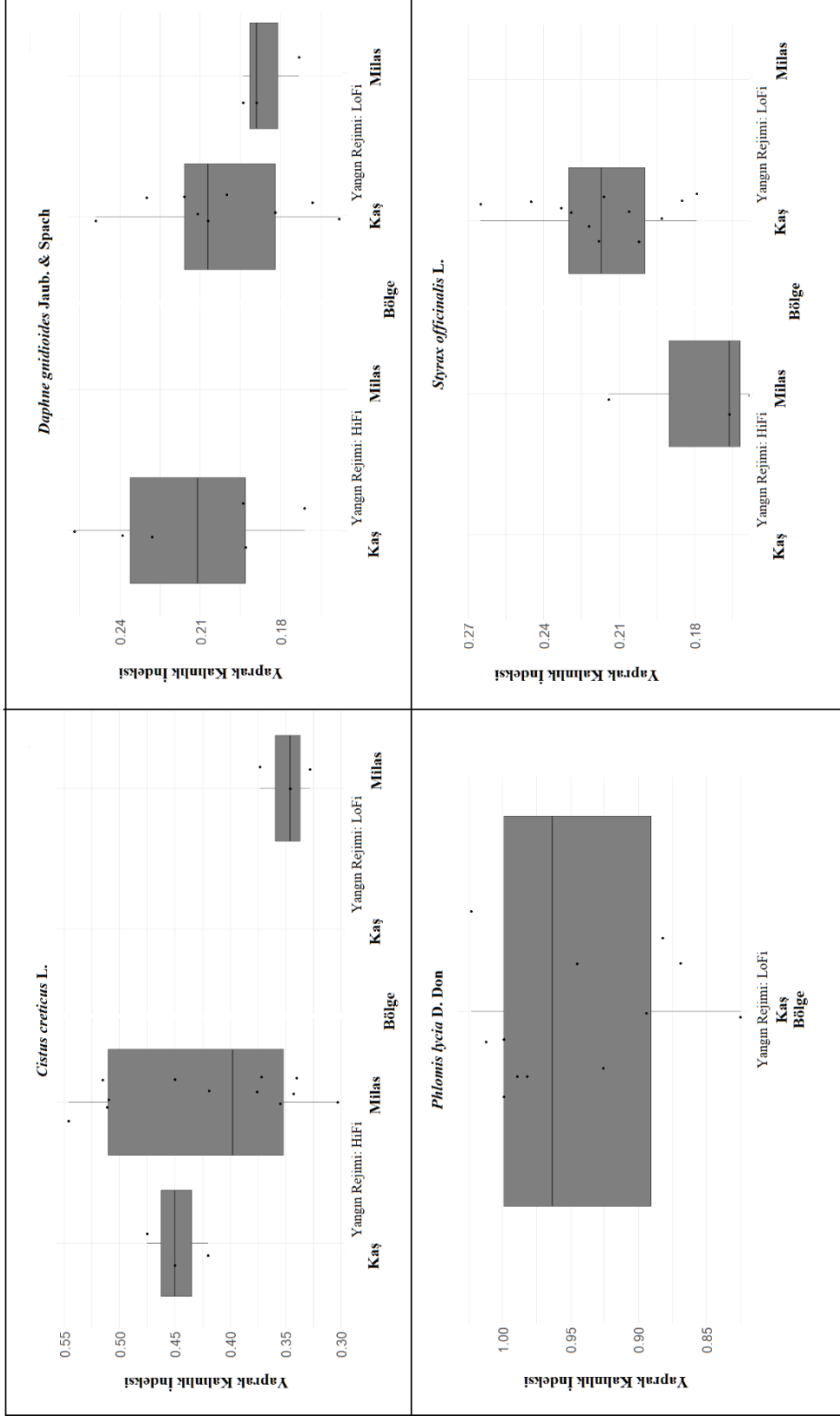
Model	AIC	logLik	L. oranı	d.f.	P	Model	AIC	logLik	L. oranı	d.f.	P
<i>Quercus coccifera</i>						<i>Daphne gnidioides</i>					
Boş	-228,6	117,3				Boş	-68,2	37,1			
+ Bölge	-235,0	121,5	8,4	4	0,003	+ Bölge	-67,7	37,9	1,5	4	0,221
+ Yangın Rejimi	-228,2	118,1	1,6	4	0,207	+ Yangın Rejimi	-67,5	37,7	1,3	4	0,262
+ B*YR	-234,3	123,1	11,7	6	0,008						
<i>Phillyrea latifolia</i>						<i>Cistus salvifolius</i>					
Boş	-120,3	63,2				Boş	-33,3	19,6			
+ Bölge	-129,1	68,6	10,8	4	0,001	+ Bölge	-32,7	20,4	1,5	4	0,228
+ Yangın Rejimi	-125,9	67,0	7,6	4	0,005						
+ B*YR	-128,1	70,0	13,8	6	0,003	<i>Cistus creticus</i>					
						Boş	-46,4	26,2			
<i>Juniperus oxycedrus</i>						+ Bölge	51,8	-22,0	1,0	4	0,328
Boş	-60,7	33,4				+ Yangın Rejimi	-47,5	27,7	3,0	4	0,082
+ Bölge	-62,4	35,2	3,6	4	0,056						
<i>Pistacia lentiscus</i>						<i>Arbutus andrachne</i>					
Boş	-84,3	45,1				Boş	-27,2	16,6			
+ Bölge	-82,5	45,2	0,1	4	0,705	+ Yangın Rejimi	-26,7	17,3	1,5	4	0,223
<i>Pistacia terebinthus</i>						<i>Euphorbia characias</i>					
Boş	-102,7	54,4				Boş	-62,0	34,0			
+ Bölge	-105,0	56,5	4,2	4	0,039	+ Bölge	-68,4	38,2	8,4	4	0,003
+ Yangın Rejimi	-101,4	54,7	0,7	4	0,394						
+ B*YR	-105,9	58,9	9,1	6	0,027						



Şekil 3.19. *Quercus coccifera*, *Phillyrea latifolia*, *Juniperus oxycedrus* ve *Pistacia lentiscus* türlerinde yaprak kalınlığı indeks değerlerinin çalışma bölgesi ve yangın rejimlerine göre değişimi.



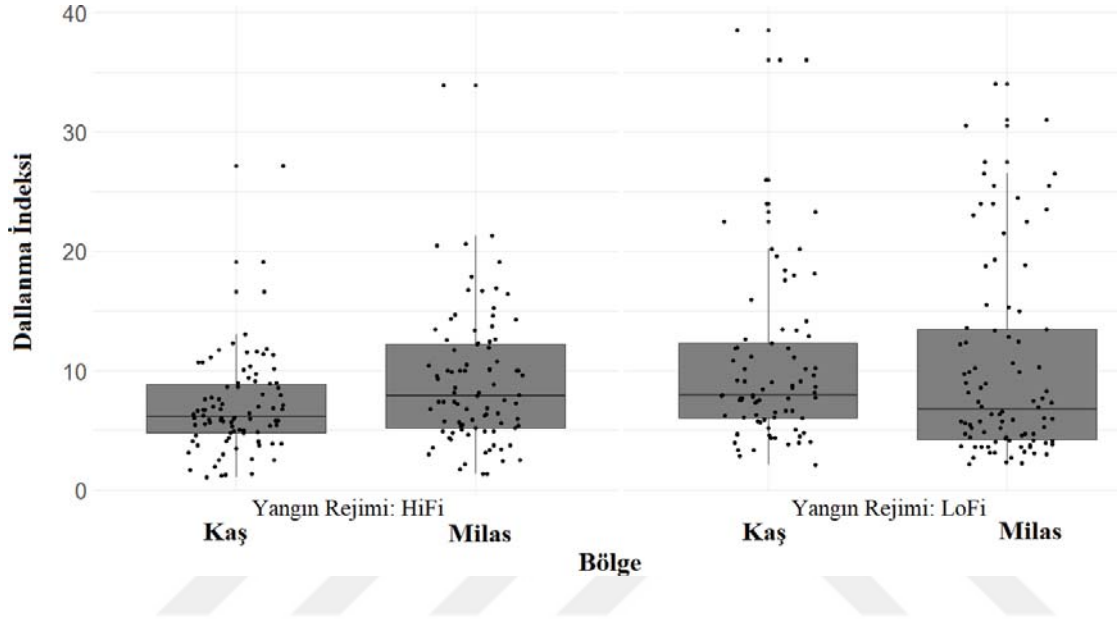
Şekil 3.20. *Pistacia terebinthus*, *Euphorbia characias*, *Cistus salviifolius*, *Arbutus andrachne* türlerinde yaprak kalınlığı indeks değerlerinin çalışma bölgesi ve yangın rejimlerine göre değişimi



Şekil 3.21. *Cistus creticus*, *Daphne gnidioides*, *Phlomis lycia* ve *Syrax officinalis* yaprak kalınlığı indeks değerlerinin çalışma bölgesi ve yangın rejimlerine göre değişimi

3.3.5. Dallanma indeksi

Farklı yangın rejimine sahip alanlarda yer alan bitki komünitelerinin dallanma indeksi değerleri bakımından istatistiksel olarak farklılık gösterdiği tespit edilmiştir (Tablo 3.12, Tablo 3.13). Bu farklılığın, daha az yangının görüldüğü yerlerde dallanma indeksinin daha yüksek değerler almasından kaynaklandığı görülmüştür (Şekil 3.22).



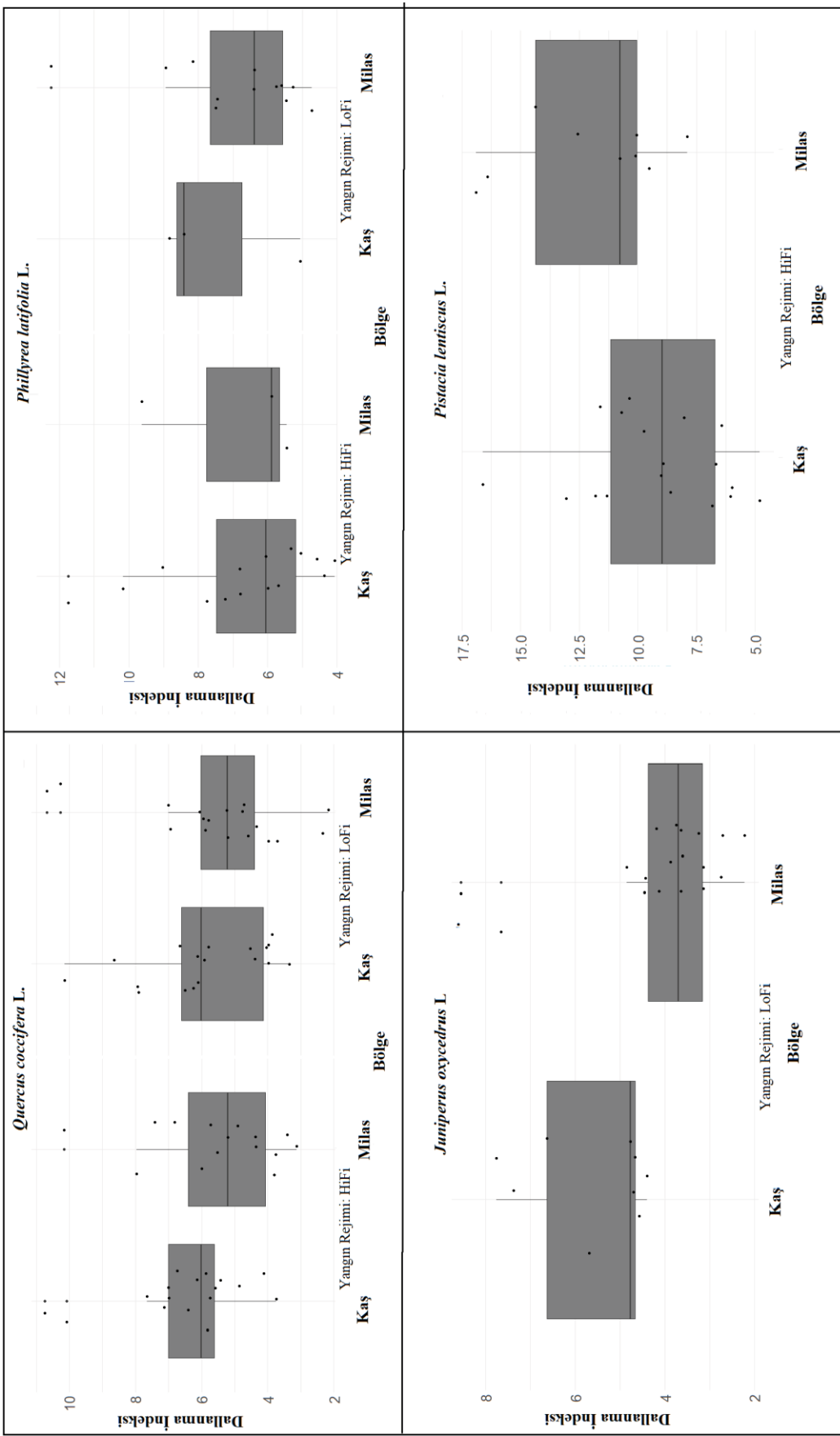
Şekil 3.22. Dallanma indeksi değerlerinin farklı yangın rejimi ve çalışma alanlarındaki bitki komünitelerindeki durumu.

Tablo 3.12. Komünite seviyesindeki dallanma indeksi verisinin çalışma bölgesi ve yangın rejimi için oluşturulan genel doğrusal karma modelinin özeti. Model analizleri, sadece rassal faktörü (alt alan) içeren bir boş model ile hem rassal hem de sabit faktörü (bölge ya da yangın rejimi) içeren modelin arasındaki farkı test etmektedir. AIC is Akaike Ölçütünü, logLik is log-olabilirlik değerini, L. oranı, olabilirlik oranını, d.f. ise serbestlik derecesini ifade etmektedir. İstatistiksel olarak anlamlı ($P < 0,05$) olasılık değerleri koyu olarak verilmiştir.

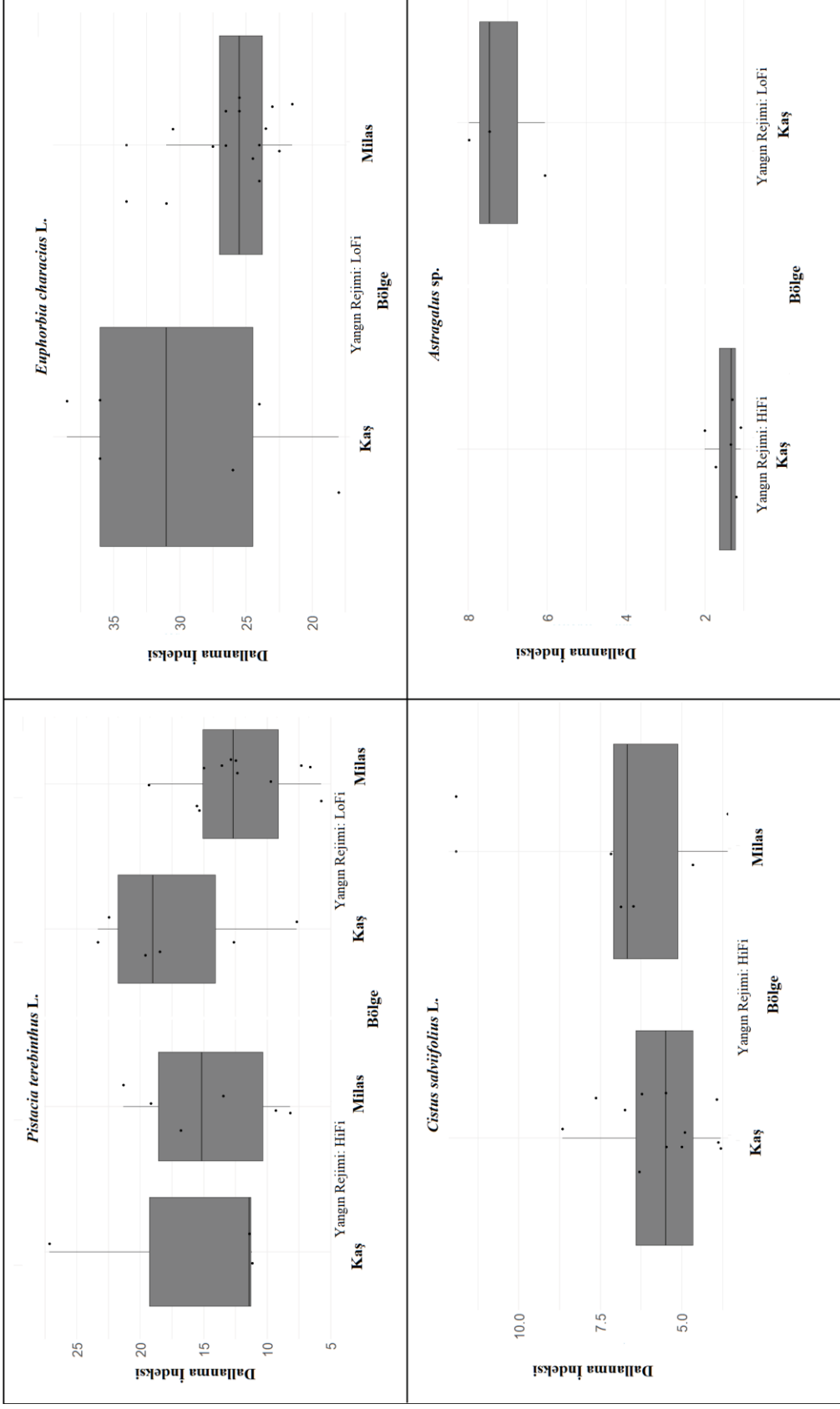
Model	AIC	logLik	L. oranı	d.f.	P
Boş	966,3	-480,1			
+ Bölge	968,0	-480,0	0,34	4	0,558
+ Yangın Rejimi	964,3	-478,1	4,06	4	0,043
+ B*YR	964,4	-476,2	7,9	6	0,047

Tablo 3.13. Popülasyon seviyesindeki dallanma indeksi verisinin çalışma bölgesi ve yangın rejimi için oluşturulan genel doğrusal karma modelinin özeti. Sonuçlar, yalnızca çalışma alanlarında yaygın olarak bulunan altı tür için sunulmuştur. Model analizleri, sadece rassal faktörü (alt alan) içeren bir boş model ile hem rassal hem de sabit faktörü (bölge ya da yangın rejimi) içeren modelin arasındaki farkı test etmektedir. AIC is Akaike Ölcütünü, logLik is log-olabilirlik değerini, L. oranı, olabilirlik oranını, d.f. ise serbestlik derecesini ifade etmektedir. İstatistiksel olarak anlamlı ($P < 0,05$) olasılık değerleri koyu olarak verilmiştir.

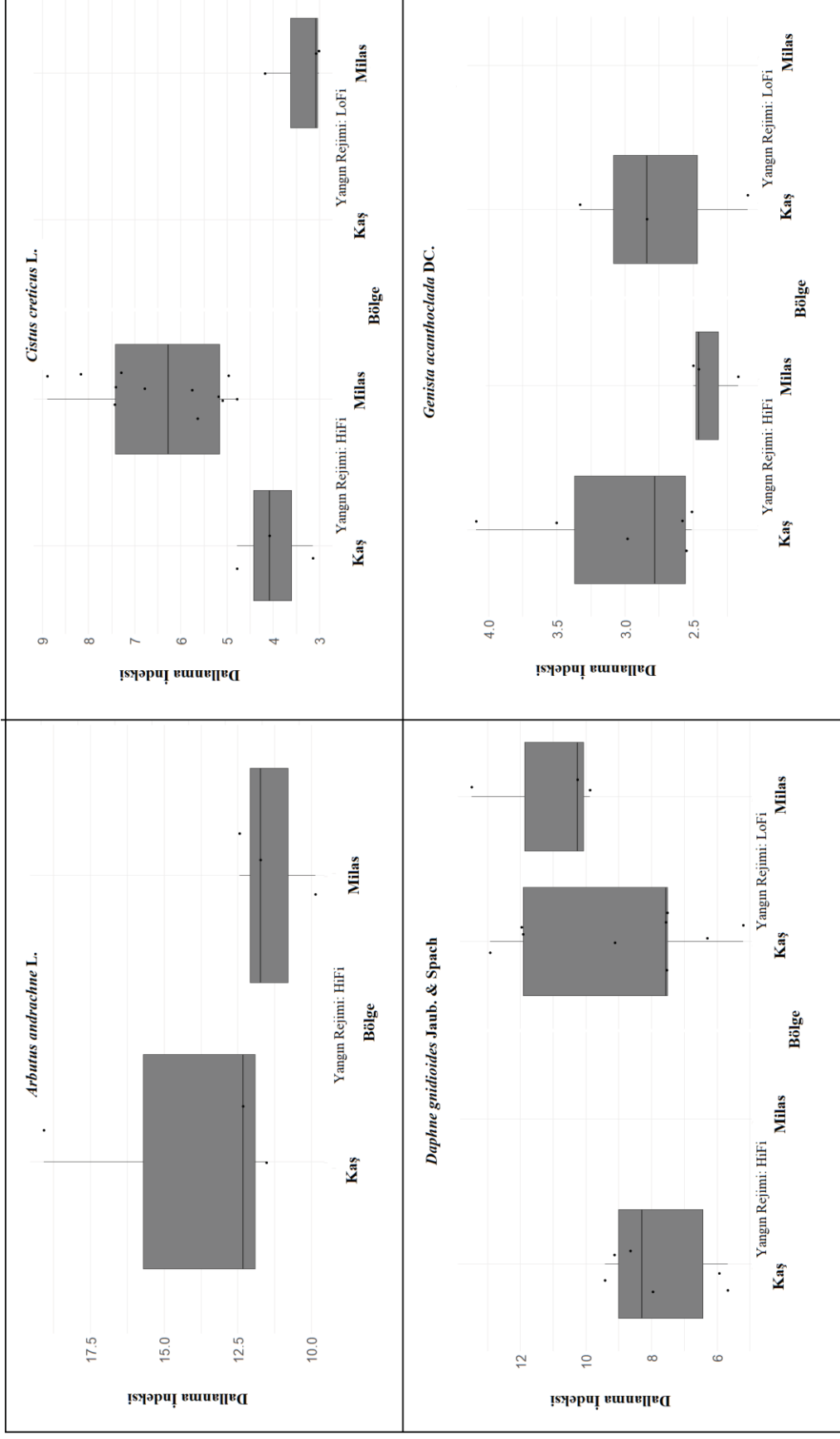
Model	AIC	logLik	L. oranı	d.f.	P	Model	AIC	logLik	L. oranı	d.f.	P
<i>Quercus coccifera</i>						<i>Daphne gnidioides</i>					
Boş	73,4	-33,7		4	0,107	Boş	24,5	-9,2		4	0,042
+ Bölge	72,8	-32,4	2,5	4	0,473	+ Bölge	22,3	-7,2	4,1		
+ Yangın Rejimi	74,9	-33,4	0,5	4	0,327	<i>Cistus salvifolius</i>					
+ B*YR	76,0	-32,0	3,4	6	0,023	Boş	22,8	-8,3		4	0,299
<i>Phillyrea latifolia</i>						+ Bölge	23,7	-7,9	1,1		
Boş	34,1	-14,0		4	0,919	<i>Cistus creticus</i>					
+ Bölge	36,1	-14,0	0,0	4	0,580	Boş	21,3	-7,6		4	0,076
+ Yangın Rejimi	35,8	-13,9	0,3	6	0,790	+ Bölge	20,2	-6,1	3,1		
+ B*YR	39,1	-13,5	1,0			+ Yangın Rejimi	16,0	-4,0	7,3	4	0,006
<i>Juniperus oxycedrus</i>						<i>Arbutus andrachne</i>					
Boş	27,8	-10,9		4	0,000	Boş	11,6	-2,8		4	0,174
+ Bölge	23,1	-7,5	6,6			+ Yangın Rejimi	11,7	-1,8	1,8		
<i>Pistacia lentiscus</i>						<i>Euphorbia characias</i>					
Boş	45,3	-19,6		4	0,023	Boş	35,6	-14,8		4	0,168
+ Bölge	42,2	-17,1	5,1			+ Bölge	35,8	-13,9	1,9		
<i>Pistacia terebinthus</i>						<i>Genista acanthoclada</i>					
Boş	65,2	-29,6		4	0,044	Boş	-3,7	4,8		4	0,103
+ Bölge	63,1	-27,6	4,0	4	0,447	+ Bölge	-4,3	6,1	2,7		
+ Yangın Rejimi	66,6	-29,3	0,6	6	0,142	+ Yangın Rejimi	-1,6	4,8	0,0	4	0,876
+ B*YR	65,7	-26,8	5,4								
<i>Astragalus sp.</i>											
Boş	9,9	-1,9		4	0,002						
+ Yangın Rejimi	-2,1	5,1	13,9								



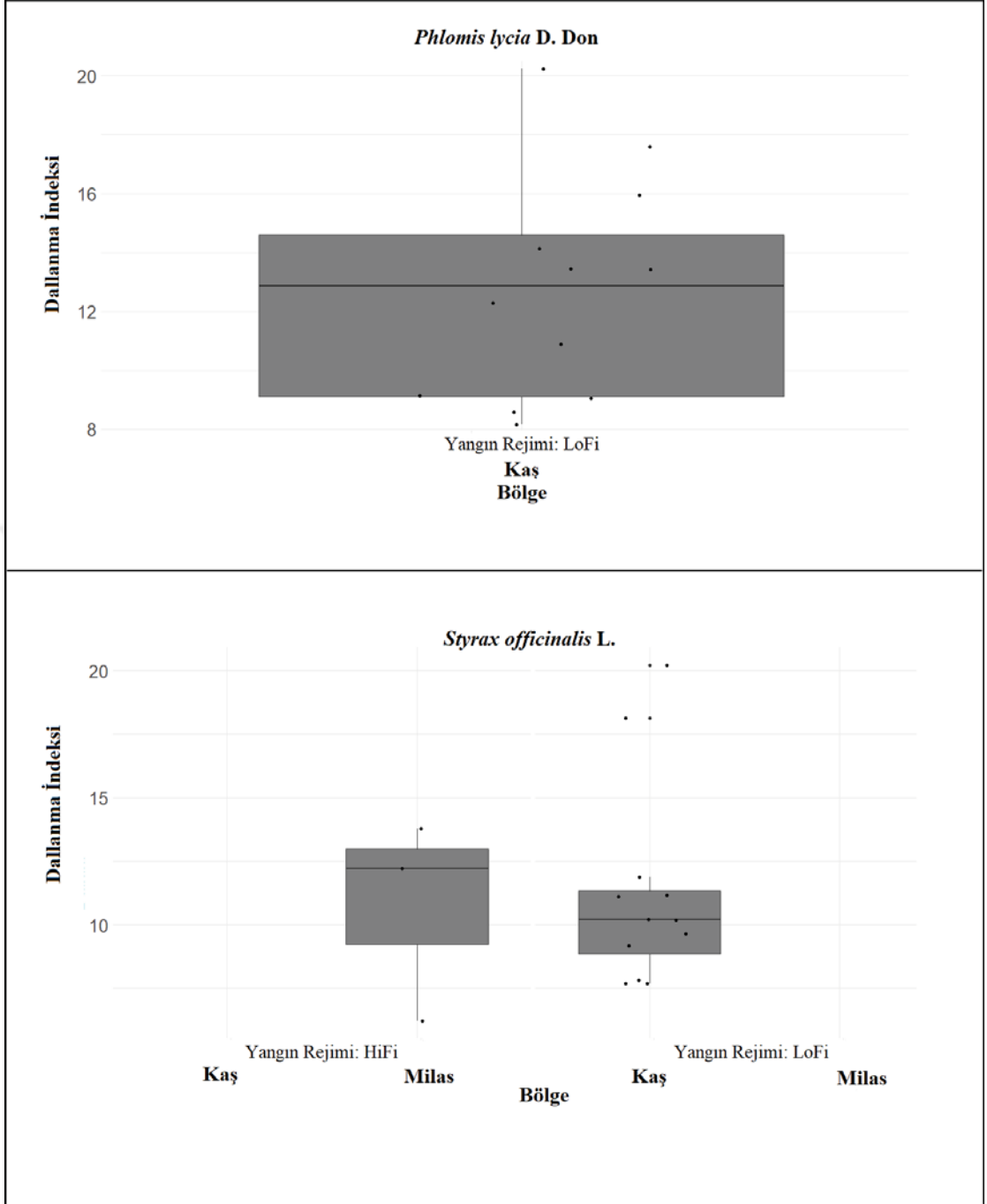
Sekil 3.23. *Quercus coccifera*, *Phillyrea latifolia*, *Juniperus oxycedrus* ve *Pistacia lentiscus*'da dallanma indeksi değerlerinin çalışma bölgesi ve yangın rejimlerine göre değişimi.



Şekil 3.24. *Pistacia terebinthus*, *Euphorbia characias*, *Cistus salviifolius*, *Astragalus* sp.'da dallanma indeksi değerlerinin çalışma bölgesi ve yangın rejimlerine göre değişimi.



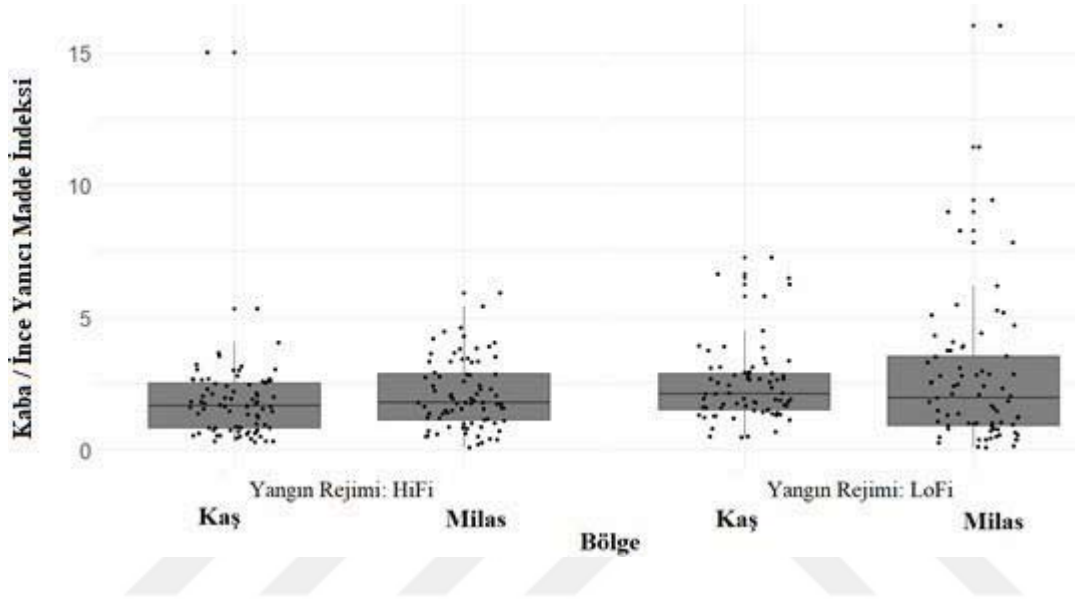
Şekil 3.25. *Arbutus andrachne*, *Cistus creticus*, *Daphne gnidioides*, *Genista acanthoclada*'da dallanma indeksi değerlerinin çalışma bölgesi ve yangın rejimlerine göre değişimi.



Şekil 3.26. *Phlomis lycia*, *Styrax officinalis*'de dallanma indeksi değerlerinin çalışma bölgesi ve yangın rejimlerine göre değişimi.

3.3.6. Kaba ince yanıcı madde

Farklı yangın rejimine sahip alanlarda yer alan bitki komünitelerinin kaba / ince yanıcı madde indeksi değerleri bakımından istatistiksel olarak farklılık gösterdiği tespit edilmiştir (Tablo 3.14, Tablo 3.15). Bu farklılığın, daha az yangının görüldüğü yerlerde kaba / ince yanıcı madde indeksinin daha yüksek değerler almasından kaynaklandığı görülmüştür (Şekil 3.27).



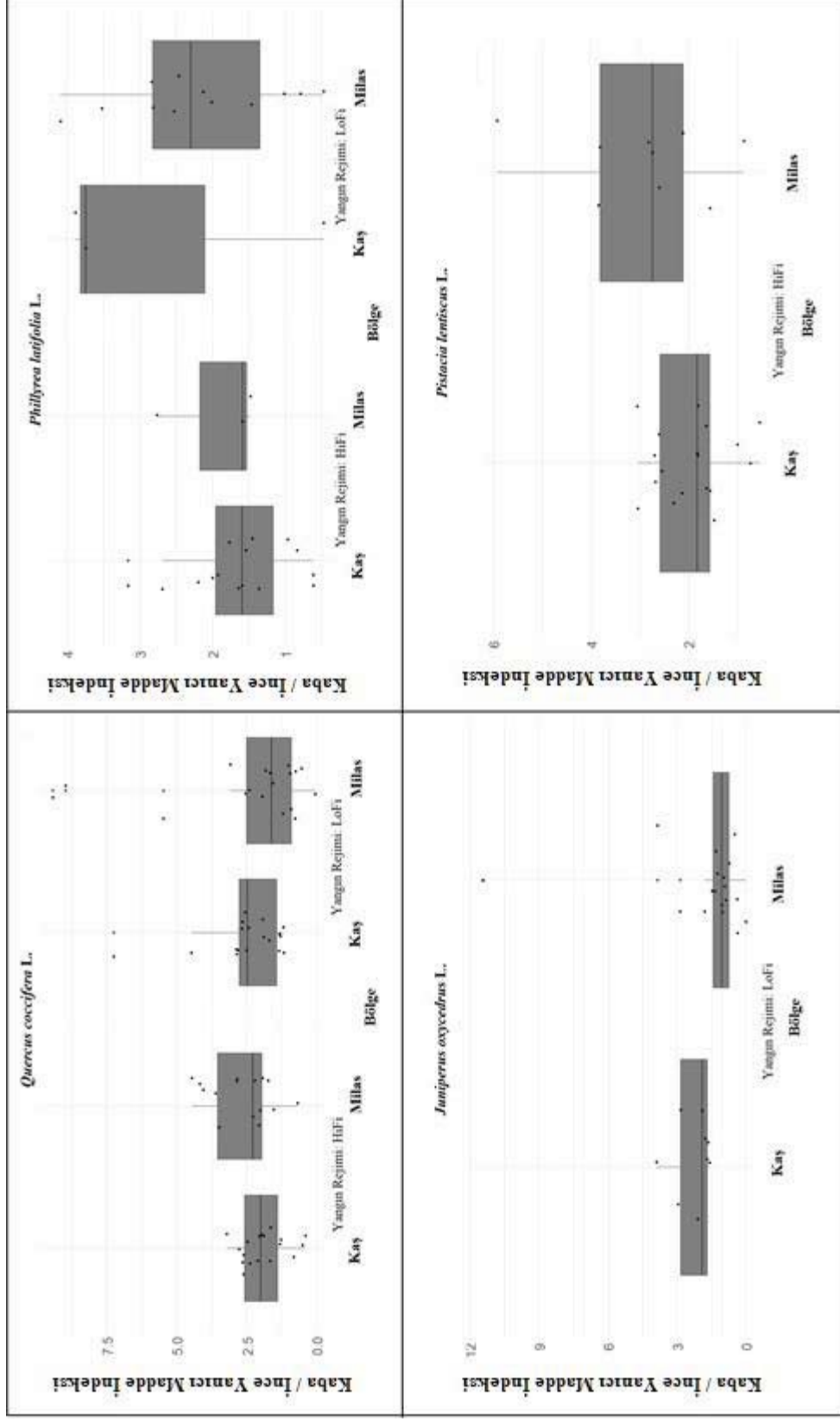
Şekil 3.27. Kaba / ince yanıcı madde indeksi değerlerinin farklı yangın rejimi ve çalışma alanlarındaki bitki komünitelerindeki durumu.

Tablo 3.14. Komünite seviyesindeki kaba / ince yanıcı madde indeksi verisinin çalışma bölgesi ve yangın rejimi için oluşturulan genel doğrusal karma modelinin özeti. Model analizleri, sadece rassal faktörü (alt alan) içeren bir boş model ile hem rassal hem de sabit faktörü (bölge ya da yangın rejimi) içeren modelin arasındaki farkı test etmektedir. AIC is Akaike Ölçütünü, logLik is log-olabilirlik değerini, L. oranı, olabilirlik oranını, d.f. ise serbestlik derecesini ifade etmektedir. İstatistiksel olarak anlamlı ($P < 0,05$) olasılık değerleri koyu olarak verilmiştir.

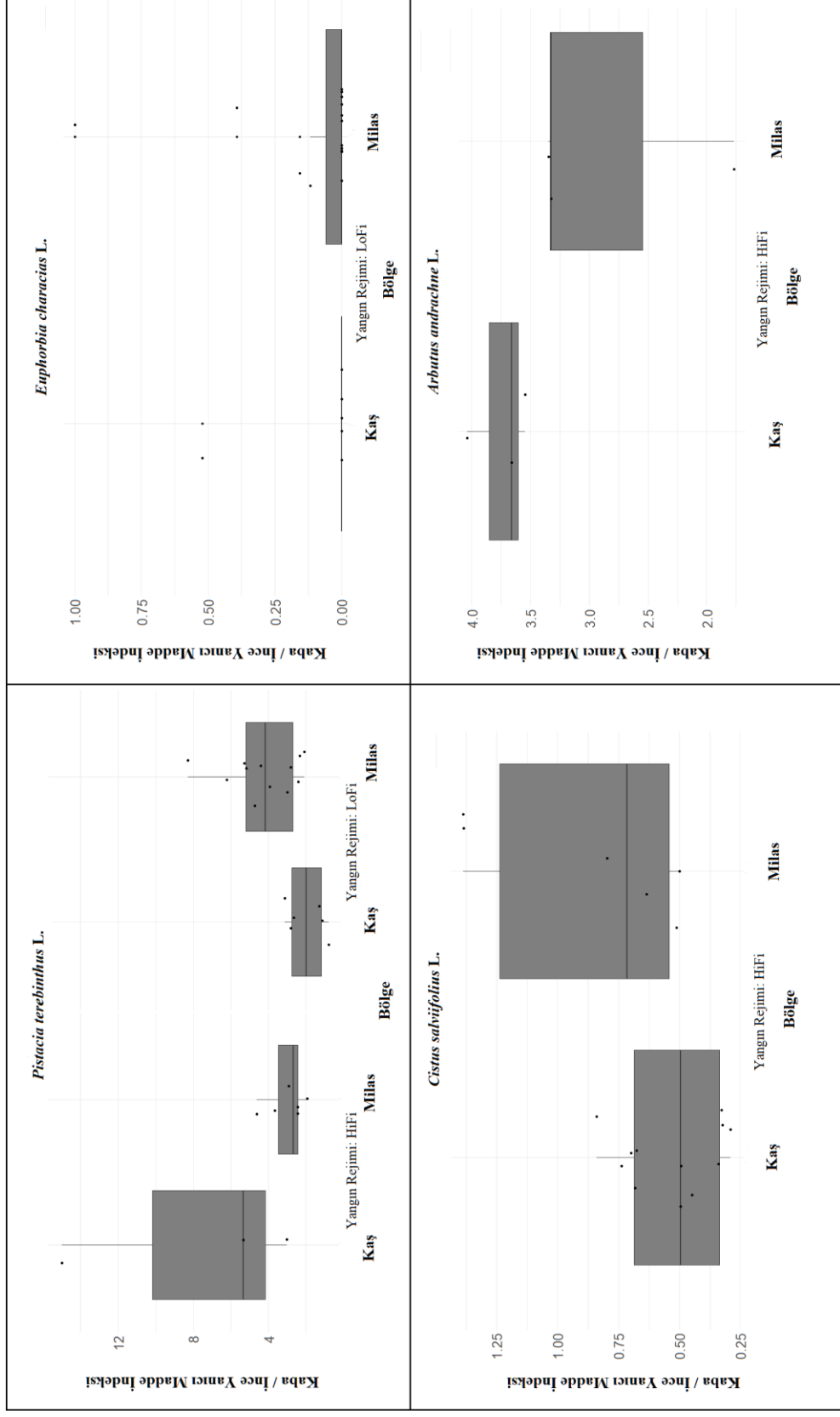
Model	AIC	logLik	L. oranı	d.f.	P
Boş	510,5	-252,2			
+ Bölge	512,3	-252,2	0,1	4	0,725
+ Yangın Rejimi	507,7	-249,8	4,8	4	0,028
+ B*YR	510,5	-249,2	6,0	6	0,111

Tablo 3.15. Popülasyon seviyesindeki kaba / ince yanıcı madde indeks verisinin çalışma bölgesi ve yangın rejimi için oluşturulan genel doğrusal karma modelinin özeti. Sonuçlar, yalnızca çalışma alanlarında yaygın olarak bulunan altı tür için sunulmuştur. Model analizleri, sadece rassal faktörü (alt alan) içeren bir boş model ile hem rassal hem de sabit faktörü (bölge ya da yangın rejimi) içeren modelin arasındaki farkı test etmektedir. AIC is Akaike Ölcütünü, logLik is log-olabilirlik değerini, L. oranı, olabilirlik oranını, d.f. ise serbestlik derecesini ifade etmektedir. İstatistiksel olarak anlamlı ($P < 0,05$) olasılık değerleri koyu olarak verilmiştir.

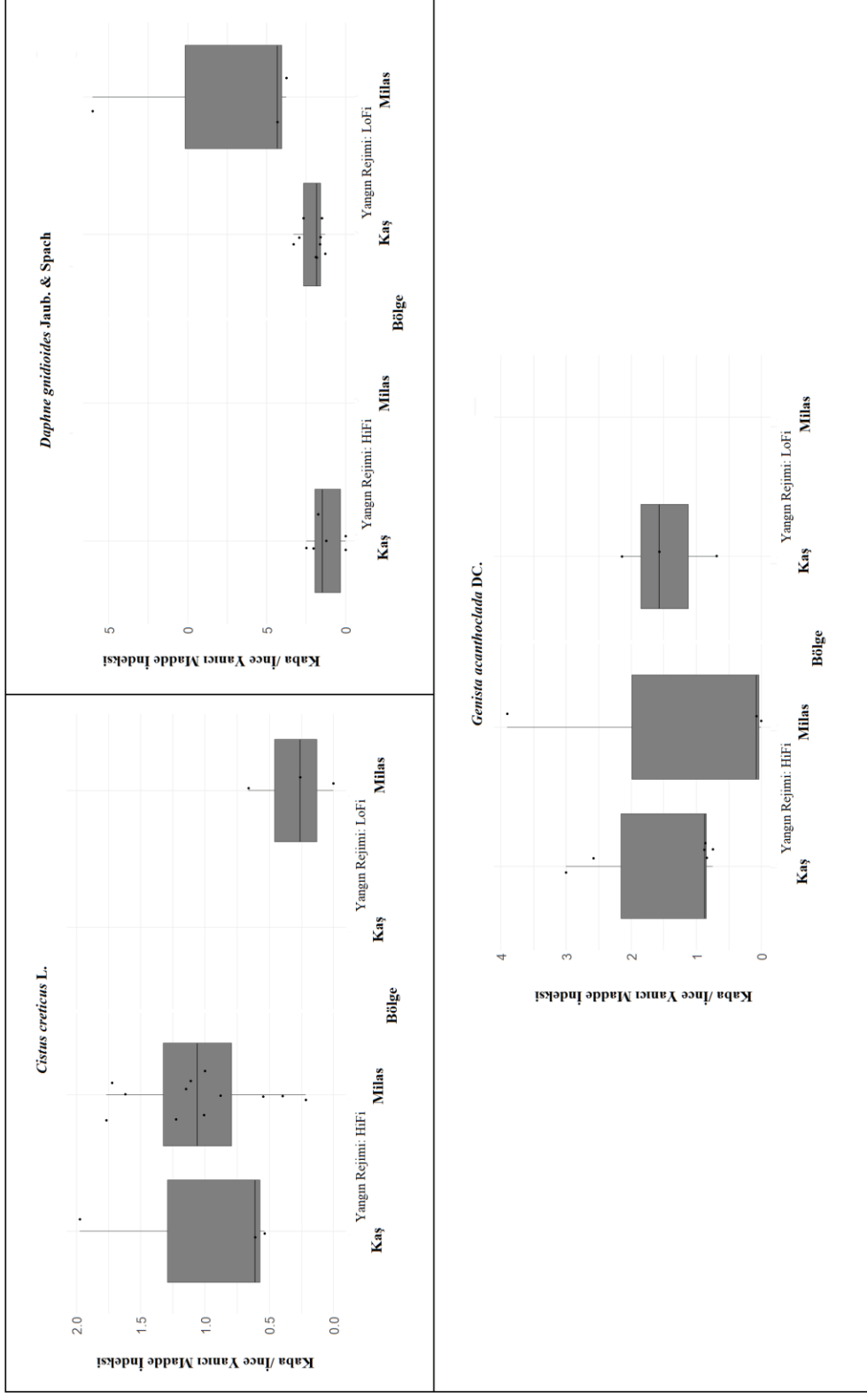
Model	AIC	logLik	L. oranı	d.f.	P	Model	AIC	logLik	L. oranı	d.f.	P
<i>Quercus coccifera</i>						<i>Daphne gnidioides</i>					
Boş	101,5	-47,8				Boş	49,8	-21,9			
+ Bölge	103,3	-47,7	0,2	4	0,629	+ Bölge	41,1	-16,6	10,6	4	0,001
+ Yangın Rejimi	103,5	-47,8	0,0	4	0,922	+ Yangın Rejimi	47,0	-19,5	4,7	4	0,030
+ B*YR	104,7	-46,4	2,8	6	0,422	<i>Cistus salvifolius</i>					
						Boş	-4,7	5,4			
<i>Phillyrea latifolia</i>						+ Bölge	23,7	-7,9	1,1	4	0,299
Boş	33,7	-13,9				<i>Cistus creticus</i>					
+ Bölge	34,8	-13,4	0,9	4	0,334	Boş	15,4	-4,7			
+ Yangın Rejimi	33,7	-12,9	2,0	4	0,157	+ Bölge	17,3	-4,7	0,1	4	0,738
+ B*YR	37,1	-12,6	2,6	6	0,461	+ Yangın Rejimi	16,7	-2,6	4,3	4	0,039
<i>Juniperus oxycedrus</i>						<i>Arbutus andrachne</i>					
Boş	54,3	-24,1				Boş	4,7	0,6			
+ Bölge	54,3	-23,1	2,0	4	0,157	+ Yangın Rejimi	3,7	2,1	3,0	4	0,084
<i>Pistacia lentiscus</i>						<i>Euphorbia characias</i>					
Boş	25,5	-9,7				Boş	13,2	-3,6			
+ Bölge	24,0	-8,0	3,4	4	0,065	+ Bölge	15,1	-3,6	0,0	4	0,788
<i>Pistacia terebinthus</i>						<i>Genista acanthoclada</i>					
Boş	54,0	-24,0				Boş	25,8	-9,9			
+ Bölge	55,8	-23,9	0,3	4	0,605	+ Bölge	26,5	-9,2	1,4	4	0,245
+ Yangın Rejimi	55,1	-23,6	0,9	4	0,336	+ Yangın Rejimi	27,7	-9,8	0,1	4	0,686
+ B*YR	46,4	-17,2	13,7	6	0,003						



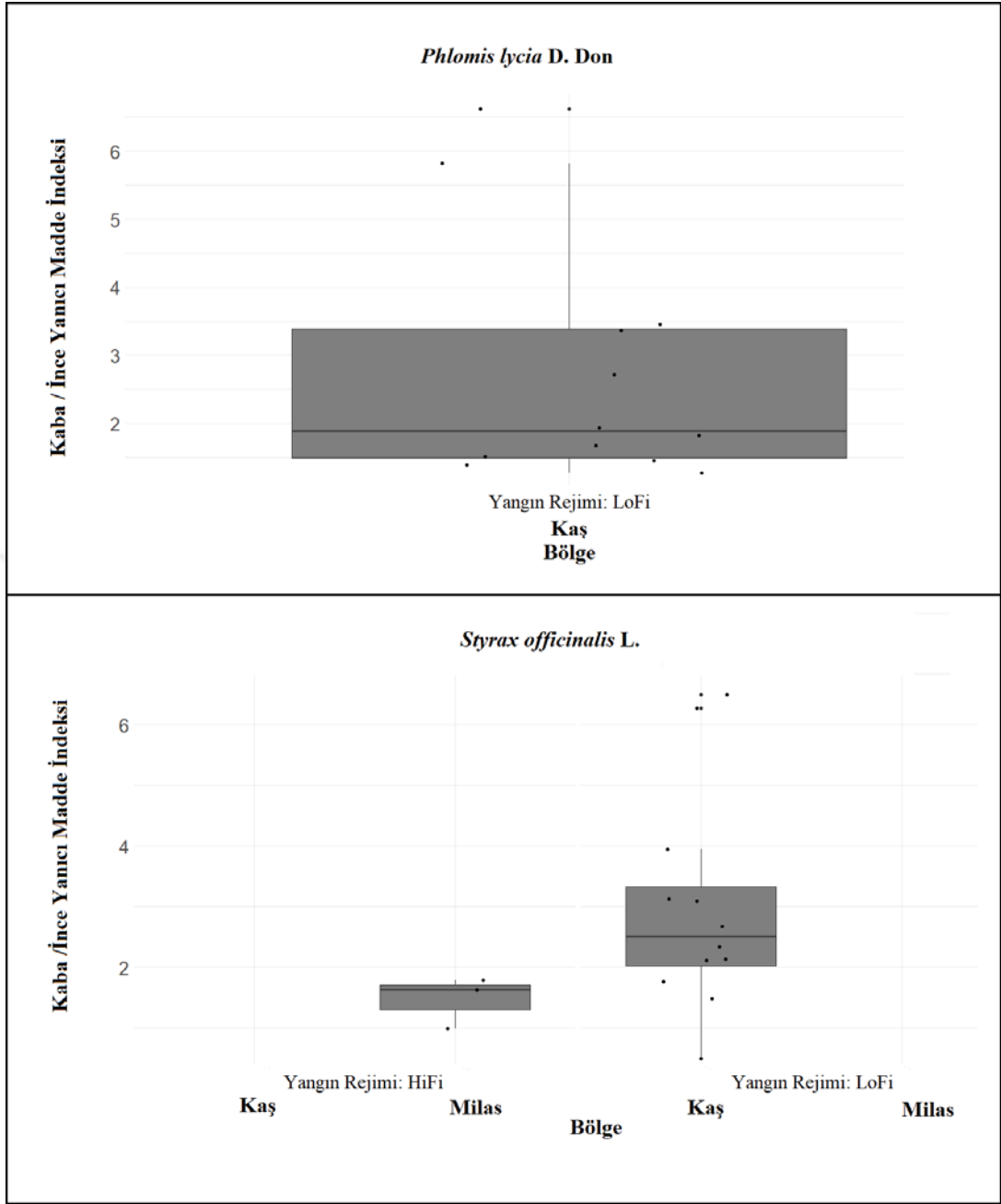
Şekil 3.28. *Quercus coccifera*, *Phillyrea latifolia*, *Juniperus oxycedrus* ve *Pistacia lentiscus* türlerinde kaba / ince yanıcı madde indeks değerlerinin çalışma bölgesi ve yangın rejimlerine göre değişimi.



Şekil 3.29. *Pistacia terebinthus*, *Euphorbia characias*, *Cistus salviifolius*, *Arbutus andrachne* türlerinde kaba / ince yanıcı madde indeks değerlerinin çalışma bölgesi ve yangın rejimlerine göre değişimi



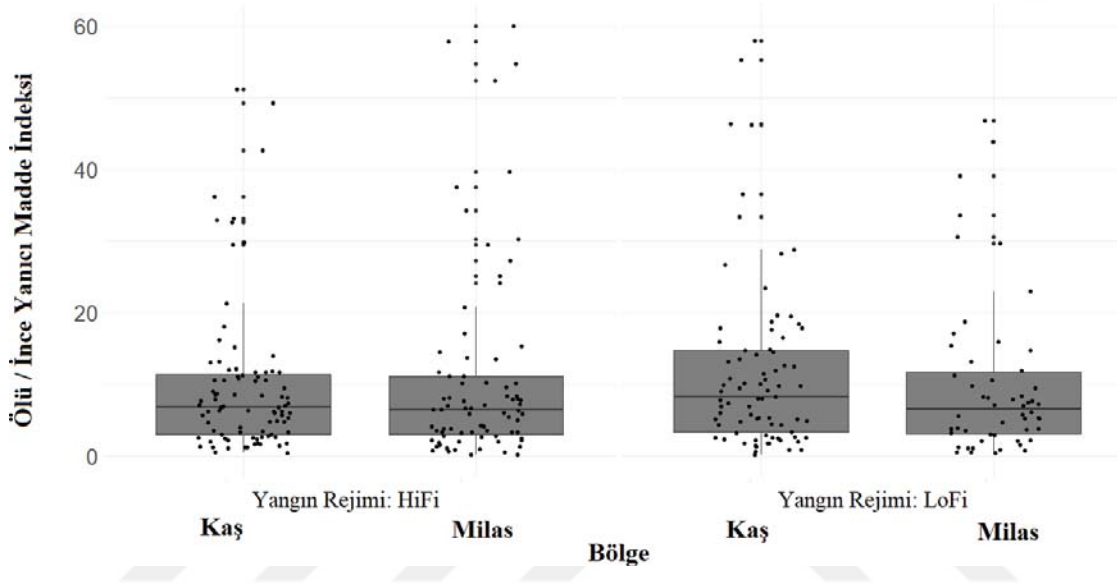
Şekil 3.30. *Cistus creticus*, *Daphne gnidioides*, *Phlomis lycia* ve *Genista acanthoclada* türlerinin kaba / ince yanıcı madde indeks değerlerinin çalışma bölgesi ve yangın rejimlerine göre değişimi



Şekil 3.31. *Phlomis lycia* ve *Styrax officinalis* kaba / ince yanıcı madde indeks değerlerinin çalışma bölgesi ve yangın rejimlerine göre değişimi

3.3.7. Ölü / ince yanıcı madde

Farklı yangın rejimine sahip alanlarda yer alan bitki komünitelerinin ölü / ince yanıcı madde indeksi değerleri bakımından istatistiksel olarak farklılık gösterdiği tespit edilmiştir (Tablo 3.16, Tablo 3.17). Bu farklılığın, daha az yangının görüldüğü yerlerde ölü / ince yanıcı madde indeksi indeksinin daha yüksek değerler almasından kaynaklandığı görülmüştür (Şekil 3.32).



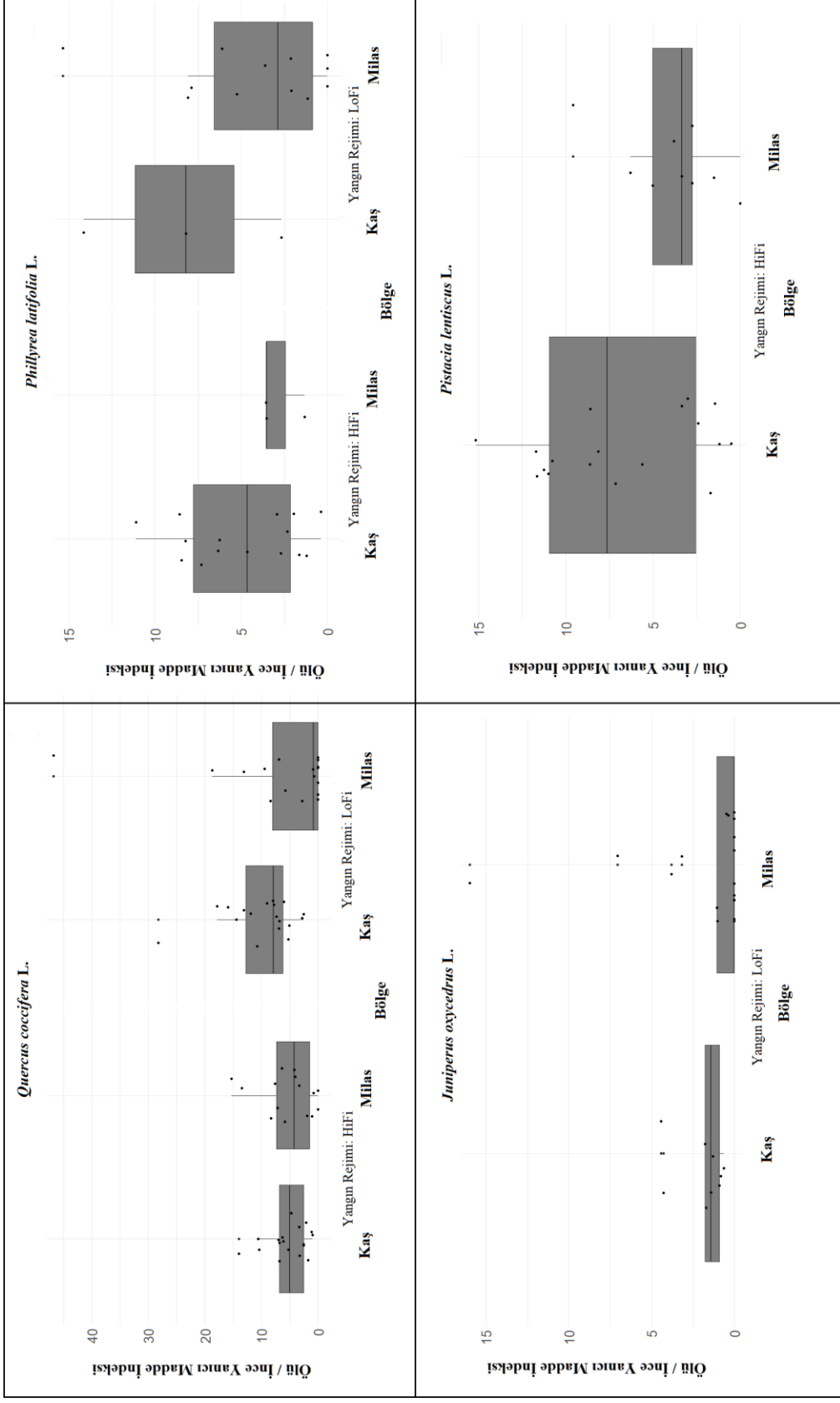
Şekil 3.32. Ölü / ince yanıcı madde indeksi değerlerinin farklı yangın rejimi ve çalışma alanlarındaki bitki komünitelerindeki durumu.

Tablo 3.16. Komünite seviyesindeki ölü / ince yanıcı madde indeksi verisinin çalışma bölgesi ve yangın rejimi için oluşturulan genel doğrusal karma modelinin özeti. Model analizleri, sadece rassal faktörü (alt alan) içeren bir boş model ile hem rassal hem de sabit faktörü (bölge ya da yangın rejimi) içeren modelin arasındaki farkı test etmektedir. AIC is Akaike Ölçütünü, logLik is log-olabilirlik değerini, L. oranı, olabilirlik oranını, d.f. ise serbestlik derecesini ifade etmektedir. İstatistiksel olarak anlamlı ($P < 0,05$) olasılık değerleri koyu olarak verilmiştir.

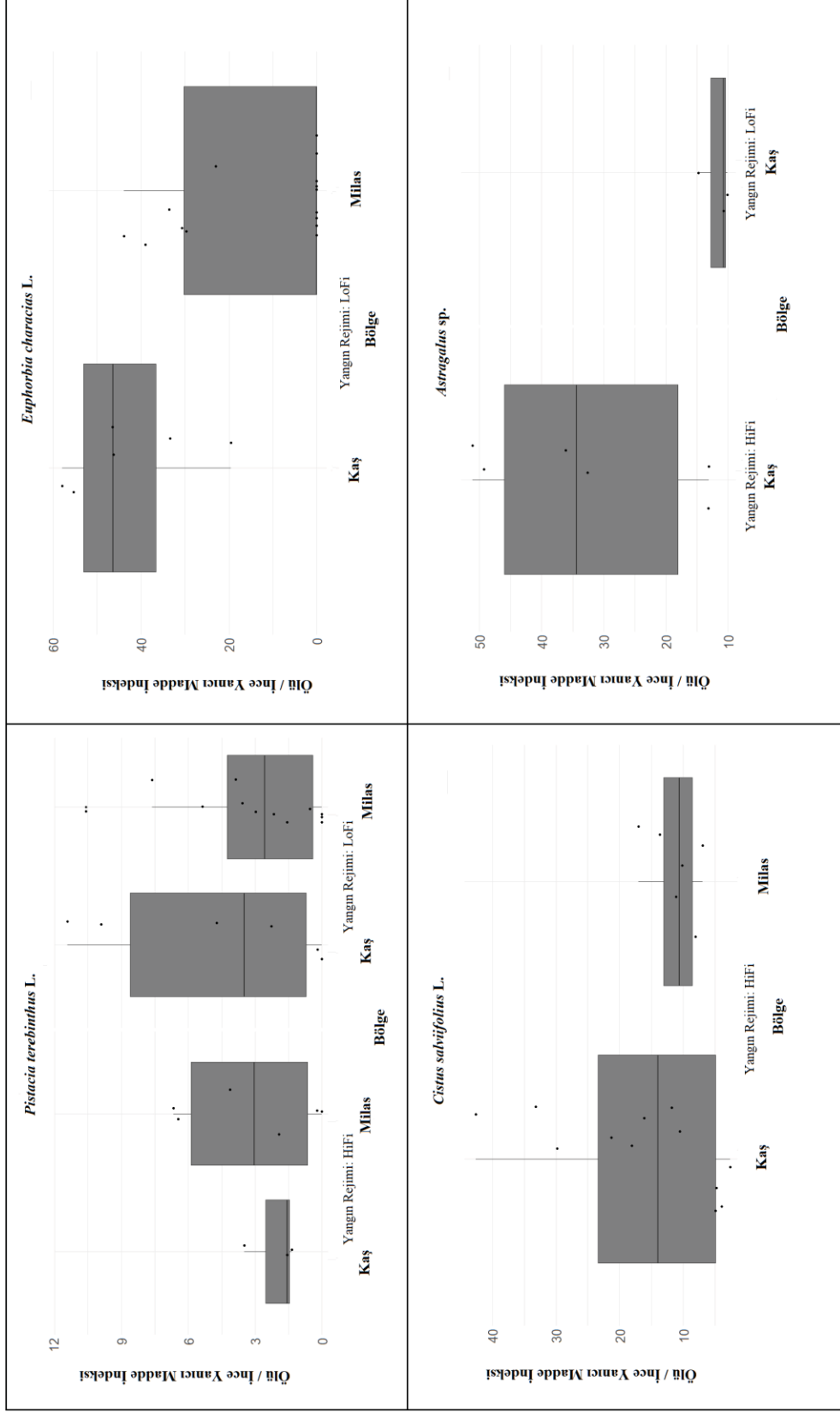
Model	AIC	logLik	L. oranı	d.f.	P
Boş		-480,8			
+ Bölge		-480,7	0,2	5	0,623
+ Yangın Rejimi		-479,0	3,7	5	0,053
+ B*YR		-478,7	4,3	7	0,229

Tablo 3.17. Popülasyon seviyesindeki ölü / ince yanıcı madde indeksi verisinin çalışma bölgesi ve yangın rejimi için oluşturulan genel doğrusal karma modelinin özeti. Sonuçlar, yalnızca çalışmada yaygın olarak bulunan altı tür için sunulmuştur. Model analizleri, sadece rassal faktörü (alt alan) içeren bir boş model ile hem rassal hem de sabit faktörü (bölge ya da yangın rejimi) içeren modelin arasındaki farkı test etmektedir. AIC is Akaike Ölüçütünü, logLik is log-olabilirlik değerini, L. oranı, olabilirlik oranını, d.f. ise serbestlik derecesini ifade etmektedir. İstatistiksel olarak anlamlı ($P < 0,05$) olasılık değerleri koyu olarak verilmiştir.

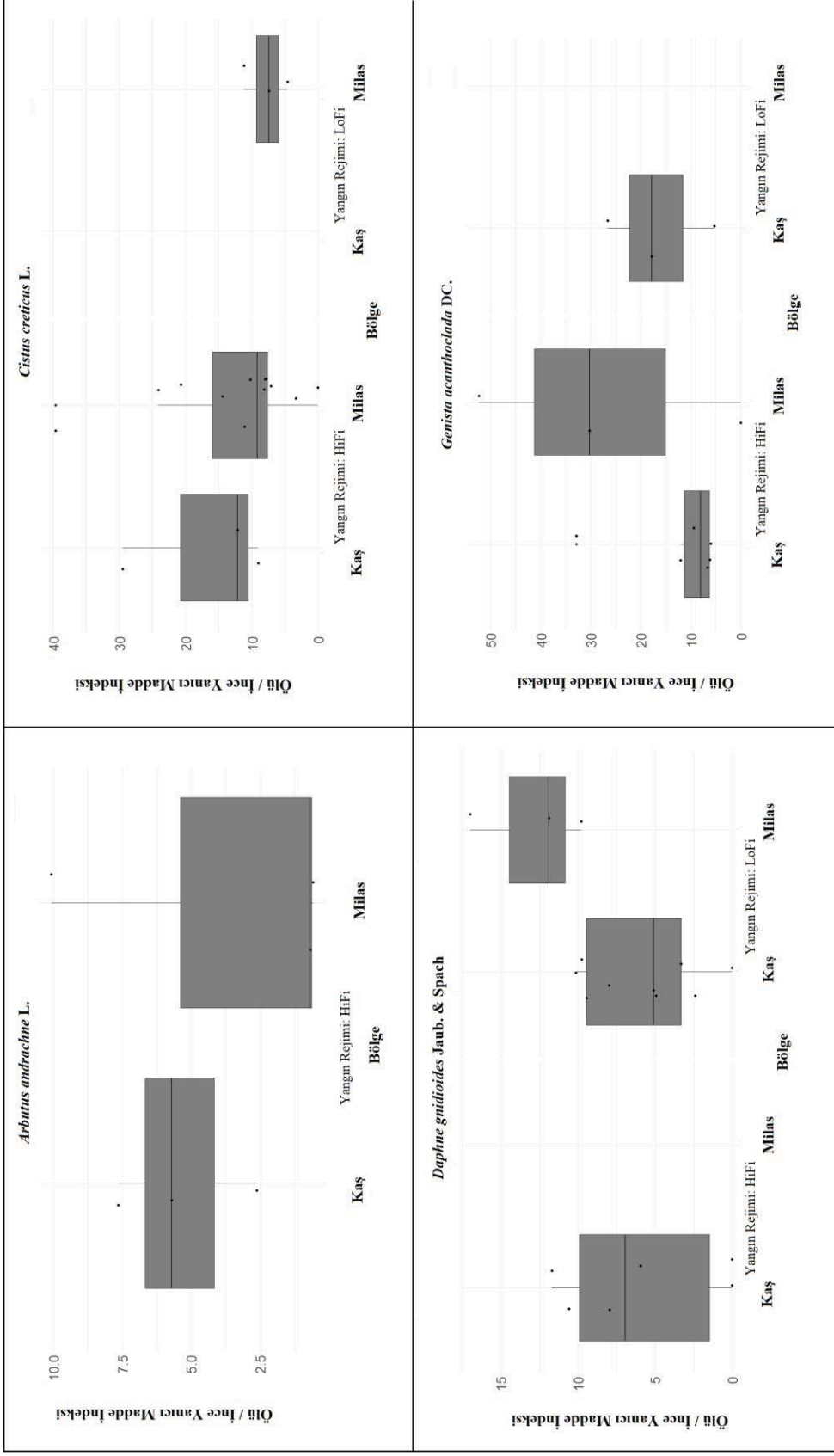
Model	AIC	logLik	L. oranı	d.f.	P	Model	AIC	logLik	L. oranı	d.f.	P
<i>Quercus coccifera</i>						<i>Daphne gnidioides</i>					
Boş	245,0	-119,5				Boş	64,2	-29,0			
+ Bölge	240,7	-116,4	6,3	4	0,012	+ Bölge	62,3	-27,2	3,9	4	0,049
+ Yangın Rejimi	246,5	-119,3	0,5	4	0,492	+ Yangın Rejimi	65,3	-28,6	0,9	4	0,339
+ B*YR	240,1	-114,0	10,9	6	0,012	<i>Cistus salvifolius</i>					
						Boş	65,2	-29,6			
<i>Phillyrea latifolia</i>						+ Bölge	23,7	-7,9	1,1	4	0,299
Boş	99,4	-46,7				<i>Cistus creticus</i>					
+ Bölge	99,0	-45,5	2,3	4	0,131	Boş	68,5	-31,2			
+ Yangın Rejimi	101,3	-46,6	0,0	4	0,754	+ Bölge	69,5	-30,8	0,9	4	0,338
+ B*YR	101,2	-44,6	4,1	6	0,246	+ Yangın Rejimi	69,9	-30,9	0,6	4	0,443
<i>Juniperus oxycedrus</i>						<i>Arbutus andrachne</i>					
Boş	81,7	-37,8				Boş	22,1	-8,0			
+ Bölge	81,8	-36,9	1,9	4	0,165	+ Yangın Rejimi	23,3	-7,6	0,8	4	0,357
<i>Pistacia lentiscus</i>						<i>Euphorbia characias</i>					
Boş	80,2	-37,1				Boş	112,5	-53,2			
+ Bölge	79,4	-35,7	2,8	4	0,092	+ Bölge	105,5	-48,8	8,9	4	0,002
<i>Pistacia terebinthus</i>						<i>Genista acanthoclada</i>					
Boş	84,9	-39,5				Boş	55,3	-24,6			
+ Bölge	86,7	-39,4	0,2	4	0,649	+ Bölge	56,9	-24,5	0,4	4	0,551
+ Yangın Rejimi	86,9	-39,4	0,0	4	0,851	+ Yangın Rejimi	57,2	-24,6	0,0	4	0,822
+ B*YR	90,5	-39,2	0,4	6	0,931						
<i>Astragalus sp.</i>											
Boş	39	-16,5									
Yangın Rejimi	36,6	-14,3	4,5	4	0,034						



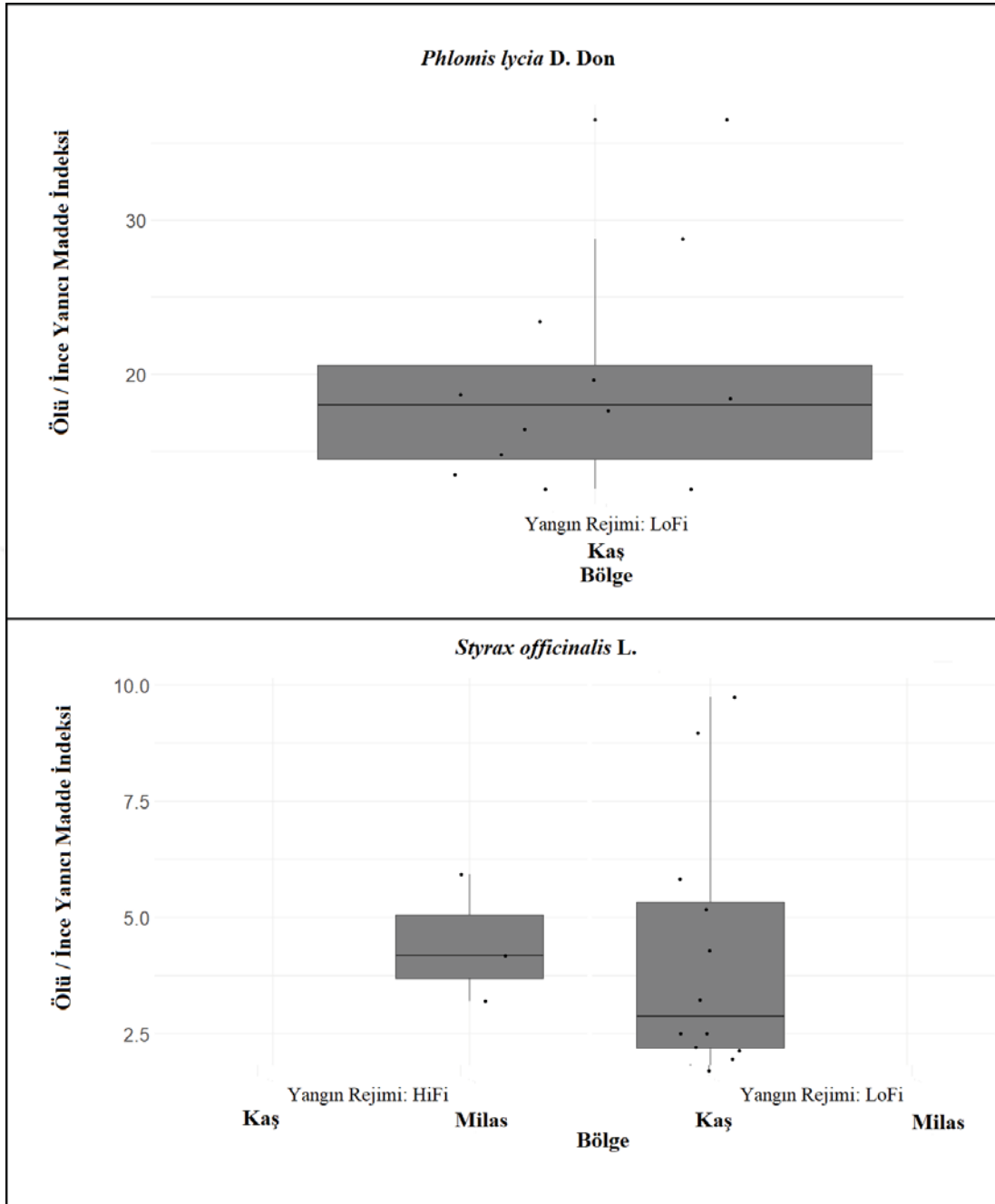
Şekil 3.33. *Quercus coccifera*, *Phillyrea latifolia*, *Juniperus oxycedrus* ve *Pistacia lentiscus* türlerinde ölü / ince yanıcı madde indeks değerlerinin çalışma bölgesi ve yangın rejimlerine göre değişimi.



Şekil 3.34. *Pistacia terebinthus*, *Euphorbia characias*, *Cistus salvifolius*, *Astragalus* sp. türlerinde ölü / ince yanıcı madde indeks değerlerinin çalışma bölgesi ve yangın rejimlerine göre değişimi



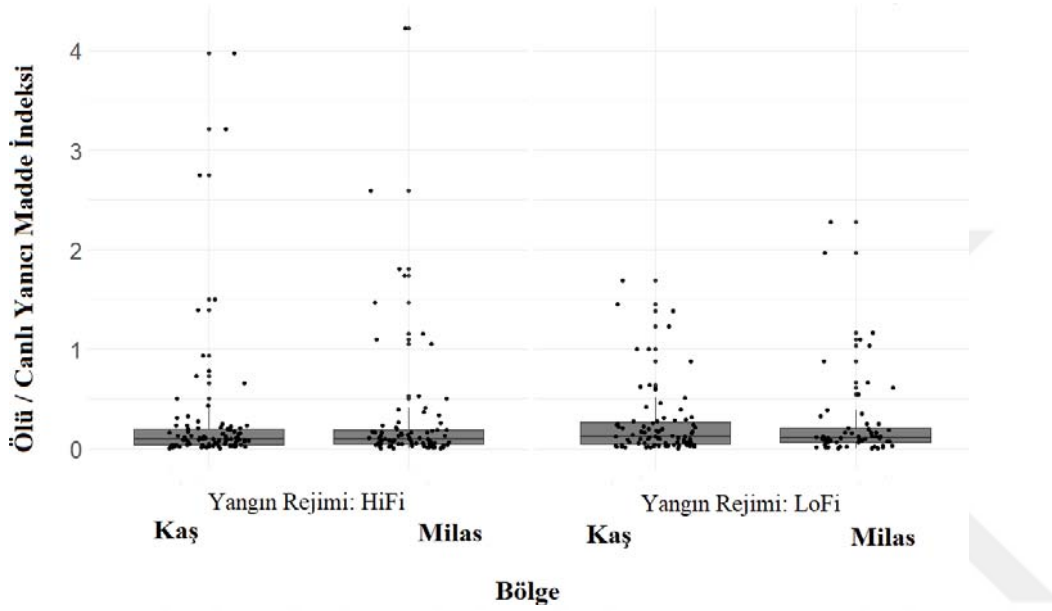
Şekil 3.35. *Arbutus andrachne*, *Cistus creticus*, *Daphne gnidioides*, *Genista acanthoclada*'da ölü / ince yanıcı madde indeks değerlerinin çalışma bölgesi ve yangın rejimlerine göre değişimi.



Şekil 3.36. *Phlomis lycia* ve *Styrax officinalis* ölü / ince yanıcı madde indeks değerlerinin çalışma bölgesi ve yangın rejimlerine göre değişimi

3.3.8. Ölü canlı yanıcı madde

Farklı yangın rejimine sahip alanlarda yer alan bitki komünitelerinin ölü/canlı yanıcı madde indeks değerleri bakımından istatistiksel olarak farklılık gösterdiği tespit edilmiştir (Tablo 3.18, Tablo 3.19). Bu farklılığın, daha az yangının görüldüğü yerlerde ölü canlı yanıcı madde indeksinin daha yüksek değerler almasından kaynaklandığı görülmüştür (Şekil 3.37).



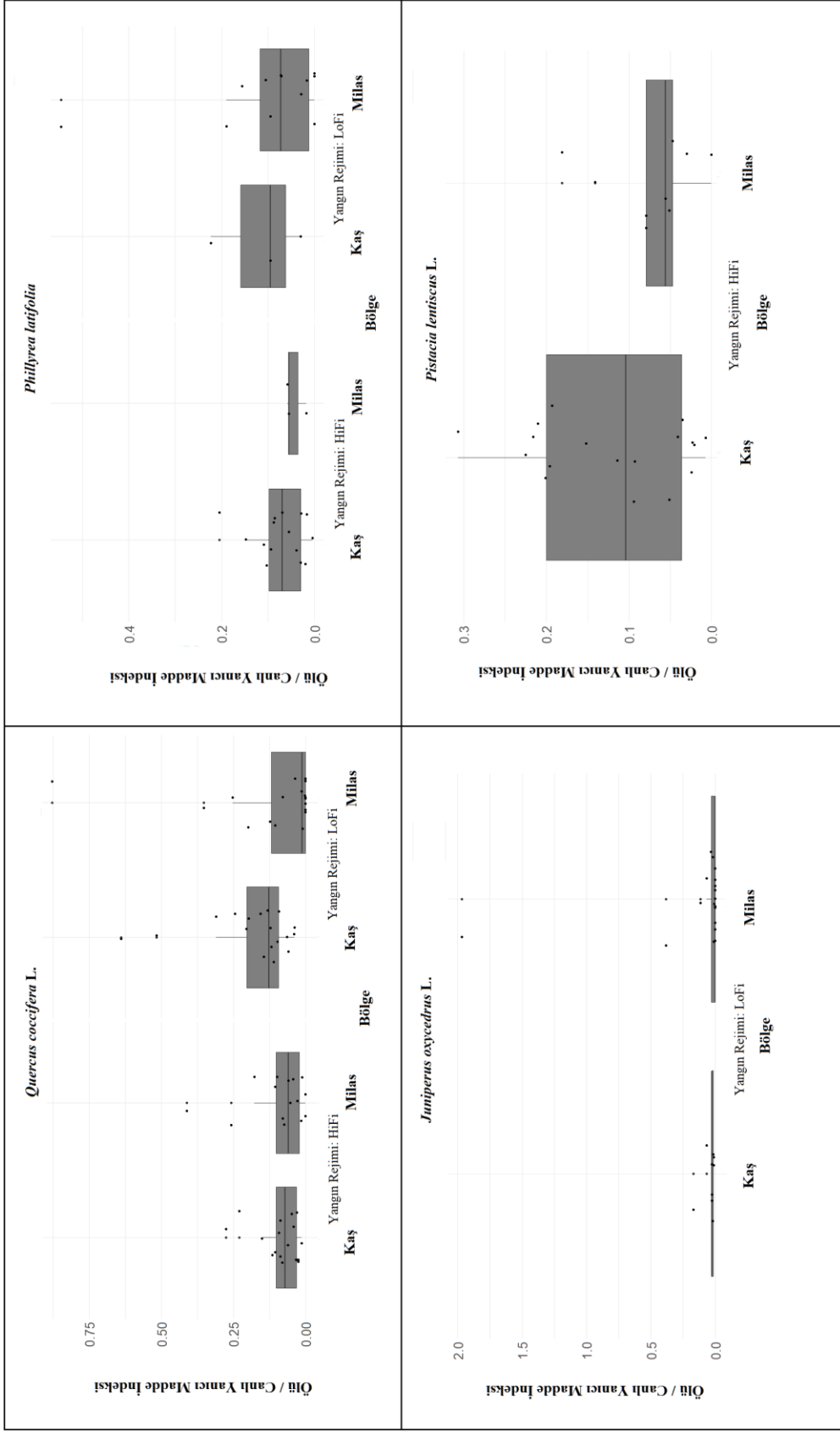
Şekil 3.37. Ölü/canlı yanıcı madde indeksi değerlerinin farklı yangın rejimi ve çalışma alanlarındaki bitki komünitelerindeki durumu.

Tablo 3.18. Komünite seviyesindeki ölü/canlı yanıcı madde indeksi verisinin çalışma bölgesi ve yangın rejimi için oluşturulan genel doğrusal karma modelinin özeti. Model analizleri, sadece rassal faktörü (alt alan) içeren bir boş model ile hem rassal hem de sabit faktörü (bölge ya da yangın rejimi) içeren modelin arasındaki farkı test etmektedir. AIC is Akaike Ölçütünü, logLik is log-olabilirlik değerini, L. oranı, olabilirlik oranını, d.f. ise serbestlik derecesini ifade etmektedir. İstatistiksel olarak anlamlı ($P < 0,05$) olasılık değerleri koyu olarak verilmiştir.

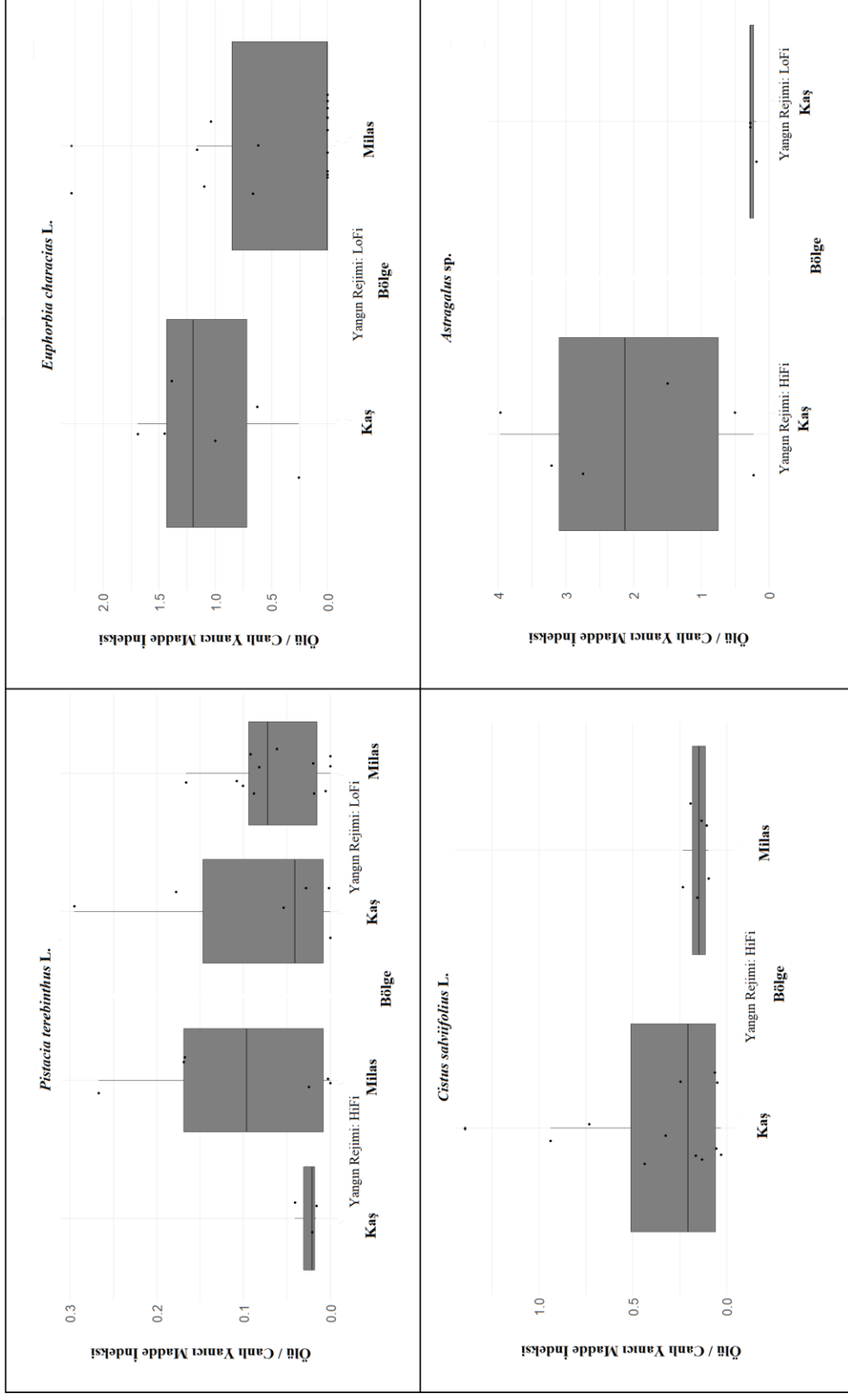
Model	AIC	logLik	L. oranı	d.f.	P
Boş	184,8	-89,4			
+ Bölge	186,8	-89,4	0,0	4	0,992
+ Yangın Rejimi	186,7	-89,3	0,1	4	0,750
+ B*YR	190,6	-89,3	0,1	6	0,989

Tablo 3.19. Popülasyon seviyesindeki ölü/canlı yanıcı madde indeks verisinin çalışma bölgesi ve yangın rejimi için oluşturulan genel doğrusal karma modelinin özeti. Sonuçlar, yalnızca çalışma alanlarında yaygın olarak bulunan altı tür için sunulmuştur. Model analizleri, sadece rassal faktörü (alt alan) içeren bir boş model ile hem rassal hem de sabit faktörü (bölge ya da yangın rejimi) içeren modelin arasındaki farkı test etmektedir. AIC is Akaike Ölcütünü, logLik is log-olabilirlik değerini, L. oranı, olabilirlik oranını, d.f. ise serbestlik derecesini ifade etmektedir. İstatistiksel olarak anlamlı ($P < 0,05$) olasılık değerleri koyu olarak verilmiştir.

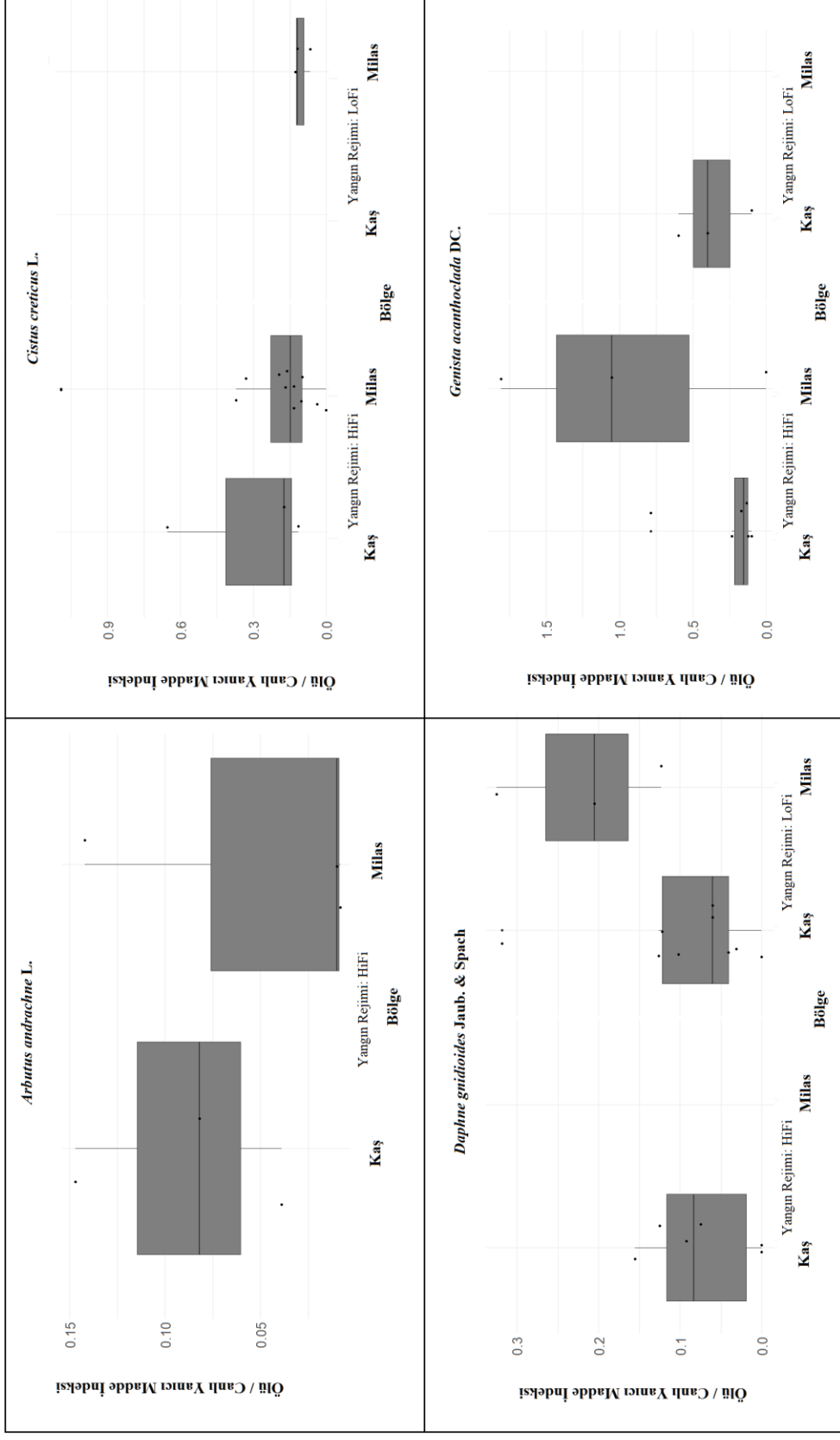
Model	AIC	logLik	L. oranı	d.f.	P	Model	AIC	logLik	L. oranı	d.f.	P
<i>Quercus coccifera</i>						<i>Daphne gnidioides</i>					
Boş	-23,4	14,7		4		Boş	-8,0	7,0		4	
+ Bölge	-26,0	17,0	4,6	4	0,031	+ Bölge	-10,4	9,2	4,4	4	0,035
+ Yangın Rejimi	-22,3	15,1	0,8	4	0,373	+ Yangın Rejimi	-7,5	7,4	1,5	4	0,220
+ B*YR	-26,5	19,3	9,0	6	0,028	<i>Cistus salvifolius</i>					
						Boş	8,9	-1,4		4	
<i>Phillyrea latifolia</i>						+ Bölge	23,7	-7,9	1,1	4	0,299
Boş	-25,8	15,9		4		<i>Cistus creticus</i>					
+ Bölge	-24,0	16,0	0,2	4	0,684	Boş	3,2	1,4		4	
+ Yangın Rejimi	-24,0	16,0	0,2	4	0,656	+ Bölge	4,4	1,8	0,7	4	0,384
+ B*YR	-21,4	16,7	1,6	6	0,665	+ Yangın Rejimi	4,4	1,8	0,7	4	0,382
<i>Juniperus oxycedrus</i>						<i>Arbutus andrachne</i>					
Boş	14,1	-4,0		4		Boş	-2,5	4,2		4	
+ Bölge	16,1	-4,0	0,0	4	0,926	+ Yangın Rejimi	-1,6	4,8	1,2	4	0,280
<i>Pistacia lentiscus</i>						<i>Euphorbia characias</i>					
Boş	-24,8	15,4		4		Boş	39,8	-16,9		4	
+ Bölge	-24,7	16,3	1,8	4	0,174	+ Bölge	36,1	-14,0	5,6	4	0,017
<i>Pistacia terebinthus</i>						<i>Genista acanthoclada</i>					
Boş	-16,5	11,3		4		Boş	15,3	-4,7		4	
+ Bölge	-14,6	11,3	0,0	4	0,778	+ Bölge	15,8	-4,0	1,5	4	0,213
+ Yangın Rejimi	-14,5	11,3	0,0	4	0,936	+ Yangın Rejimi	17,3	-4,7	0,0	4	0,986
+ B*YR	-11,4	11,7	0,9	6	0,826						
<i>Astragalus sp.</i>											
Boş	22,1	-8,0		4							
Yangın Rejimi	19,5	-5,7	4,7	4	0,030						



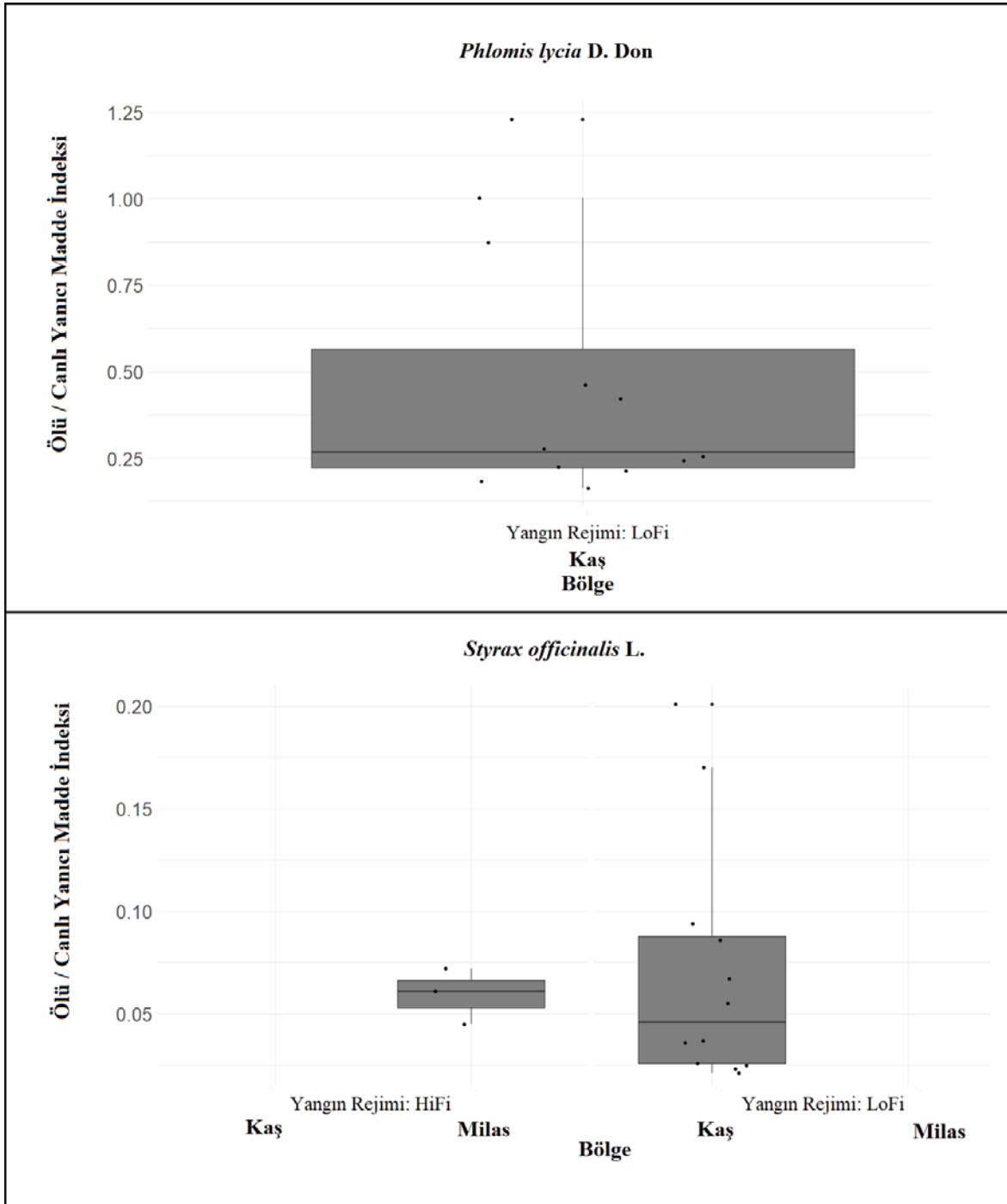
Şekil 3.38. *Quercus coccifera*, *Phillyrea latifolia*, *Juniperus oxycedrus* ve *Pistacia lentiscus* türlerinde ölü / canlı yanıcı madde indeks değerlerinin çalışma bölgesi ve yangın rejimlerine göre değişimi.



Şekil 3.39. *Pistacia terebinthus*, *Euphorbia characias*, *Cistus salviifolius*, *Astragalus* sp. türlerinde ölü / canlı yanıcı madde indeks değerlerinin çalışma bölgesi ve yangın rejimlerine göre değişimi



Şekil 3.40. *Arbutus andrachne*, *Cistus creticus*, *Daphne gnidioides*, *Genista acanthoclada*'da ölü / canlı yanıcı madde indeks değerlerinin çalışma bölgesi ve yangın rejimlerine göre değişimi.



Şekil 3.41. *Phlomis lycia* ve *Styrax officinalis* ölü / ince yanıcı madde indeks değerlerinin çalışma bölgesi ve yangın rejimlerine göre değişimi

3.4. Tartışma

Çalışmanın bu bölümünde, önceki bölümde tür ölçeğinde incelenen yanabilirlik karakterlerinin farklı alanlardaki popülasyonları ve komüniteleri düzeyleri arasında değişiklik gösterip göstermediği ortaya çıkarılmıştır. Türlerin bireysel yanabilirlik düzeylerinin belirlenmesi ile artık aynı anda birkaç özelliğin yorumlanabilmesi mümkün olmuştur. Özelliğe dayalı bir yaklaşım benimseyerek ve kapsamı nispeten geniş bir özellik kümesiyle çalışılarak yangın rejimlerinin yanabilirlik karakterleri üzerindeki etkisi ortaya çıkarılmaya çalışılmıştır. Türlerin yangına karşı gösstedikleri davranış biçimlerinin yangın rejimi ve bölge gibi faktörler ele alınarak, yanabilirlik karakterleri üzerindeki etkisi ortaya çıkarılmıştır.

Yangına eğilimli olan herhangi bir vejetasyonda bulunan bitkinin, yangın sonrası hayatta kalmayı veya yenilenmeyi sağlayan özelliklere sahip olması gerekir. Yangın sonrası kolonizasyon ve rejenerasyonda bitki performansını belirleyen bitki özelliklerinin, belirli yangın rejimlerine bağlı oldukları Keeley ve ark. (2011)'nın çalışmalarında ortaya çıkarılmıştır. Örneğin, serotinliğe sahip olma (tohum depolama ve yangın sonrası ortama bırakma), yangına eğilimli ekosistemlerde bazı bitkilerin hayatta kalma adına geliştirdikleri uyarlanmalardan biridir. Örtü yangınının fazla olduğu ekosistemlerde ise, odunsu türler kalın kabuk (Schafer ve ark., 2015), iyi yalıtılmış tomurcuklar (Charles-Dominique ve ark., 2015) gibi yer üstü yapılar ve lignotüber (Maurin ve ark., 2014; Paula ve ark., 2016) gibi yeraltı depolama yapıları oluşturmaları sayesinde hayatta kalırlar. Benzer yangın rejimlerine maruz kalan farklı bitki türlerinde gelişen benzer karakterler dizisi, bu türlerin yangına karşı uyarlanmalar geliştirdiğine dair ikna edici kanıtlar sağlar. Akdeniz ekosistemlerinin coğrafi olarak dağınık olmaları ve bitki türü açısından farklılık göstermelerine rağmen yangınla ilgili geliştirdikleri özellikler ortaktır (Keeley ve ark., 2011; Rundel ve ark., 2016). Bu durum farklı yangın rejimlerine sahip türlerin farklı uyarlanmalar geliştirebilecekleri fikrini desteklemektedir. Akdeniz tipi ekosistemlerde, yangınla ilişkili birçok bitki karakterinin, yerel ölçekte değişim gösterdiği ve bu değişimin yerel yangın rejimleri ile ilişkili olabileceği bilinmektedir (Moreira ve ark., 2012; Pausas ve ark., 2012; Kazancı, 2021). Bu tez çalışmasında da farklı bitki türlerinin sahip oldukları ortak özelliklerin yangın rejimleri ve bölgeye göre farklı tepkiler verdikleri gözlemlenmiştir.

Yangın rejimleri genellikle bir bölgede hâkim olan birkaç bitki tür tarafından belirlenir, ancak vejetasyonu oluşturan türlerin yanıcı olsun ya da olmasın yangın rejiminin direnç veya tolerans göstermesini mümkün kılan fonksiyonel karakterlere sahip olmaları gerekmektedir. Çalışmada, Türkiye'de Akdeniz vejetasyonun tipik olarak görüldüğü Muğla-Milas ve Antalya-Kaş bölgelerinde yaygın olarak bulunan odunsu bitki türlerinin fonksiyonel karakterlerinin yangın

rejimi ve bölge faktörüne göre tür ölçeğinde farklı etkilere sahip olduğu tespit edilmiştir. Bitki komünitesi seviyesinde yapılan analizler sonucunda, yaprak kıvrıklığı karakterinin bölgeler arasındaki fark ile belirgin bir şekilde açıklanabildiği görülmüştür. Bu duruma, Kaş bölgesinde düşük yangın sıklığına sahip alanlarda beklenenden yüksek yaprak kıvrıklığına sahip türlerin görülmesi neden olmuştur. İncelenen türlerden *Pistacia lentiscus*, *Euphorbia characias*, *Pistacia terebinthus* L., *Quercus coccifera*, *Arbutus andrachne* ve *Daphne gnidioides* türlerinin yaprak kıvrıklıkları bölge ve yangın rejimleri dikkate alındığında değiştiği gözlemlenmiştir. Bu türlerden *Pistacia terebinthus*, *Arbutus andrachne* ve *Quercus coccifera*'nın yaprak kıvrıklıklarının tür düzeyinde de yüksek yanabilirliğe sahip olması, yaprak kıvrıklığı özelliğinin yangına karşı geliştirdikleri bir adaptasyon olabileceği düşüncesini kuvvetlendirmiştir.

Elde edilen bulgular, yaprak nem içeriği karakterinin bölgeler ve yangın rejimi arasındaki fark ile bazı türlerde belirgin bir şekilde açıklanabildiği görülmüştür. İncelenen türlerden *Quercus coccifera*, *Cistus salviifolius*, *Phillyrea latifolia*, *Pistacia terebinthus* ve *Daphne gnidioides* türlerinin yaprak nem içeriklerinin bölge ve yangın rejimleri dikkate alındığında değiştiği gözlemlenmiştir. Bu türlerin tamamının tür düzeyinde yanabilirliklerinin yüksek olması olması, yaprak nem içeriğinin türlerin yangına karşı geliştirdikleri bir adaptasyon olabileceği düşüncesini kuvvetlendirmiştir.

Etkisi incelenen diğer bir karakter olan özgül yaprak alanının bölge ve yangın rejimleri üzerindeki etkisine baktığımızda, tür düzeyinde sadece *Pistacia terebinthus* ve *Cistus creticus* türlerinin özgül yaprak alanlarının bölgeye göre değiştiği ortaya çıkmıştır. Yaprak kuru madde miktarı; *Pistacia lentiscus*, *Euphorbia characias*, *Phillyrea latifolia*, *Quercus coccifera* ve *Cistus creticus* türlerinde büyük oranda bölge ve yangın rejimine bağlı olarak değişmektedir. Dallanma indeksi, yaprak kalınlığı, kaba/ ince yanıcı madde, ölü/ince yanıcı madde ve ölü/ canlı yanıcı madde parametre verilerine göre, tür düzeyinde bölge ve yangın rejimleri ile açıklanabilir farklılıklar olduğu tespit edilmiştir. *Juniperus oxycedrus*, *Pistacia lentiscus*, *Daphne gnidioides*, *Pistacia terebinthus*, *Cistus creticus* ve *Astragalus* türleri dallanma karakteri için, *Quercus coccifera*, *Phillyrea latifolia*, *Juniperus oxycedrus*, *Pistacia terebinthus*, *Euphorbia characias* ve *Cistus creticus* türlerinin yaprak kalınlık karakteri için, *Pistacia terebinthus*, *Daphne gnidioides*, *Cistus salviifolius* ve *Cistus creticus* türlerinin kaba/ince yanıcı madde karakteri için, *Quercus coccifera*, *Pistacia lentiscus*, *Euphorbia characias*, *Daphne gnidioides* ve *Astragalus* türleri ölü/ince yanıcı madde parametresi için, *Quercus coccifera*, *Euphorbia characias*, *Daphne gnidioides* ve *Astragalus* türleri ise ölü/canlı yanıcı madde parametresi için bölge ve/veya yangın rejimine göre farklılık gösterdikleri gözlemlenmiştir.

Çeşitli yangın rejimleri altında türlerin varlığını sürdürmesini sağlayan birçok karakterin, diğer çevresel streslere (örn: kuraklık veya otlama) yanıt olarak evrimleşmiş olabileceği, bu özelliklerin yangınla ilişkilerinin tam olarak ortaya çıkarılamamış olmasından dolayı tartışılmıştır (Axelrod, 1980; López-Soria ve Castell, 1992). Bununla birlikte, bitkilerin yangına karşı geliştirdikleri bitki karakterlerinin yangın rejimlerindeki değişikliklere bağlayan son çalışmalar, yangının bu bitki özelliklerinin ortaya çıkmasına ve nesilden nesile aktarılmasına neden olduğu fikrini desteklemektedir (Crisp ve ark., 2011; He ve ark., 2012, 2011; Lamont ve ark., 2013). Farklı yangın rejimleri altında aynı türün popülasyonları arasında yangına karşı geliştirilen karakterlerde farklılaşma olduğuna dair kanıtlar Gómez-González ve ark. (2011) çalışmasında da bahsedilmiştir. Genel olarak, yangının, yangına eğilimli ekosistemlerde bitki özelliklerini şekillendirmede önemli bir rol oynadığı net olmamakla birlikte (He ve Lamont, 2017), birçok bitki özelliğinin ve yangın rejiminde etkili olan diğer faktörlerinin birlikte değerlendirildikleri çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır (ör: Dantas ve ark., 2015).

Türe özgü bireysel yanabilirlik karakterleri aynı anda birkaç karakteri bütünleştiren bir bakış açısı ortaya koymaktadır. Karaktere dayalı bir yaklaşım benimseyerek, her bir bitki karakterinin yanabilirlik bileşenleri üzerindeki etkisini belirlemek mümkün olacaktır. Bu yaklaşım tarzı, iki tür arasındaki karakter farklılıkları ile bu bireylerin yanabilirliği karşılaştırılarak test edilebilir. Gelecekteki çalışmalar, türlerin yanabilirliğini tahmin etmek ve bu tahminleri standart bir metodoloji kullanarak doğrulamak için bu karakter korelasyonlarını kullanmamıza olanak sağlayabilir (bkz. Etlinger ve Beall, 2004). Yangın, toplulukların yapılandırılmasında oldukça önemlidir. Bir topluluktaki türlerin özellikleri yangın yoğunluğunu ve sıklığını etkilediğinden, topluluklar ve yangın rejimi arasında hem olumlu hem de olumsuz geri bildirimler olması muhtemeldir. Bazı topluluklar yüksek yoğunlukta veya sıklıkta yangınlarda, diğerleri ise daha düşük yoğunlukta veya sıklıkta gerçekleşen yangınları tercih edecektir (Schwilk, 2003; Keeley ve ark., 2005). Söz konusu geri bildirimler, çalı topluluklarını kısa süreli ölçeklerde yapılandırmakla kalmayacak, özellikle Bölüm 4'te belirtildiği gibi yanabilirlikteki farklılıklar daha uzun zaman ölçeklerinde evrimi yönlendirecektir. Bu çalışmadan elde edilen veriler, yanabilirliğin yangın rejimleri ile olan ilişkisini Akdeniz Havzası ölçeğinde gösteren ilk birkaç çalışmadan birisi olarak önem arz etmektedir. Çalışmanın bulguları, bu konuda yapılacak olan daha kapsamlı çalışmalara yön gösterecektir.

4. YANABİLİRLİK BİLEŞENLERİNİN TÜRLERİN YANABİLİRLİK DERECELERİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

4.1. Giriş

Yangınların, dünyadaki birçok bitki topluluğunun ekolojisini ve evrimini şekillendirdiği (Bond ve Midgley, 1995; Keeley ve ark., 2011) ve bitkilerin gerçekleşen yangınlara farklı şekillerde yanıt verdikleri bilinmektedir. Bitkiler tarafından gösterilen bu yanıtlar, bitkilerin uyarlanabilir karakterlerinin yangına göre değiştiğinin bir kanıtıdır (Mutch, 1970).

Son yıllarda gerçekleşen yangınlar, yanan alanların fazla olmasına ve yangınların yüksek şiddette ve sık gerçekleşmesinin yanı sıra, dünyanın yangına eğilimli olmayan birçok yerinde yıkıcı orman yangınlarının yaşanmasına neden olmuştur (Miller ve ark., 2009; Flannigan ve ark., 2013; Doerr ve Santín, 2016; Westerling, 2016). Bu durum; arazi kullanımı değişikliği ve kapsamlı yangın önleme faaliyetleri gibi insan kaynaklı faaliyetler dışında, yüksek sıcaklıklarla beraber kuraklık artışı, orman kompozisyonunun değişmesi, bitki kuruluğunun artması ve yangın mevsimlerinin uzaması gibi iklim değişikliğinin etkilerinin de bir sonucudur (Flannigan ve ark., 2009; Jolly ve ark., 2015; Abatzoglou ve Williams, 2016; Le Page ve ark., 2017). Orman yangınlarının büyük çoğunluğunun insan kaynaklı gerçekleşmesine rağmen, doğal yangınların sebeplerinin araştırılması, yangının neden olduğu olumsuzluğun en aza indirilmesi açısından oldukça önemlidir. Bu nedenle birçok araştırmacı orman yangınlarının yönetiminin doğru bir şekilde gerçekleştirilmesi için, bitki yanabilirliğinin doğru bir şekilde karakterize edilmesi gerektiğini vurgulamıştır (Dimitrakopoulos, 2001; Chuvieco ve ark., 2009; White ve Zipperer, 2010). Bitki yanabilirliği, bitki biyokütlesinin ateşe maruz kaldığı andaki tutuşması ve alev sürdürme yeteneği olarak ifade edilmektedir (Gill ve Zylstra, 2005; Pausas ve ark., 2017). Bitkiler yeryüzünde gerçekleşen yangınlara yakıt oluşturur ve orman yangınlarının sıklığı ve yayılması düşünüldüğünde; bitki örtüsü özellikleri, mevsimsel değişimler, yanıcı madde miktarları ve bunların yangının oluşumuna etkileri yangın davranışının belirlenmesinde önemli rol oynar (He ve Lamont, 1983; Keeley ve ark., 2011; Pausas ve ark., 2012). Orman alanlarındaki yanıcı madde miktarı, ekosistemlerdeki türlerin çeşitliliğine, dağılımına ve bulundukları vejetasyondaki türlerin genel özelliklerine göre değişmektedir (Simon ve ark., 2009; Archibald ve ark., 2018). Birçok çalışma, yangın şiddeti ve yanabilirliğin doğrudan etkisinin, bitkilerin fiziksel özellikleriyle ilişkili olduğunu ileri sürmektedir. Ancak, bitki yanabilirliğinin en iyi nasıl ölçüleceği ve bitki karakterlerinin nasıl uygun şekilde ölçülebileceği konusunda hala önemli tartışmalar vardır (Schwilk, 2015; Varner ve ark., 2015). Yüksek yapılı

çok yıllık bitkilerden, tek yıllık bitkilere kadar vejetasyonları oluşturan bitkilerin tamamı orman yangıcı maddelerini oluşturur. Bu nedenle yangının başlaması ve yayılması noktasında bitkiler önemli bir role sahiptir ve bu bitki türlerinin orman alanlarına göre sınıflandırılması, hem koruma biyolojisi hem de biyolojik çeşitlilik açısından incelendiğinde yangın yönetimi noktasında oldukça önemlidir (Scarf ve Westoby, 2006).

Bitki topluluklarının yanabilirliğinin tam olarak anlaşılması, yaprak ölçeğinde yapılan araştırmalara bağlıdır (Gill ve Moore 1996, Etlinger ve Beall 2004). Yapraklar, orman yangınları sırasında sıklıkla ilk tutuşan yapılardır (Pickett ve ark., 2009) ve yangını diğer bitki yapılarına ve yangıcı madde kaynaklarına yayarlar. Yapılan son modellemelerde; yaprakların bir yangında mevcut olan canlı biyokütlenin büyük bir kısmını oluşturduğu düşünüldüğünde, özellikle bitki yapraklarının, peyzaj yangınına etki eden önemli faktörler arasında olduğu ortaya çıkarılmıştır (Zylstra ve ark., 2016). Yaprakların yangın davranışlarıyla güçlü bir ilişki içerisinde olması, vejetasyondaki yangın davranışını anlamak için bitki yapraklarının giderek daha fazla kullanılmasına neden olmuştur (Schwilk ve Caprio, 2011; Zylstra ve ark., 2016). Birçok çalışmada, yaprak ölçeği temel alınarak yanabilirlik üzerine olan etkisi ortaya çıkarılmaya çalışılmıştır (Dimitrakopoulos ve Papaioannou 2001) ve bu ölçekler temelinde gerçekleştirilen analizlerde bitki yanabilirliği çeşitli karakterlerle ilişkilendirilmiş (Schwilk, 2015) ve farklı yöntemler kullanılarak (White ve Zipperer, 2010), birden çok seviyede (yaprak, sürgün ve tüm bitki) ve farklı yangıcı madde türleri (kanopi ve döküntü) kullanılarak ölçülmüştür (Schwilk ve Caprio, 2011; Jaureguiberry ve ark., 2011 ; Pausas ve Moreira, 2012; Murray ve ark., 2013; Pausas ve ark., 2016). Yanabilirlik deneylerinin çoğu laboratuvar, numune toplama ve uygulama kolaylığı açısından küçük bitki bileşenleri (yapraklar, dallar, ibreler, ağaç kabukları, odunsu kalıntılar) üzerinde gerçekleştirilmiştir (Ganteaume ve ark., 2013; Kauf ve ark., 2015; Mason ve ark., 2016; Grootemaat ve ark., 2017; Zhao ve ark., 2018). Bitki özellikleri ve yanabilirlik arasındaki ilişkiyi anlamak için yanabilirliğin farklı bileşenleri arasındaki ayrımı iyi yapmak gerekir. Yanıcılığın üç bileşenle (Tutuşabilirlik, sürdürülebilirlik ve yanıcılık) temsil edildiği ilk olarak Anderson (1970) 'ın çalışmasında belirtilmiştir. Bu bileşenler, bir bitkinin tutuşması için ne kadar zaman aldığını (tutuşabilirlik), bir bitkinin yanma süresinin uzunluğunu (sürdürülebilirlik), yaprakların ne kadar iyi yandığını (yanıcılık) ifade ederken, dördüncü bileşen olan tüketilebilirlik ise tüketilen yaprak biyokütlesinin oranını temsil eder. Günümüzde uluslararası literatürde türlerin yanabilirliğini belirlemek için kullanılan standart bir metodoloji bulunmamaktadır. Ancak birçok araştırmacı bitkileri ve bitki kısımlarını yanabilirlik açısından test etmek ve sınıflandırmak için bu dört bileşeni kullanmıştır (Alessio

ve ark., 2008; Ormeño ve ark., 2009; White ve Zipperer 2010). Yapılan çalışmalar, bitki tutuşabilirliğini etkileyen özelliklerin nispeten tespit edilmesini sağlamıştır. Bu özellikler fiziksel veya yapısal unsurlar ile fizyolojik veya hücrel elementler olarak ikiye ayrılabilir (Rundel 1981). Bu bölümde incelenen yanabilirlik bileşenleri bitkinin fiziksel ve yapısal özelliklerini oluşturmaktadır. Tutuşabilirlik; yaprağın ısı kaynağına maruz kaldığında yanmanın ne kadar hızlı başladığı ile karakterize edilir ve ateşleme kaynağının uygulanmasından alev çıkana kadar geçen süreyi ifade ederken (Gill ve Moore 1996), sürdürülebilirlik; yaprak tutuştuktan sonra yanmanın ne kadar sürdüğünü ve yanmadan çıkan ısının ürettiği süre uzunluğunu temsil eder. Yanıcılık ise; yaprak yanarken ne kadar ısı verdiği ve ne kadar yoğun yandığını ifade etmek için kullanılır (Gill ve ark., 1978). Sürdürülebilirlik ve yanıcılık, yanıcı maddenin ağırlık kaybının zaman sürecinin basitleştirilmesinin bir yolu olarak görülebilir (Gill ve ark. 1978). Birlikte ele alındığında, oldukça yanıcı bir yaprağın yüksek tutuşabilirliğe (kolayca tutuşabilir), yüksek sürdürülebilirliğe (uzun süre yanma) ve yüksek yanabilirliğe (belirli bir sürede büyük miktarda ısı yayma) sahip olduğu düşünülebilir. Yaprak tutuşabilirlik modellerinin açıklamasında ve yorumunda netlik sağlamak için, yaprak tutuşabilirliği, tutuşma süresi olarak ölçülmüş ve hızlı tutuşma sürelerine sahip yaprakları olan bir türün (düşük tutuşma süresi) yüksek yanıcılığa karşılık geldiği, buna karşılık, tutuşması uzun süren (yüksek tutuşma süresi) yapraklara sahip olan bir türün yanıcılığının düşük olduğu gözlemlenmiştir (Murray ve ark., 2013). Yanma tarafından tüketilen kütlenin orijinal kütleyle oranı tüketilebilirlik parametresini elde etmemizi sağlar. Behm ve ark. (2004) yaptıkları çalışmada, ince yanıcı madde biyokütlesi ve uçucu katı maddeleri tüketilebilirlikle ilişkilendirmiştir. Martin ve ark. (1994), bitki örtüsünün yanabilirliğinin doğası gereği, tutuşabilirliğin diğer üç yanabilirlik (yanıcılık, sürdürülebilirlik ve tüketilebilirlik) bileşenlerini doğrudan etkilediğini öne sürmüştür. Tutuşma gerçekleşmeden diğer üç bileşen önemli olmamaktadır. Bu bileşenleri ölçmek için kullanılan teknikler farklılık göstermektedir. Etlinger ve Beall (2004) yaptıkları çalışmada, tutuşabilirliği ölçmek için kullanılan tekniğin değerlendirilen bileşenlere bağlı olduğuna dikkat çekmişlerdir. Örneğin, hem tutuşabilirlik hem de sürdürülebilirlik zamansal ölçümlerdir. Tüketilebilirlik ise fiziksel yapının değerlendirilmesi ve kütle kaybı gibi çeşitli ölçütler kullanılarak ölçülebilir. Bununla birlikte, yanıcılığın ölçülmesi kullanılan tekniklere bağlı olarak daha zordur. Alevin yayılma oranı, yüksekliği, sıcaklık artış oranı ve ısı salım hızı yanma sırasında ölçülerek sağlıklı sonuç alınabilecek parametrelerdir.

Dünya çapında yapılan birçok çalışma, bu dört yaprak yanabilirlik bileşeninin türler arasında önemli ölçüde farklılık gösterdiğini ortaya çıkarmıştır. Örneğin, bazı bitki türlerinin yaprakları birkaç saniye içinde tutuşurken diğerlerinin tutuşması çok daha uzun sürer (Murray ve ark., 2013, Grootemaat ve ark., 2015). Bunun yanı sıra, tutuşabilirlik bileşenlerinin hepsi pozitif bir şekilde ilişkili olmadığı Montgomery ve Cheo (1971)'nin yaptıkları çalışmada ortaya çıkarılmıştır. Bu çalışmaya göre, okaliptüs yaprağının kalın mumsu kütiküle sahip olmasının zor tutuşmasına neden olacağı, ancak bir kez tutuşturulduğunda bünyesinde bulunan uçucu yağlar nedeniyle şiddetli bir şekilde yandığı ortaya çıkmıştır. Bu durum türlerin yanabilirliğini tartışırken farklı özellik ve değişkenlerin birlikte değerlendirilmeleri gerektiğini ortaya çıkarmıştır.

Bitki türlerinin yanabilirliklerindeki farklılık, çoğunlukla yaprak özellikleri aracılığı ile ifade edilir; yapraklar ve çoğunlukla yaprakların oluşturduğu döküntü, genellikle vejetasyonun en tutuşabilir bileşeni olduğundan, yaprakların yanabilirliği potansiyel bir yangın sıklığı göstergesi olarak tanımlanmıştır (Dimitrakopoulos ve Papaioannou 2001). Yapılan çalışmalar, tutuşabilirlik (yangını sıklığını etkiler) ve yanıcılık (yayılma oranını ve yoğunluğu etkiler) bileşenlerinin, hem kimyasal hem de yapısal bitki özellikleri ile bağlantılı olduğunu ortaya çıkarmıştır. Bu durum, yanabilirlik bileşenlerinin, bitkilerin kimyasal bileşimi, nem içeriği ve fiziksel özellikleri tarafından kontrol edilebileceği sonucuna varmamızı sağlamıştır (Philpot 1970, Rundel 1981, Etlinger ve Beall 2004). Bitki materyalinin tutuşabilirliği (ignitibility) ve yanıcılığı (combustibility), yüzey alanı: hacim oranı ve yoğunluğu ile ilişkili olduğu Dimitrakopoulos ve Papaioannou (2001)'nin yaptıkları çalışmada ortaya çıkarılmıştır. Yaprak alanı, kalınlığı ve çevre uzunluğu gibi yaprak morfolojisi özellikleri, yüzey alanı: hacim oranı ile bağlantılı iken, yaprak kuru madde içeriği, yoğunluk ve nem içeriğinin bir göstergesidir (Shipley ve Vu, 2002). Yüksek yaprak kuru madde miktarına sahip bitkilerin daha hızlı ateşlendiği, daha yüksek bir sıcaklıkta yandığı, daha uzun süre yandığı ve daha fazla biyokütle tüketimine sahip olduğu Alam ve ark. (2019)'nın yaptığı çalışmada ortaya çıkarılmıştır. Diğer bir yaprak özelliği olan yaprak kalınlığı, yaprak uzunluğu ve özgül yaprak alanı gibi yanabilirlik bileşenlerinin açıklanmasında kullanılan bir karakterdir. Yaprak kalınlığı ile bitkilerin tutuşması arasında negatif ilişki olduğunu ortaya çıkarılmış ve kalın yapraklı bitkilerin tutuşmasının uzun sürdüğünü ileri sürmüştür (Alam ve ark., 2019).

Yanıcılığı etkileyen yaprak özelliklerinin aynı zamanda döküntü özellikleri üzerinde de etkisi bulunmaktadır. Örneğin yüksek yüzey alanı-hacim oranlarına (SA: V) sahip yapraklar daha hızlı ayrışır (Swift ve ark., 1979) ve ayrışma veya piroliz için daha büyük bir temas alanı

sağlamaları nedeniyle daha hızlı tutuşmaktadır (Gill ve Moore 1996). Ancak döküntü tipine ve hava sıcaklığına göre değişen yaprak döküntü nem içeriğinin (Anderson 1990; Sullivan ve ark., 2012), ayrışma ve yanabilirlik üzerinde çelişkili etkilere sahiptir. Daha yüksek döküntü nem konsantrasyonlarının ayrışma oranlarını hızlandırdığı (Meentemeyer 1978; Gholz ve ark., 2000) ancak suyun buharlaşması ve yanıcı maddenin ön ısıtması için gereken fazla enerji sonucunda tutuşabilirliği azalttığı ortaya çıkmıştır (Byram, 1959; Sullivan ve ark., 2012). Yapılan çalışmalar, döküntü nemindeki değişikliklerin hızlı gerçekleşmesinin nedeni olarak yaprak şekli ve boyutuna bağlı olduğunu ortaya çıkarmıştır (Swift ve ark., 1979; Anderson 1990). Yaprak uzunluğunun yanabilirlikle ilişkili olduğu ileri sürülmüş ve daha uzun yapraklara sahip bitkilerin yangın şiddetinin yüksek olmasına neden oldukları gözlemlenmiştir (Schwilk ve Caprio 2011). Büyük yapraklar, yüksek havalandırmaya neden olduklarından daha hızlı yanan açık bir altlık yatağı oluşturma eğilimindedirler (Scarff ve Westoby 2006). Buna ek olarak, yaprak genellikle nemin çoğunun buharlaşma yoluyla kaybedene dek tutuşmayacaktır, bu durum yaprak nem içeriği ve tutuşabilirlik arasında ilişki olduğunu göstermektedir. Sonuç olarak, yüksek nem içeriğine sahip bitki türlerinin tutuşmaları daha uzun sürdüğü için daha az yanıcı olabilecekleri ileri sürülmüştür (Gill ve Moore 1996; De Lillis ve ark., 2009). Birçok araştırmacı, yaprak özelliklerinden, yaprak nemi ile birlikte alan başına düşen yaprak kütlesi (LMA) parametresinin de yaprak tutuşmasıyla ilişkili olduğunu ortaya çıkarmışlardır. Düşük yaprak su içeriğine sahip türlerin düşük LMA ve hızlı yaprak tutuşmasıyla ilişkilendirildikleri (Bianchi ve Defosse 2015, Grootemaat ve ark., 2015), daha yüksek LMA ve daha büyük yaprak alanına (LA) sahip türlerin ise, daha uzun yanma süresine ihtiyaç duydukları ortaya çıkmıştır (Grootemaat ve ark., 2015). Yaprak özelliklerinin çevresel koşullar göz önünde bulundurularak türler arasında farklılık gösterip göstermediği ve bu durumun yanabilirlik parametreleriyle ilişkisinin ortaya çıkartılması, farklı türlere sahip bitkilerin yanabilirlik seviyelerinin ortaya çıkarılabilmesi adına tahminlerde bulunmamıza olanak sağlayacaktır.

Bitki yanabilirlik özellikleri açısından bakıldığında, genel olarak yanıcılık kapsamını belirlemek oldukça zordur. Farklı çalışmalar farklı yaklaşım, analiz ve metodlar kullanarak bu durumu netleştirmeye çalışmaktadır. Örneğin bazı çalışmalar bir tutuşma kaynağına ilk maruz kalma anından itibaren ilk alevlenmeye kadar geçen zamanı tutuşabilirlik sınıfı altında (Gill ve Moore 1996; De Lillis ve ark., 2009) yaprağın tutuşabilirliğini ölçerken, diğerleri bitki parçalarının yanmasını söndürme yöntemleri kullanmıştır (Berry ve ark., 2011; Pausas ve ark., 2012). Yanan yapraklardan yayılan ısı (Scarff ve Westoby 2006) ve yangının gerçekleşmesinden sonra saha temelli çalışmalardan (Schwilk ve Caprio 2011), bitki türlerinin

herhangi bir yangın sırasında gösterdikleri yangın davranışlarına kadar çeşitli çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmalardan bazıları yangın sırasında bitki türlerinin yapraklarının modellenmesinde, tek tek yaprakların tutuşabilirliğini belirlerken (Gill ve Moore 1996), diğerleri ise örnekleme alanlarında (Schwilk ve Caprio 2011) türlerin ortalama yaprak boyutunu ve döküntü tiplerini kullanmıştır.

Birçok araştırmacı, türleri yaprak yanabilirliklerine göre sınıflandırmak için yanabilirlik bileşenlerinden birini veya birkaçını incelemişlerdir (Scarff ve Westoby, 2006; Saura-Mas ve ark., 2010; Magalhães ve Schwilk, 2012; Van Altena ve ark., 2012; Grootemaat ve ark., 2015; Simpson ve ark., 2016), ancak çok azı yanabilirlik bileşenleri ile yaprak fonksiyonel özellikleri arasındaki ilişkileri ortaya koymuştur. Çevresel baskıların bir sonucu olarak hem yanabilirlik hem de kaynak kullanım stratejileri türler içinde ve arasında farklılık gösteriyorsa, yaprak yanabilirliği, birkaç temel yaprak özelliğinden tahmin edilebilir. Biçim ve işlevleri tam olarak ortaya çıkarılmış bitki özelliklerinin yaprak yanabilirliği ile ilişkisinin ortaya çıkarılması, yangın rejimleri ve ekosistem süreçlerini tahmin eden modellerin geliştirilerek, yanabilirlik üzerindeki evrimsel süreçleri açıklamamıza olanak tanıyacaktır.

Çalışmanın bu bölümünde, yaprak yanabilirliğindeki tür farklılıklarını belirlemek amacıyla ilk olarak 26 Akdeniz odunsu maki bitki türü arasındaki dört yanabilirlik bileşeni (tutuşabilirlik, sürdürülebilirlik, yanıcılık ve tüketilebilirlik) 6 farklı yanabilirlik bileşen parametresi (tutuşma zamanı, duman süresi, yanma süresi, toplam yanma süresi, yanma oranı, kütle kaybı) kullanılarak karşılaştırılmıştır. Daha sonra yanabilirlik bileşen parametreleri; yaprak alanı, yaprak kalınlığı, özgül yaprak alanı, yaprak nem içeriği ve yaprak kuru madde miktarı gibi bitki yanabilirliği ile ilişkili olan yaprak fonksiyonel özellikleri ile karşılaştırarak incelenen maki türleri arasında yanabilirlik farklılıklarını ortaya çıkarılması amaçlanmıştır.

4.2. Yöntem

4.2.1. Çalışılan Türler

Bitki yanabilirliğinin yaprak fonksiyonel karakterleri ile olan ilişkisini değerlendirmek için, 16 familyada bulunan 26 yaygın Akdeniz odunsu maki türü için mevcut yanabilirlik sınıfları belirlenerek, diğer yanabilirlik karakterleri ile aralarındaki ilişki ortaya çıkarılmıştır. Tür seçimi yapılırken bitki türlerinin bulundukları ekosistemde baskın olmaları dikkate alınmıştır. İncelenen türler, toplamda 2 ağaç, 11 büyük çalı, 5 çalı, 3 yarı çalı ve 1 çok yıllık otsu bitkiden oluşmaktadır (Tablo 4.1). Bitki türleri, Batı Anadolu'nun Muğla-Milas ve Antalya-Kaş bölgelerinde geniş bir alandan toplanmıştır. Tür örneklemeleri, birey başına 5 yaprak

kullanılarak elde edilmiştir (türleri ve örneklemelerini açıklayan detaylar için bkz. Bölüm 1). Bu bölümde gerçekleştirilen yanabilirlik deneylerinde kullanılan yaprakların hepsi 70 °C’de 72 saat kuru sıcaklık fırınında tutularak kurutulmuştur. Bu durum, arazi koşullarında gerçekleşen bir yangında, kuruyarak düşen yaprakların oluşturduğu döküntü yanabilirliğini de tahmin etmemizi sağlamıştır. Döküntü içeriği, farklı türlere ait yapraklar arasında kuruluk ve besin içeriği bakımından farklılık gösterecek olsa da, bu yöntem, yaprak nem içeriği ve yaprak kuru madde miktarı gibi parametrelerin yanabilirlik bileşenleri ile türler arasında nasıl değiştiğinin ortaya çıkarılması açısından önemlidir. Akdeniz ekosistemlerine özgü iklim değişkenliği göz önüne alındığında kuru yapraklar üzerinde yapılan çalışmalar, döküntüyü oluşturan yaprak yanabilirliğini ortaya çıkarmak için yapılan çalışmalar arasında oldukça önemlidir. Çok kuru yıllarda yaprak altlığında bulunan yapraklardaki su içeriği önemli ölçüde azalabilir hatta çok hızlı bir şekilde tamamen bitebilir. Bu durum, çalışmamızı gerçekleştirdiğimiz Akdeniz havzasında bulunan Muğla- Milas ve Antalya- Kaş bölgelerini, yaprak tutuşabilirlik modellerinin açıklanması noktasında, yüksek öneme sahip olmalarına neden olur.

Tablo 4.1. Bu çalışmada incelenen bitki türleri. Büyüme formu (BF) bilgisi (Tavşanoğlu ve Pausas (2018)’den alınmıştır.

Familya	Türler	BF
Anacardiaceae	<i>Pistacia lentiscus</i> L.	büyük çalı
Anacardiaceae	<i>Pistacia terebinthus</i> L.	büyük çalı
Cistaceae	<i>Cistus creticus</i> L.	Çalı
Cistaceae	<i>Cistus salviifolius</i> L.	Çalı
Cupressaceae	<i>Juniperus oxycedrus</i> L.	büyük çalı
Ericaceae	<i>Arbutus andrachne</i> L.	büyük çalı
Ericaceae	<i>Arbutus unedo</i> L.	büyük çalı
Euphorbiaceae	<i>Euphorbia characias</i> L.	çok yıllık otsu
Fagaceae	<i>Quercus coccifera</i> L.	büyük çalı
Fagaceae	<i>Quercus cerris</i> L.	Ağaç
Hypericaceae	<i>Hypericum empetrifolium</i> Willd.	yarı çalı
Lamiaceae	<i>Origanum onites</i> L.	yarı çalı
Lamiaceae	<i>Phlomis grandiflora</i> H.S.Thompson.	Çalı
Lamiaceae	<i>Phlomis lycia</i> D.Don	Çalı
Lamiaceae	<i>Teucrium divaricatum</i> Sieber ex Heldr.	yarı çalı
Lauraceae	<i>Laurus nobilis</i> L.	büyük çalı
Myrtaceae	<i>Myrtus communis</i> L.	büyük çalı
Oleaceae	<i>Phillyrea latifolia</i> L.	Ağaç
Oleaceae	<i>Olea europaea</i> L.	Ağaç
Rosaceae	<i>Crataegus monogyna</i> Jacq.	büyük çalı
Styracaceae	<i>Styrax officinalis</i> L.	büyük çalı
Thymelaeaceae	<i>Daphne gnidioides</i> Jaub. & Spach	Çalı

4.2.2. Yaprak Karakter Ölçümleri

Yanabilirlikteki türler arasındaki farklılıkların temel yaprak karakterlerindeki varyasyonlarla ilişkili olup olmadığını test etmek için laboratuvar ortamında 22 farklı maki türünün yanabilirlik sınıfları belirlenmiştir. Orman yangınlarının sık görüldüğü Güneybatı yöresinde Kızılçam (*Pinus brutia*) ormanlarının orman altı vejetasyonunu oluşturan baskın bitki türlerinden gelişimini tamamlamış ve herhangi bir böcek zararına uğramamış yapraklar toplanmıştır. Toplanan yapraklar uygun kâğıt poşetler içerisinde etiketlenerek laboratuvar ölçümleri gerçekleştirilene kadar içerisinde silika jel bulunan poşetlerde muhafaza edilmişlerdir.

Tablo 4.2. Yaprak fonksiyonel özellikleri, kısaltmaları, açıklamaları ve ölçü birimleri

Parametre	Kısaltma	Açıklama	Ölçü Birimi
Yaprak alanı	LA	Tek taraflı yaprak yüzey alanı	mm ²
Yaprak kalınlığı	Lt	Tek bir yaprağın kalınlığı	mm
Özgül yaprak alanı	SLA	Özgül yaprak alanı; yaprak alanının yaprak kütlesine oranı;	mm ² mg ⁻¹
Yaprak nem içeriği	LMC	Yaprak nem içeriği; kuru yaprak ağırlığı / suya doyurulmuş yaprak ağırlığı	%
Yaprak kuru madde miktarı	LDMC	Yaprak kuru madde miktarı; yaprak kuru ağırlığının suya doyurulmuş yaprak ağırlığına oranı	mg g ⁻¹

Yaprak kalınlığı, özgül yaprak alanı, yaprak nem içeriği, yaprak alanı ve yaprak kuru madde miktarı gibi bitki özelliklerinin, yanabilirlik bileşenleri ile olan ilişkileri ortaya çıkarılmaya çalışılmış ve gerekli ölçümler yapılmıştır (Tablo 4.2). Özgül yaprak alanı (SLA) ve yaprak kuru madde miktarı Pérez-Harguindeguy ve ark. (2013)'nın standart ölçüm kitapçığına göre hesaplanmıştır. Özgül yaprak alanı, taze yaprağın bir yüzünün alanının yaprak kuru ağırlığına bölünmesiyle elde edilmiştir. Her türden örneklenen yapraklar dallarıyla beraber nemli kâğıda sarılarak ağzı kapalı ve hava verilerek şişirilmiş plastik torbalar içine konulmuş ve 24 saat içinde taze ağırlıkları hesaplanmıştır. Taze ağırlık ölçümleri yapılan yapraklar kâğıt poşetler içersine konarak 70 °C'de 72 saat kuru sıcaklık fırınında tutularak kuru ağırlıkları hesaplanmıştır (Papio ve Trabaud, 1990, 1991). Yaprak alanı hesaplanması için her örnekleme

gününün sonunda, her türden 5 adet yaprak, tarayıcı kullanılarak hesaplanmış ve elektronik ortama aktarılmıştır. Elektronik ortamda muhafaza edilen yaprak görüntüleri “ImageJ” görüntü işleme programı kullanılarak alan hesaplamaları tamamlanmıştır (Rasband, 2012). Yaprak kuru madde miktar hesaplaması için gerekli olan suya doyurulmuş yaprak ağırlıkları, her bir örnekten alınan beş adet yaprağın 4 °C’de 24 saat boyunca saf su ile doldurulmuş kaplarda tutularak ağırlıklarının ölçülmesi ile tespit edilmiştir. Yaprak kalınlığı parametresi tek beş yaprağın kalınlığının ayrı ayrı digimatic mikrometre ile ölçülmesi ve daha sonra ortalamalarının alınmasıyla hesaplanmıştır (Engber ve Varner 2012; Pérez-Harguindeguy ve ark., 2013; Grootemaat ve ark., 2017; Kattge ve ark., 2020). Yaprak nem içeriği parametre ölçümü için; yapraklar araziden toplandıktan sonra hemen yaş tartımları yapılarak ölçü karnesine kaydedilmiştir. Kuru ağırlıkları, 70 °C’de 72 saat kurutma fırınında kurutulduktan sonra ağırlıkları hesaplanarak ölçülmüştür ve çalışmanın ikinci bölümünde kullanılan formül uygulanarak nem içeriği hesaplanmıştır (Chuvieco ve ark., 2004; De Lillis ve ark., 2009).

4.2.3. Yanma Deneyleri

Yaprak karakterleri ve yanabilirlik bileşenlerini oluşturan tutuşabilirlik, sürdürülebilirlik ve tüketilebilirlik arasındaki ilişkinin ortaya çıkarılması için bu bileşenlerin ölçüm parametreleri; tutuşma zamanı, alev süresi, yanma süresi, toplam yanma süresi, yanma oranı ve kütle kaybı parametre ölçümleri laboratuvar ortamında gerçekleştirilerek tür düzeyinde yanabilirlik sınıfları belirlenmiştir (Tablo 4.3). Yapraklar, yangına meyilli ekosistemlerde yangın davranışına katkıda bulunan birkaç önemli bileşenden yalnızca biridir ancak bu yapıların orman yangını sırasında ilk tutuşan yapı olduğu göz önünde bulundurulduğunda, yangın davranışının belirlenmesinde oldukça önemli bir bileşen olmasını sağlamıştır (Pickett ve ark., 2009). Bu durum çalışmamızın yaprak üzerine odaklanmasındaki en önemli unsurdur. Yaprakların deneysel olarak yakılması diğer birkaç çalışmada yapıldığı gibi, herhangi bir ateşleme kaynağı uygulanmadan ortalama 400 - 430 °C’lik fırın sıcaklığında, 15 × 10 × 23 cm ölçülerine sahip kül fırını kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Gill ve Moore 1996; Grootemaat ve ark., 2015; Krix ve Murray 2018; Alam ve ark., 2019) (Şekil 4.1). Yaprak yanabilirliği parametreleri, kuru yaprakların tek tek beşer tekrarlı olarak yakılmasıyla elde edilmiştir (Murray ve ark., 2013).

Tablo 4.3. Yaprak yanabilirlik bileşenleri, kısaltmaları, açıklamaları, yanabilirlik bileşenleri ve ölçü birimleri

Parametre	Kısaltma	Açıklama	Yanabilirlik Bileşeni	Ölçü Birimi
Tutuşma zamanı	TZ	örneğin fırına sokulmasından, ilk görünür alev kadar geçen süre	Tutuşabilirlik (ignitibility)	s
Duman süresi	DS	ilk görünür alevden artık alev görünmeyene kadar geçen süre	Sürdürülebilirlik (sustainability)	s
Yanma süresi	YS	son görünür alevin sonundan parlayan fazın sönmesine kadar geçen süre	Sürdürülebilirlik (sustainability)	s
Toplam yanma süresi	TYS	yanmanın başlangıcı ve bitişi arasındaki süre	Sürdürülebilirlik (sustainability)	s
Yanma oranı	YO	saniyede tüketilen kuru yaprak kütlesi cinsinden kayıp oranını ifade eden mg/s cinsinden kütle kaybı oranı	Yanıcılık (combustibility)	mg/s
Kütle kaybı	KK	yanma ile tüketilen kütle veya hacim oranı	Tüketilebilirlik (consumability)	%



Şekil 4.1. Kül fırını (Fotoğraf: Nursema Aktepe)

Yaprak tutuşabilirliğini ölçmek için deney sırasında kül fırınının hangi sıcaklığa ısıtılması gerektiğini belirlemek için pilot testler yapılmıştır (Şekil 4.2). Yapılan çalışmalarda uygulanan pilot testler, çok az yaprağın 400 °C'nin altındaki sıcaklıklarda tutuştuğunu ve bunu ancak çok uzun bir süre sonra yaptığını göstermiştir. Bunun yanı sıra test edilen tüm yaprakların en fazla 800 °C tutuştuğu gözlemlenmiştir. Pilot testler sonucunda elde edilen gözlemlere göre kül fırınının 700 °C'ye ayarlanmasıyla oluşan 500 °C'lik açık fırın sıcaklığının optimum test sıcaklığı olduğuna karar verilmiştir, nitekim ilgili literatür bu yöntemi destekler niteliktedir (Gill ve Moore 1996; Murray ve ark., 2013; Grootemaat ve ark., 2015). Karar verilen optimum test sıcaklığı, Gill ve Moore (1996) referans alınarak, yaprakların tutuşma süreleri arasındaki farkların gözlemlenebilmesi için tüm laboratuvar yakma deneyleri için kullanılmıştır. Yangın sırasında sıcaklığın ortalama 100 °C ile 1100 °C (Wotton ve ark., 2012) arasında değiştiği kuru sklerofil ormanlarında, bünyelerinde uçucu yağ bulunduran bitkilerin tutuşma sıcaklıkları

genelde 300 °C ile 600 °C (DeBano ve ark., 1998) arasında değişmektedir. Bu nedenle, 400 - 450 °C 'lık sıcaklık, saha koşullarının makul bir temsili sıcaklığı olarak kabul edilmiştir.

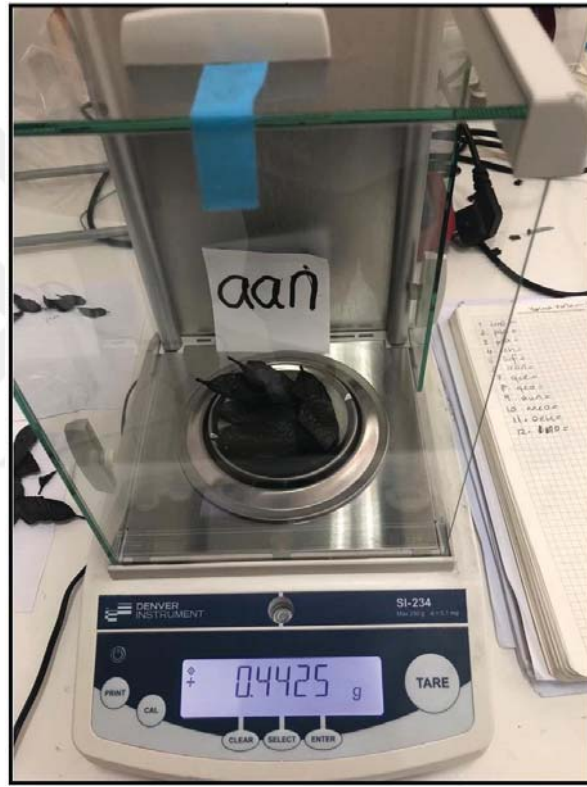
Yaprakların deneysel olarak yakılmasına başlanmadan önce kül fırının iki saat boyunca kapısı kapalı olarak 700 °C'ye ısıtılmıştır. Fırın ilk saatten sonra gerekli sıcaklığa ulaşmıştır ancak sıcaklığın dengelenmesi için ikinci saat sonuna kadar beklenmiştir. Fırın güçlü hava akımları olmayan, iyi havalandırılan bir odada kullanılmıştır. Yanabilirlik testleri fırın kapısı açıkken (ortamda bol oksijen kaynağı olduğundan emin olmamızı sağlamıştır) 400 – 450 °C radyan ısı sağlandığı zaman gerçekleştirilmiştir. Açık kapının bir sonucu olarak fırın içerisinde bir sıcaklık gradyanı oluşmuştur. Böylece tutuşma zamanının gözlemlenmesi ve termocupl yardımıyla fırın sıcaklığının ölçülmesi sağlanmıştır (Şekil 4.2.).



Şekil 4.2. Termocupl yardımıyla fırın sıcaklığının ölçülmesi ve yakma deneylerinde kullanılan ısıya dayanıklı cam kap

Bu durum tutuşmaya başladığı zamanı, duman çıkmaya başladığı zamanı ve tutuştuğu zamandaki sıcaklığı tespit etmemizi sağlamıştır. Fırın sıcaklığı, termokupl ile ölçülmüş ve veriler kamera kullanılarak kaydedilmiştir. Kullanılan kül fırını açıkken fırın ısı otomatik olarak ekranda görülmekte olduğundan her örnek için ayrı ayrı termokupl kullanılmamıştır.

Böylece hem fırın sıcaklığı hem de tutuşma sıcaklıklarının aynı anda ölçümü yapılabilmektedir. Yaprakların kül fırınıyla temas etmesini önlemek için cam kap kullanılmış, böylece tutuşmanın yalnızca radyan ısıнын bir sonucu olarak meydana gelmesi sağlanmıştır (Şekil 4.2). Fırın sıcaklığı 700 °C'ye sabitlendikten sonra fırın kapısı açılmış ve ısıya dayanıklı cam kap fırının ortasına kaydırılmış ve böylece numune ile fırın duvarları arasında temas olmaması sağlanmıştır. Daha sonra tek bir yaprak uzun saplı pens yardımıyla yatay olarak cam kabın ortasına, yönleri ise fırın kapısına paralel olacak şekilde yerleştirilmiştir. Tüm yanma süreci videoya kaydedilmiş ve her yaprağa ait kayıtlar dijital video editörü 'VideoPad' kullanılarak analiz edilmiştir.



Şekil 4.3. Kütle kaybı hesaplaması için örneklerin tartılması

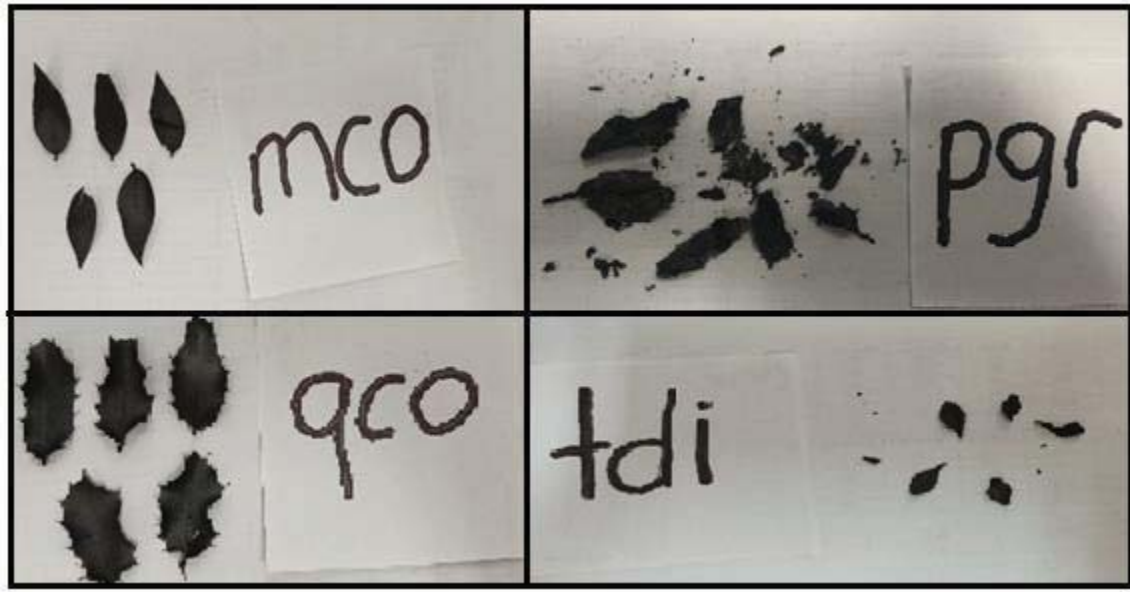
Yaprağın cam kaba koyulmasından ilk görünür aleve kadar geçen süre hesaplanarak, tutuşma zamanı (TZ) parametresi elde edilmiştir. İlk görünür dumandan daha fazla duman görünmeyene kadar geçen süre ölçülerek duman süresi (DS) ve son görünür dumanın sonundan parlayan fazın sönmesine kadar geçen süre ölçülerek yanma süresi (YS), yanmanın başlangıcı ve bitişi arasındaki süre ölçülerek ise toplam yanma süresi (TYS) elde edilmiştir. Tüm bu ölçümler, saniyenin onda biri hassasiyetle, saniyeler içinde yapılmıştır. Yanıcılık hesaplaması için, ölçü birimi olarak, saniyede tüketilen toplam yaprak kütlesinin yüzdesi olarak ifade edilen ve bir yaprağın yanma oranını temsil eden yanma oranı (YO) kullanılmıştır (Krix ve Murray, 2018).

Pilot testler sonucunda yaprakların tamamen tüketilmediği gözlemlenmiştir. Bu durum son yaprak kütlesinin ölçülebilir olmasını mümkün kılmış ve bu hesaplamayı (denklem 4.1; Krix ve Murray, 2018) yapabilmemize imkân vermiştir.

$$\text{Yanma oranı (YO)} = 100 \times \frac{\text{başlangıçtaki kuru madde ağırlığı} - \text{sonuçtaki kuru madde ağırlığı}}{\text{sonuçtaki kuru madde ağırlığı}} / \square\square\square \quad \text{Denklem 4.1}$$

Tüketilebilirlik ise standart kütle kaybı hesaplaması yapılarak ortaya çıkarılmıştır. Kütle kaybı hesaplaması için ayrı ayrı yakılan aynı türe ait 5 yaprak hassas tartıda tartılarak (Şekil 4.3.) yanmadan sonraki ağırlıkları hesaplanarak ölçü karnesine kaydedilmiş ve yandıktan sonra kalan kütlenin fotoğrafları çekilmiştir (Şekil 4.4.). Kütle kaybı hesaplaması; aşağıdaki formüle göre yapılmıştır (Denklem 4.2; Fuentes Ramirez, 2015).

$$\text{Kütle Kaybı (KK)} = 100 \times \left(1 - \frac{\text{sonuçtaki kuru madde ağırlığı}}{\text{başlangıçtaki kuru madde ağırlığı}} \right) \quad \text{Denklem 4.2}$$



Şekil 4.4. Yandıktan sonra kalan örnek yapraklar

Bu deney kurulumu dört yanabilirlik bileşeninden tutuşabilirliği, sürdürülebilirliği, yanıcılığı ve tüketilebilirliğin ölçülmesine imkân vermiştir. Fırın sıcaklığının ayarlanması; alev sıcaklığı ve ısı salınımının ölçülememesine neden olmuştur. Ancak, tutuşma zamanı (TZ), tutuşabilirliğin test karşılığı olarak; duman süresi (DS), yanma süresi (YS) ve toplam yanma süresi (TYS) sürdürülebilirliğin, yanma oranı (YO) yanıcılığın, kütle kaybı (KK) ise tüketilebilirliğin test karşılığı olarak ölçülmüş ve böylece çalışılan türlerin tutuşabilirlik, sürdürülebilirlik ve tüketilebilirlik bileşenleri üzerinden karşılaştırmalarının yapılması sağlanmıştır.

4.2.4. İstatistiksel Analizler

Çalışmada, yanabilirliğin, 22 Akdeniz odunsu maki türü arasında farklılık gösterdiği hipotezini test etmek için 4 farklı yanabilirlik sınıfını temsil eden 6 farklı yanabilirlik parametresi ve bunlarla ilişkisi olduğu düşünülen 5 farklı yaprak fonksiyonel özelliği ele alınmıştır. İncelenen türlerin; tutuşma zamanı (TZ), duman süresi (DS), yanma süresi (YS), toplam yanma süresi (TYS), yanma oranı (YO) ve kütle kaybı (KK) yanabilirlik bileşenlerinin bir göstergesi olarak ele alınırken; özgül yaprak alanı (SLA), yaprak kuru madde miktarı (LDMC), yaprak kalınlığı (Lt), yaprak alanı (LA) ve yaprak nem içeriği (LMC) karakterleri yaprak fonksiyonel özelliklerinin göstergesi olarak incelenmiştir. Gerçekleştirilen deneyler sonucunda elde edilen değerler; yanabilirlik bileşenlerinin türler arasında farklılık gösterip göstermediği ve yanabilirlik bileşenleri ve yaprak fonksiyonel özellikleri arasında ilişki olup olmadığının ortaya çıkarılmasında kullanılmıştır.

Her tür için ayrı ayrı ölçüm yapılarak elde edilen verilerin ön kontrolü gerçekleştirilmiş, böylece hatalı ve eksik verilerin tespit edilmesi sağlanmıştır. Her bir tür için ayrı ayrı ortalama değerler alınmış değer ve tüm analizler ortalama değer kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Türlerin ortalama değerleri, yanabilirlik bileşenleri ve yaprak fonksiyonel özellik parametreleri arasında normallik ve varyans homojenliğini karşılamak için tüm parametreler log'a dönüştürülmüştür.

Elde edilen tür ortalamaları, farklı türlerin yanabilirlik bileşen parametreleri (tutuşma zamanı, duman süresi, yanma süresi, toplam yanma süresi, yanma oranı ve kütle kaybı) ile arasında farklılık olup olmadığı hipotezini test etmek amacıyla kullanılmıştır. Yanabilirlik bileşen parametrelerinin türler ve yaprak fonksiyonel bileşenleri ile nasıl ilişkili olduğunu ortaya çıkarmak için, ölçülen her yanabilirlik bileşen parametresine katkıda bulunan yaprak özelliklerinin gücünü ve yönünü belirlemek için basit doğrusal regresyon kullanılmıştır. Basit doğrusal regresyon kullanılırken, incelenen türler bağımlı değişken olarak ele alınırken, tutuşma zamanı, duman süresi, yanma süresi, toplam yanma süresi, yanma oranı ve kütle kaybı parametreleri ise bağımsız değişken olarak ele alınmıştır. Verilerin analizinde karma doğrusal model kullanılması sayesinde, incelenen bitki türlerinin, ölçümü yapılan yanabilirlik bileşen parametreleri arasındaki istatistiksel ilişkinin daha yüksek güce ve güvenilirliğe sahip olması sağlanmıştır. Tutuşma zamanı, duman süresi, yanma süresi, toplam yanma süresi, yanma oranı ve kütle kaybı parametrelerindeki türler arası varyasyonu ve türlerin ortalama yaprak fonksiyonel özelliklerinin tahmin gücünü ölçmek için iki değişkenli ve çoklu değişkenli

regresyon analizleri kullanılmıştır. Yaprak fonksiyonel karakterlerini (LA, Lt, SLA, LMC ,LDMC), yanabilirlik bileşen parametreleri (TZ, DS, YS, TYS, YO, KK) ile karşılaştırmak için basit doğrusal regresyon analizleri kullanılmıştır.

Yaprak fonksiyonel karakterlerinin ve yanabilirlik bileşen parametrelerinin nasıl ilişkilendirildiğini değerlendirmek için Temel Bileşenler Analizi (PCA) kullanılmıştır. İki değişkenli regresyon analizinde kullanılan aynı karakter değişkenleri alt kümesi bu analiz için de kullanılmış ve veri noktaları olarak türler kullanılmıştır. Yanabilirlik bileşen parametrelerinin (TZ, DS, YS, TYS, YO, KK) tamamı PCA kullanılarak birleştirilmiştir. Kullanılan parametrelerin herbiri için standartlaştırılmış değerler (ortalama ve standart sapma) kullanılarak PCA skorları hesaplanmıştır. Yanabilirliğin iki temel bileşeni (PC1 ve PC2) için tür düzeyinde ortalamalar elde edilmiş ve iki temel bileşenin her biri ile değişkenler arasındaki korelasyon hesaplamaları gerçekleştirilmiştir. Korelasyona dayalı yanabilirlik gradyanları dikkate alınarak yanabilirlik ile yaprak fonksiyonel özellik bileşenleri arasındaki ilişkiler ortaya çıkarılmıştır.

Yaprak fonksiyonel karakterleri arasındaki çoklu bağlantılar, korelasyon analizleri ve saçılım grafikleri kullanılarak ortaya çıkarılmıştır. Korelasyon analizi yapılmadan önce tüm yanabilirlik karakterlerine Shapiro-Wilk testi uygulanmış ve verilerin normal dağılıma sahip oldukları tespit edilmiştir. Yapılan analizler sonucunda normal dağılım gösteren parametreler arasındaki ilişkinin ortaya çıkarılabilmesi adına Pearson korelasyon testi tercih edilmiştir. Tür düzeyinde incelenen yanabilirlik karakterleri için Pearson korelasyon testi kullanılarak aralarındaki ilişkinin derecesi ve yönü ortaya çıkarılmıştır. Tüm analizler, R yazılım paketi sürüm 3.4.1'de (R Core Team, 2020) uygulanan işlevler ve rutinler kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

4.3. Bulgular

Yanabilirlik bileşen parametreleri, yaprak fonksiyonel karakterleri ve bunların türler arasında nasıl farklılaştığının ortaya çıkarılması adına 22 farklı Akdeniz odunsu bitki türü incelenmiştir. İnceleme sonucu elde edilen sonuçlar, incelenen yanabilirlik bileşen parametrelerinin türler arasında farklılık gösterdiğini ortaya çıkarmıştır. Her tür için yanabilirlik bileşen parametreleri ortalama değer aralıkları; tutuşma zamanı için 0.82 - 3.63 s, duman süresi için 4.48 - 32.78 s, yanma süresi için 9.72 - 91.02 s, toplam yanma süresi için 8.73 - 97.14 s, yanma oranı için 0.09 - 5.05 s, kütle kaybı için ise % 7.49 - 32.33 olarak tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra yanabilirlik üzerinde etkili olan yaprak fonksiyonel karakterleri ile yanabilirlik bileşen karakterleri

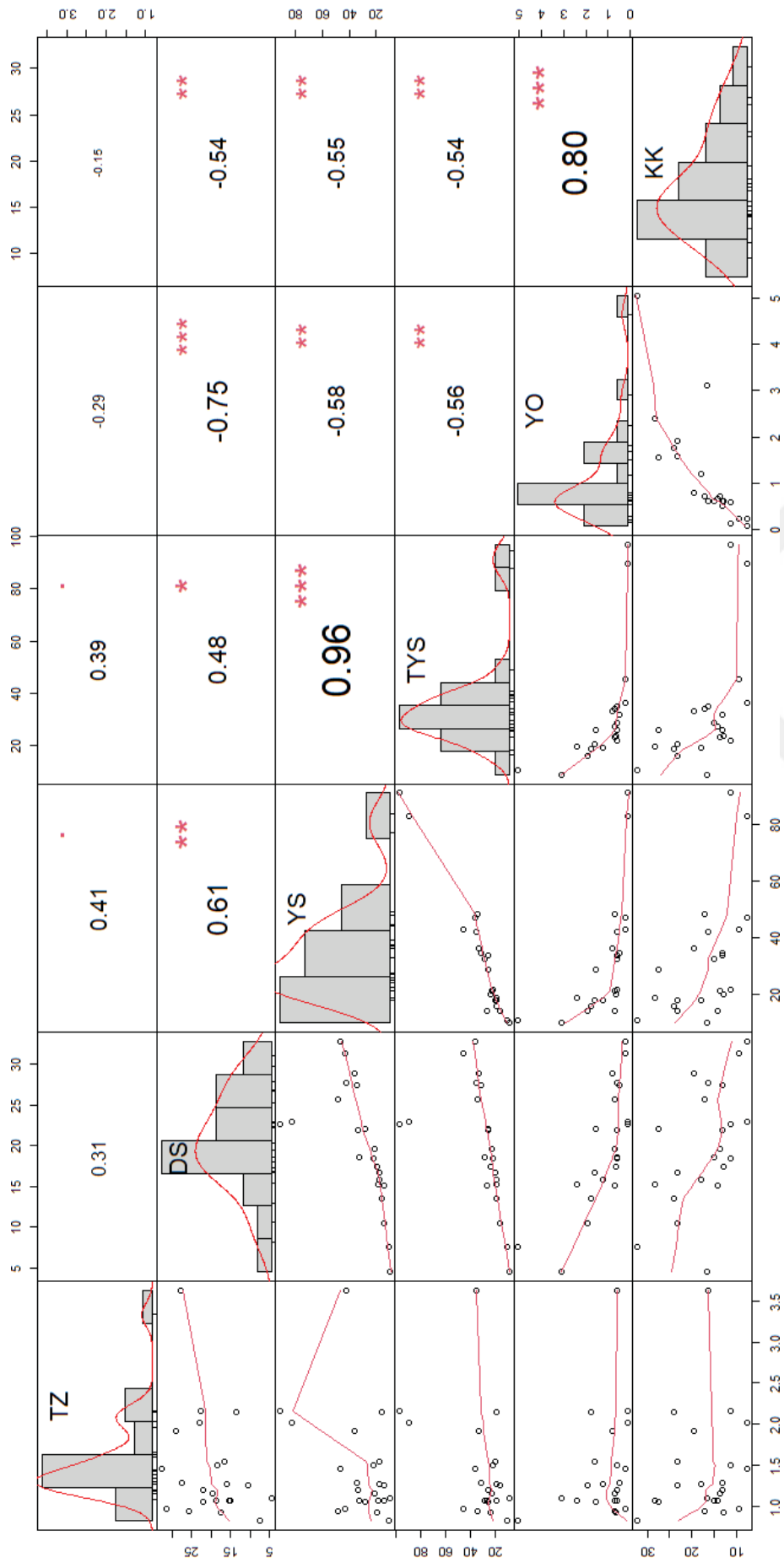
arasındaki ilişkinin boyutu ortaya çıkarılmıştır. Her tür için yaprak fonksiyonel özellik parametreleri ortalama değer aralıkları; yaprak alanı için 10.9 – 2320.8 mm², yaprak kalınlığı için 0.1 – 0.8 mm, özgül yaprak alanı için 2.1 - 15.1 mm² mg⁻¹, yaprak nem miktarı için % 17.6 - 219, yaprak kuru madde miktarı için 197.6 - 730.8 mm² mg g⁻¹ olarak bulunmuştur

4.3.1. Türlerle Göre Yanabilirlik Bileşen Parametrelerinin Değerlendirilmesi

Yaprakların tutuşma zamanları türler arasında değişkenlik göstermiştir. Yaprakları en hızlı tutuşan türlerin *Hypericum empetrifolium*, *Myrtus communis*, *Phillyrea latifolia* ve *Laurus nobilis* olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum bu türlerin herhangi bir yangın durumunda hızlı tutuşma eğiliminde olduğunu göstermektedir. *Quercus coccifera*, türünün ise tutuşma zamanı diğer türlerle karşılaştırıldığında oldukça uzundur. Bu durum *Quercus coccifera* türünün yavaş tutuşan türler arasında olduğunu ortaya çıkarmaktadır (Şekil 4.6).

Yapılan analizler sonucunda, duman süresi değerlerinin 22 tür arasında farklılık gösterdiği konulmuştur. Elde edilen bulgulara göre; *Origanum onites*, türünün duman süresi diğer türlere göre görece düşüktür. *Arbutus unedo* ve *Laurus nobilis* türleri ise en yüksek duman süresine sahip türleri temsil etmektedirler. *Pistacia terebinthus*, *Phillyrea latifolia*, *Quercus coccifera* ve *Olea europaea* türlerinin duman süreleri birbirine oldukça yakındır. Bunun yanı sıra *Daphne gnidioides*, *Phlomis grandiflora*, *Phlomis lycia* ve *Pistacia lentiscus* türleri kendi arasında, *Arbutus andrachne*, *Quercus cerris* ve *Styrax officinalis* türleri kendi arasında, *Cistus salviifolius*, *Crataegus monogyna*, *Euphorbia characias*, *Juniperus oxycedrus*, *Myrtus communis* ve *Cistus creticus*, *Hypericum empetrifolium* ve *Teucrium divaricatum* türleri ise kendi arasında benzer duman sürelerine sahiptir (Şekil 4.6).

Yanma süresi ve türler arasında ilişkinin ortaya çıkarılabilmesi için 22 tür incelenmiştir. *Origanum onites* ve *Hypericum empetrifolium* son görünür dumandan parlayan fazın sönmesine kadar geçen sürenin en kısa olduğu türdür. Bu durum bu türün en düşük yanma süresine sahip olduğunu göstermektedir (ort. 9.72s). *Phlomis grandiflora* ve *Phlomis lycia* türleri ise diğer türlere göre oldukça yüksek yanma süresine (sırasıyla, ort. 82.81 s ve 91.02 s) sahiptir. Şekil 4.7’de *Phillyrea latifolia* ve *Quercus coccifera* dahil olmak üzere bu iki tür arasında kalan türler; *Pistacia lentiscus* ve *Pistacia terebinthus* arasında kalan türler ve *Arbutus andrachne* ve *Euphorbia characias* türleri arasındaki türler benzer yanma sürelerine sahiptir.

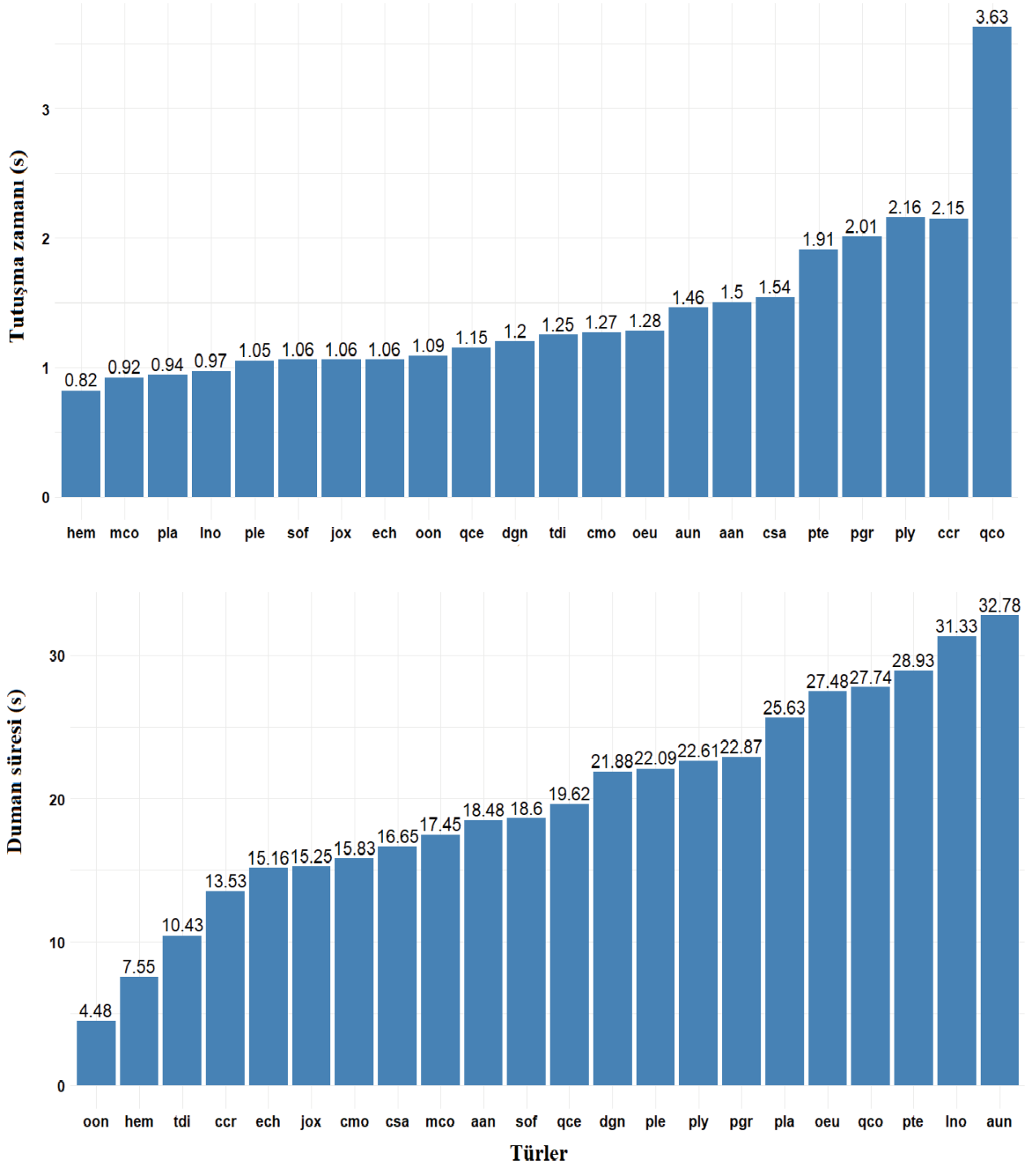


Şekil 4.5. Yanabilirlik bileşen parametrelerinin korelasyon grafiği. Tutuşma zamanı (TZ), duman süresi (DS), yanma süresi (YS), toplam yanma süresi (TYS), yanma oranı (YO) ve kütle kaybı (KK). Sağ üst Pearson korelasyon katsayısının sonuçlarını ifade etmektedir. ***: $P \leq 0.001$.

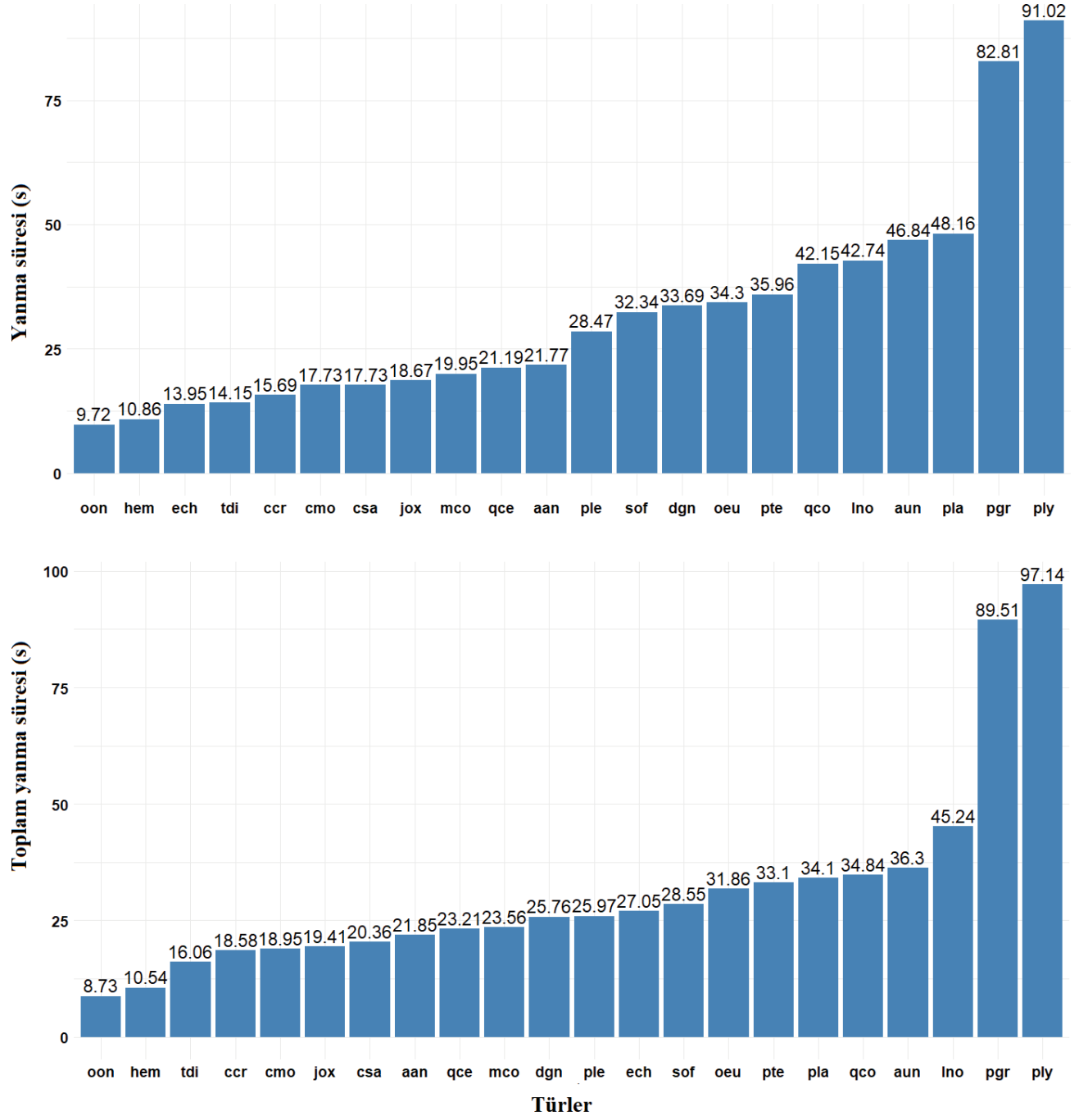
Elde edilen bulgulara göre toplam yanma süresi de türler arasında deışkenlik göstermektedir. *Hypericum empetrifolium* ve *Origanum onites* türlerinin diğler türlere göre en kısa toplam yanma süresine sahip oldukları gözlemlenmiştir. *Phlomis grandiflora* ve *Phlomis lycia* türlerinin toplam yanma süresi ise diğler türlere kıyasla oldukça yüksektir. Diğler türlerin yanma sürelerinin, *Hypericum empetrifolium* ve *Phlomis grandiflora* türlerinin sahip olduğı değerlerin arasında ve benzer oldukları gözlemlenmiştir (Şekil 4.7).

Türlere ait yanma oranı ve türler arasındaki ilişkiyi orta çıkarabilmek için yapılan istatistiksel analizlerde elde edilen sonuçlara göre *Phlomis grandiflora* türünün en düşük yanma oranına sahip olduğı görölmektedir. Buna karşılık *Hypericum empetrifolium* türünün yanma oranı diğler türlerle kıyaslandığında oldukça yüksek bulunmuştur (Şekil 4.8).

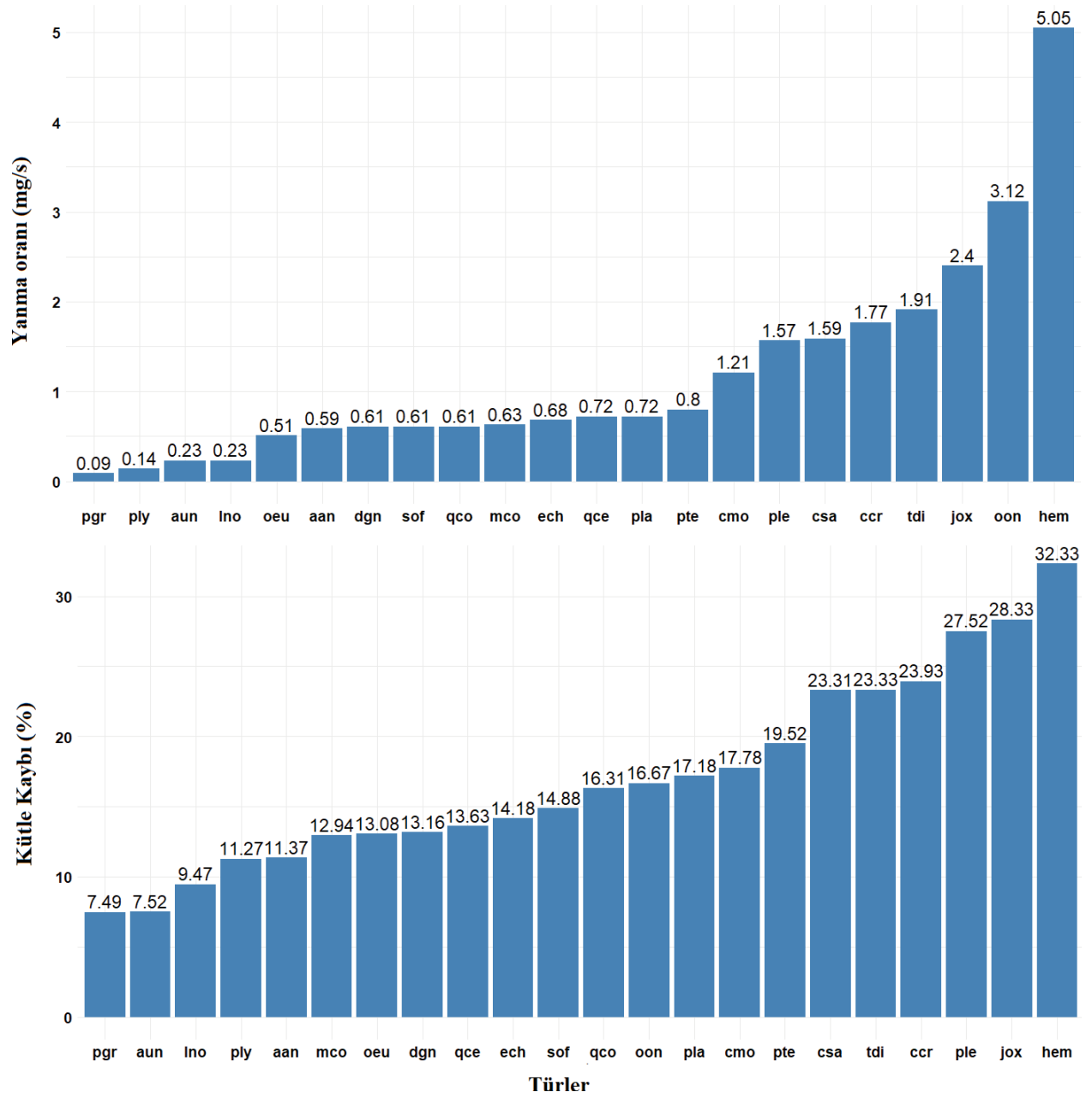
Yapılan analizler sonucunda, *Arbutus unedo* (% 7.62) ve *Phlomis grandiflora* (% 7.49) türlerinin en düşük kütle kayıp oranına sahip oldukları, buna karşılık *Hypericum empetrifolium* (% 32.33) türünün kütle kaybının yüksek oranda olduğı gözlemlenmiştir (Şekil 4.8).



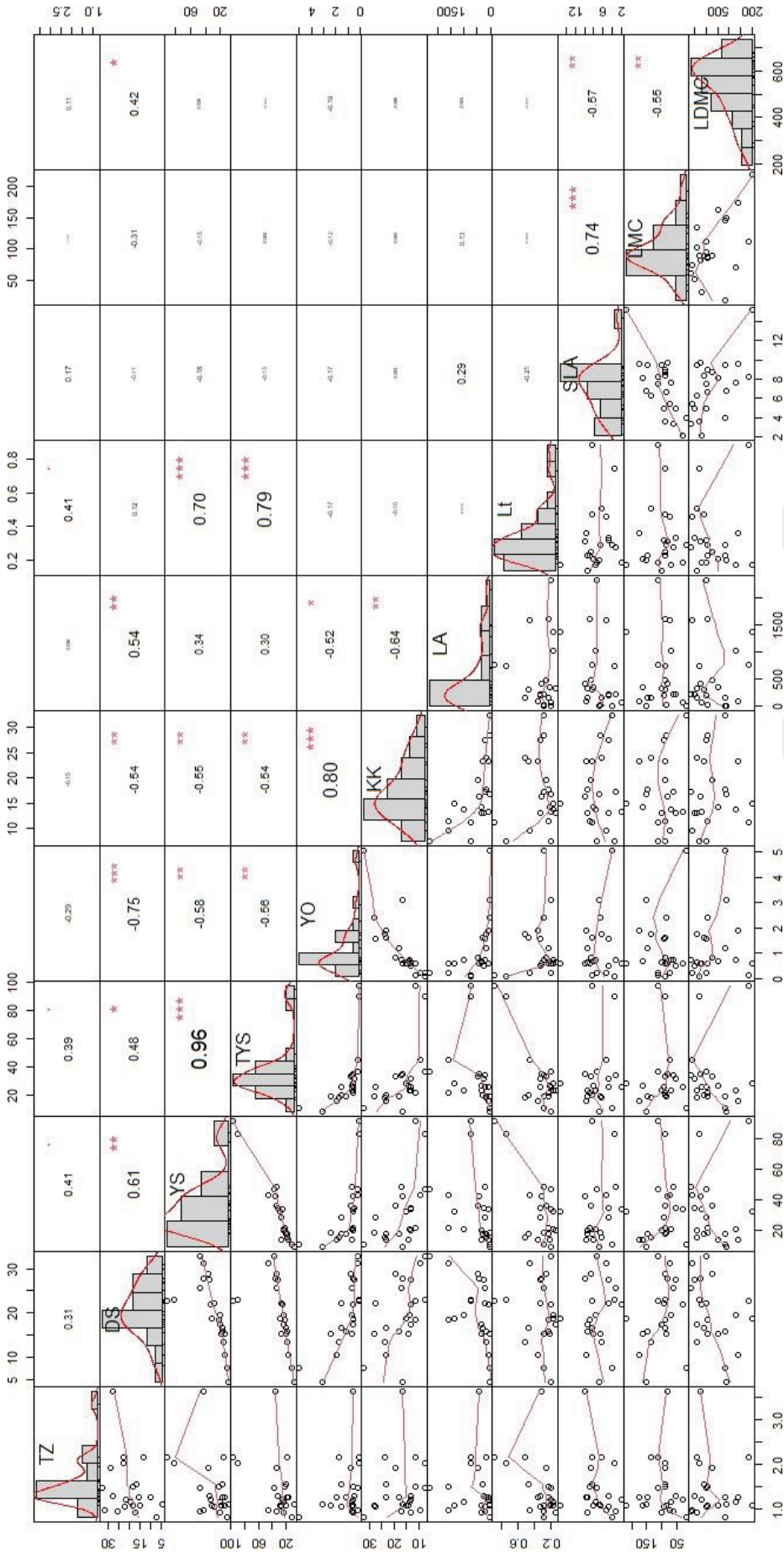
Şekil 4.6. Tutuşma zamanı (s) ve duman süresi (s) parametrelerinin türler arasındaki değişimi



Şekil 4.7. Yanma süresi (s) ve toplam yanma süresi (s) parametrelerinin türler arasındaki değişimi



Şekil 4.8. Yanma oranı (mg/s) ve kütle kaybı (%) parametrelerinin türler arasındaki değişimi



Şekil 4.9. Yanabilirlik bileşenlerinin korelasyon grafiği. Tutuşma zamanı (TZ), duman süresi (DS), yanma süresi (YS), toplam yanma süresi (TYS), yanma oranı (YO) ve kütle kaybı (KK), yaprak alanı (LA), yaprak kalınlığı (Lt), özgül yaprak alanı (SLA), yaprak nem içeriği (LMC), yaprak kuru madde miktarı (LDMC). n = 22). Sağ üst Pearson korelasyon katsayısının sonuçlarını ifade etmektedir. ***: $P \leq 0.001$.

Tür düzeyinde incelenen yanabilirlik bileşenleri için Pearson korelasyon testi kullanılmış ve karakter çiftleri arasındaki ilişkinin boyutunu ortaya çıkarmıştır. Yanma süresi ve toplam yanma süresi ile yanma oranı ve kütle kaybı güçlü bir şekilde pozitif ilişki gösterirken, tutuşma zamanı duman süresi, yanma süresi ve toplam yanma süresi ile daha zayıf bir pozitif ilişki göstermektedir. Bunun aksine duman süresi ve yanma oranı arasında güçlü negatif ilişki gözlemlenmektedir. Tutuşma zamanı ile yanma oranı ve kütle kaybı arasında zayıf negatif ilişki gözlemlenmektedir (Şekil 4.5).

Tutuşma zamanı; duman süresi, yanma süresi ve toplam yanma süresi ile orta düzeyde pozitif ilişki ($r = 0.31$, $r = 0.41$, $r = 0.39$), yanma oranı ve kütle kayıp oranı ile düşük düzeyde negatif ilişki göstermektedir ($r = -0.29$, $r = -0.15$). Duman süresi; yanma süresi ve toplam yanma süresi ile orta düzeyde pozitif ilişki ($r = 0.61$, $r = 0.48$), kütle kayıp oranı ile orta düzeyde negatif ilişki ($r = -0.54$), yanma oranı ile yüksek derecede negatif ilişki ($r = -0.75$) göstermektedir. Yanma süresi ve toplam yanma süresi arasında yüksek düzeyde ilişki ($r = 0.96$) bulunmaktadır. Bu durum yanma süresi yüksek olan türlerin toplam yanma süresinin de yüksek olmasına neden olmaktadır. Yanma süresi; yanma oranı ve kütle kaybı parametresinin her ikisiyle de orta düzeyde negatif ilişkilidir ($r = -0.58$, $r = -0.55$). Toplam yanma süresi hem yanma oranı hem de kütle kayıp oranı ile orta düzeyde negatif ilişki ($r = -0.56$, $r = -0.54$) göstermektedir. Son olarak yanma oranı ve kütle kayıp oranı arasında yüksek derecede ilişki ($r = 0.80$) gözlemlenmektedir (Şekil 4.5).

4.3.2. Yaprak Fonksiyonel Karakterleri ve Yanabilirlik Bileşenlerinin Değerlendirilmesi

Doğrusal regresyon model analiz sonucuna göre, 11 yaprak karakterinin yedisinin yanabilirlik üzerinde tür düzeyinde yüksek derecede etkisi olduğu gözlemlenmiştir. Yanabilirlik bileşen parametrelerinden yanma süresi, kütle kaybı, duman süresi ve toplam yanma süresi; yaprak fonksiyonel karakterlerinden ise yaprak alanı, yaprak kalınlığı ve yaprak kuru madde miktarı, verideki değişkenliği büyük ölçüde açıklayan parametrelerdir (Şekil 4.10, Şekil 4.11). Uygulanan doğrusal karma model analizinin önemli değişkenleri (tür düzeyindeki etkileri dahil), belirleyicilik katsayıları, p değerleri ve korelasyon katsayıları Tablo 4.5’de gösterilmektedir. Elde edilen bulgular sonucunda yaprak fonksiyonel özelliklerinden biri olan yaprak kalınlığının tutuşma zamanı, yanma süresi ve toplam yanma süresi ile doğru orantılı olarak arttığı görülmüştür (sırasıyla $R^2=0.17$, $p<0.01$; $R^2=0.48$, $p<0.001$; $R^2=0.48$, $p<0.001$) (Tablo 4.5). Diğer bir yaprak fonksiyonel özelliği olan yaprak alanı; duman süresi ($R^2=0.29$,

$p<0.01$) ile doğru orantılı, yanma oranı ($R^2=0.27$, $p<0.01$) ve kütle kaybı ($R^2=0.40$, $p<0.001$) ile ters orantılı olarak ilişkilendirilmektedir (Şekil 4.10, Şekil 4.11, Tablo 4.5).

Tablo 4.4. Yanabilirlik karakterlerine ait tanımlayıcı istatistikler.

Yanabilirlik Parametreleri	min.	1.çeyrek	medyan	ortalama	3.çeyrek	maks.
Tutuşma zamanı (s)	0.8	1.0	1.225	1.2	1.5	3.6
Duman süresi (s)	4.4	15.3	19.11	19.8	24.9	32.7
Yanma süresi (s)	9.7	17.7	25.12	31.8	40.6	91.0
Toplam yanma süresi (s)	8.7	19.6	25.86	31.3	33.8	97.1
Yanma oranı (mg/s)	0.09	0.5	0.700	1.1	1.5	5.0
Kütle kaybı (%)	7.4	12.9	15.60	17.0	22.3	32.3
Yaprak alanı (mm ²)	10.9	151.3	325.14	568.6	755.5	2320.8
Yaprak kalınlığı (mm)	0.1	0.2	0.285	0.3	0.3	0.8
Özgül yaprak alanı (mm ² mg ⁻¹)	2.1	5.0	7.570	7.2	8.8	15.1
Yaprak nem içeriği (%)	17.6	75.7	89.35	101.5	128.8	219
Yaprak kuru madde miktarı (mg g ⁻¹)	197.6	432.7	593.4	539.9	662.6	730.8

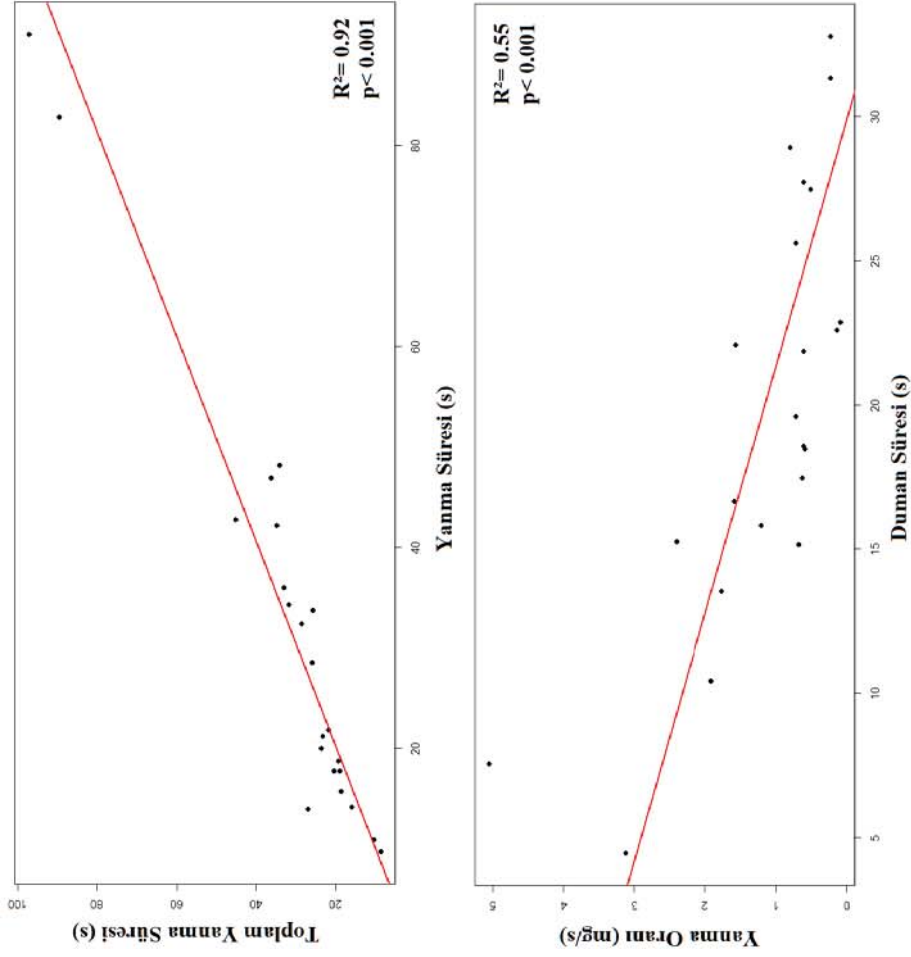
Tüm yanabilirlik bileşen parametrelerine ait tanımlayıcı istatistikler tamamlanmış ve 22 türün tamamının yanabilirlik bileşen parametreleri ve ölçülen yaprak özelliklerinde büyük farklılıklar gösterdiği gözlemlenmiştir. Her tür için değişken yanabilirlik bileşen parametreleri minimum ve maksimum değerleri, tutuşma zamanı için 0.8 - 3.6 s, toplam yanma süresi için 8.7 - 97.1 s, yanma oranı için 0.09 – 5.0 mg/s, kütle kaybı için %7.4 - 32.3, yaprak alanı için 10.9 - 2320.8 mm², yaprak kalınlığı için 0.1 - 0.8 mm, özgül yaprak alanı için 2.1 - 15.1 mm²mg⁻¹, yaprak nem içeriği için %17.6 – 219.0 ve yaprak kuru madde içeriği için 197.6 - 730.8 mg g⁻¹'dir (Tablo 4.4).

Tablo 4.5. Yanabilirlik bileşen parametrelerinin genel doğrusal karma modellerinin özeti. R² belirleyicilik katsayısı, p ise olasılık değerini ifade etmektedir. İstatistiksel olarak anlamlı olasılık değerleri koyu olarak verilmiştir (p≤0.1*, p≤0.01**, p≤0.001***)

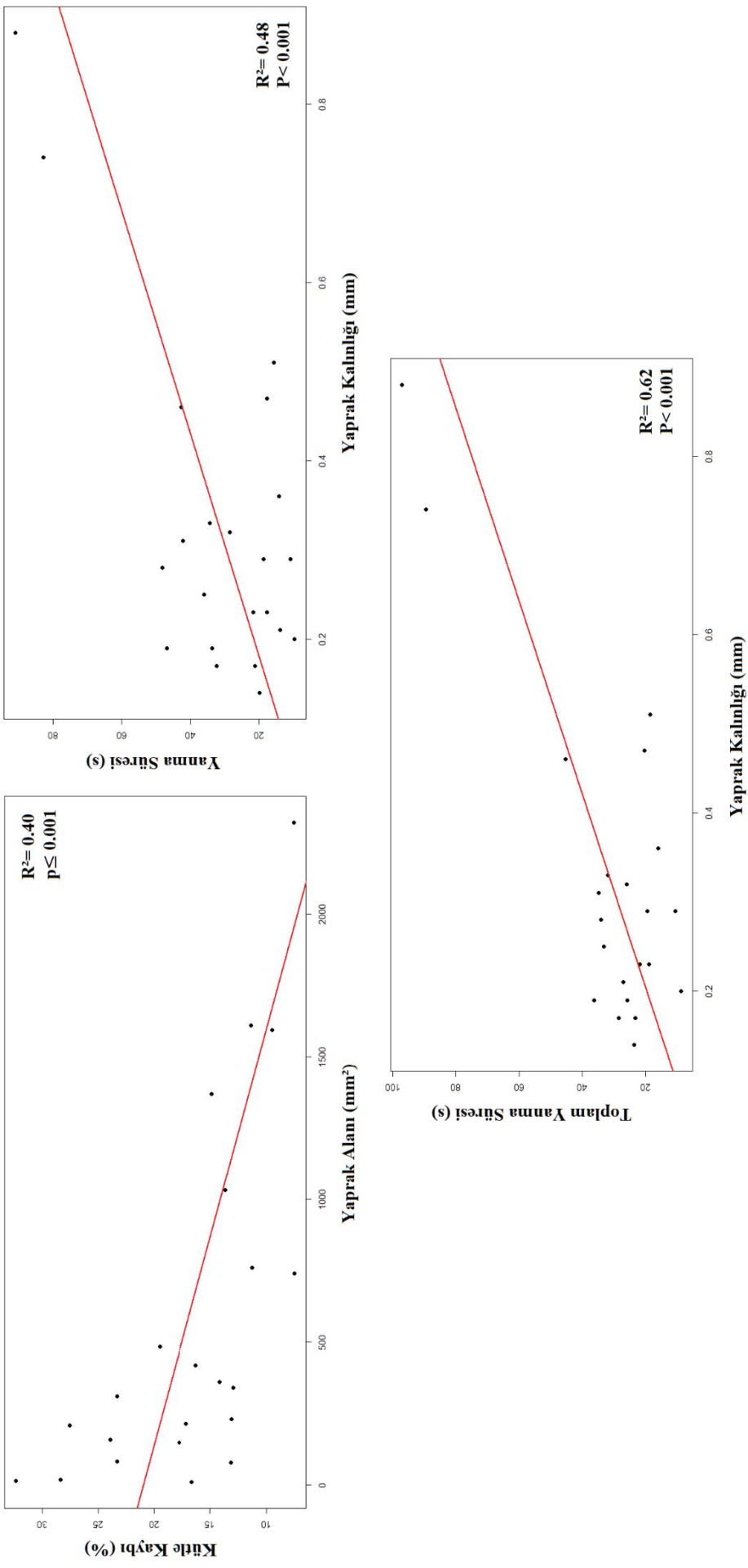
	LA	Lt	SLA	LMC	LDMC	TZ	DS	YS	TYS	YO	KK
TZ	R ² 0.001	0.17	0.03	≤0.001***	0.01		0.09	0.17	0.15	0.08	0.02
	p 0.865	0.054*	0.437	0.980	0.626		0.161	0.056*	0.073*	0.191	0.494
DS	R ² 0.29	0.01	0.01	0.09	0.17	0.09		0.36	0.23	0.55	0.64
	p 0.008**	0.587	0.622	0.160	0.049*	0.161		0.002**	0.022*	≤0.001***	≤0.001***
YS	R ² 0.11	0.48	0.03	0.02	0.0008	0.17	0.36		0.92	0.33	0.30
	p 0.121	0.0003***	0.435	0.507	0.900	0.05	0.002		≤0.001***	0.004**	0.007**
TYS	R ² 0.08	0.62	0.01	0.004	0.001	0.15	0.23	0.92		0.31	0.29
	p 0.178	≤0.001***	0.572	0.774	0.857	0.073	0.02*	≤0.001***		0.006**	0.009**
YO	R ² 0.27	0.02	0.03	0.01	0.03	0.08	0.55	0.33	0.31		0.64
	p ≤0.01**	0.461	0.438	0.608	0.391	0.191	≤0.001***	0.004**	0.006**		≤0.001***
KK	R ² 0.40	0.01	0.006	0.006	0.007	0.02	0.29	0.30	0.29	0.64	
	p ≤0.001***	0.656	0.714	0.712	0.696	0.494	0.009**	0.007**	0.009**	≤0.001***	

Yanabilirlik bileşen parametreleri ile ilişkisi ortaya çıkarılan yaprak kuru madde miktarı ise sadece duman süresi ile doğru orantılı bir ilişki göstermektedir ($R^2=0.17$, $p\leq 0.1$, $r= -0.42$). Bu fonksiyonel özelliklerin dışında kalan özgül yaprak alanı ve yaprak nem içeriğinin yanabilirlik bileşen parametreleri ile arasında ilişki tespit edilmemiştir (Tablo 4.5).

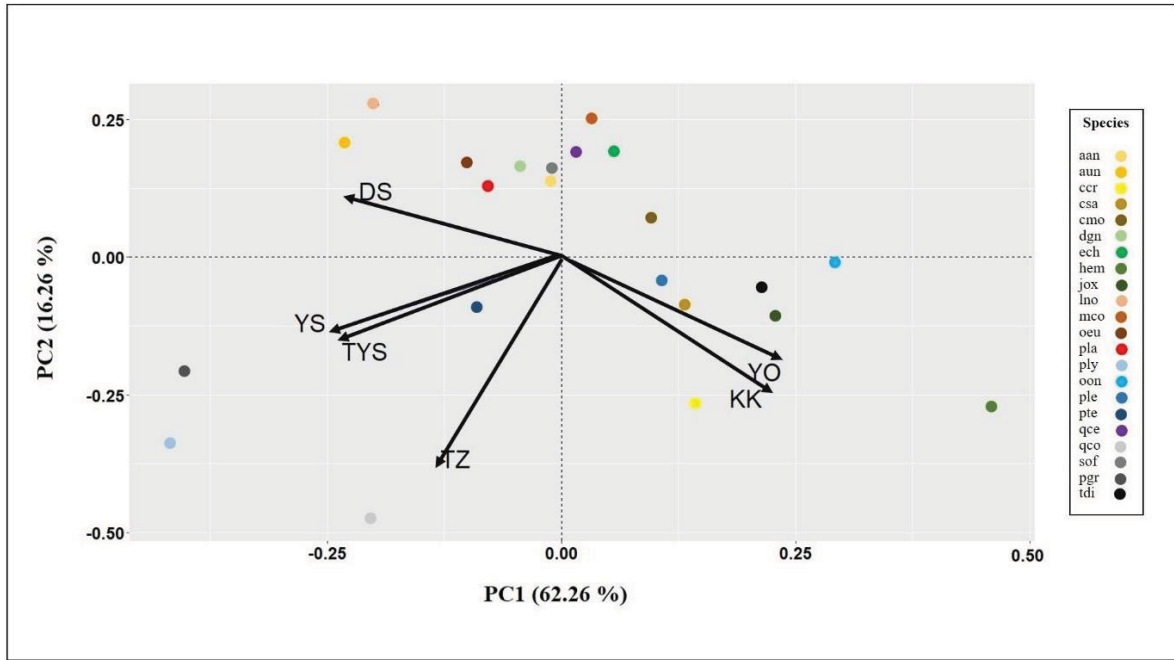
Yanabilirlik modeline dâhil edilen yanabilirlik bileşen parametrelerinden kütle kaybı, yanma süresi, yanma oranı, toplam yanma süresi ve duman süresi kendi aralarında yüksek derecede ilişki göstermektedir. Duman süresi; toplam yanma süresi ($R^2=0.23$, $p\leq 0.1$, $r= 0.48$) ve kütle kaybı ($R^2=0.29$, $p\leq 0.01$, $r= -0.54$) ile doğru orantılı olarak değişirken, yanma oranı ($R^2=0.55$, $p\leq 0.001$, $r= -0.56$) ile ters orantılı olarak değişmektedir. Yanma süresi ve toplam yanma süresi diğer tüm yanabilirlik bileşen parametreleri ile yüksek derecede ilişkilidir. Yanma oranı ve kütle kaybının ise tutuşma zamanı dışında tüm parametrelerle ilişkili olduğu ortaya çıkmıştır (Tablo 4.5).



Şekil 4.10. Yanabilirlik bileşen parametreleri arasındaki doğrusal regresyon analiz sonuçları. Her bir noktada farklı bir türü ifade etmektedir. Doğrusal regresyon analizinin sonuç çizgisi kırmızı renkte gösterilmiştir. R^2 belirleyicilik katsayısını, p ise olasılık değerini ($p < 0.001$) göstermektedir.



Şekil 4.11. Yaprak fonksiyonel karakterleri ve yanabilirlik bileşen parametreleri arasındaki doğrusal regresyon analiz sonuçları. Ayrıntılar için bkz. (Şekil 4.10)

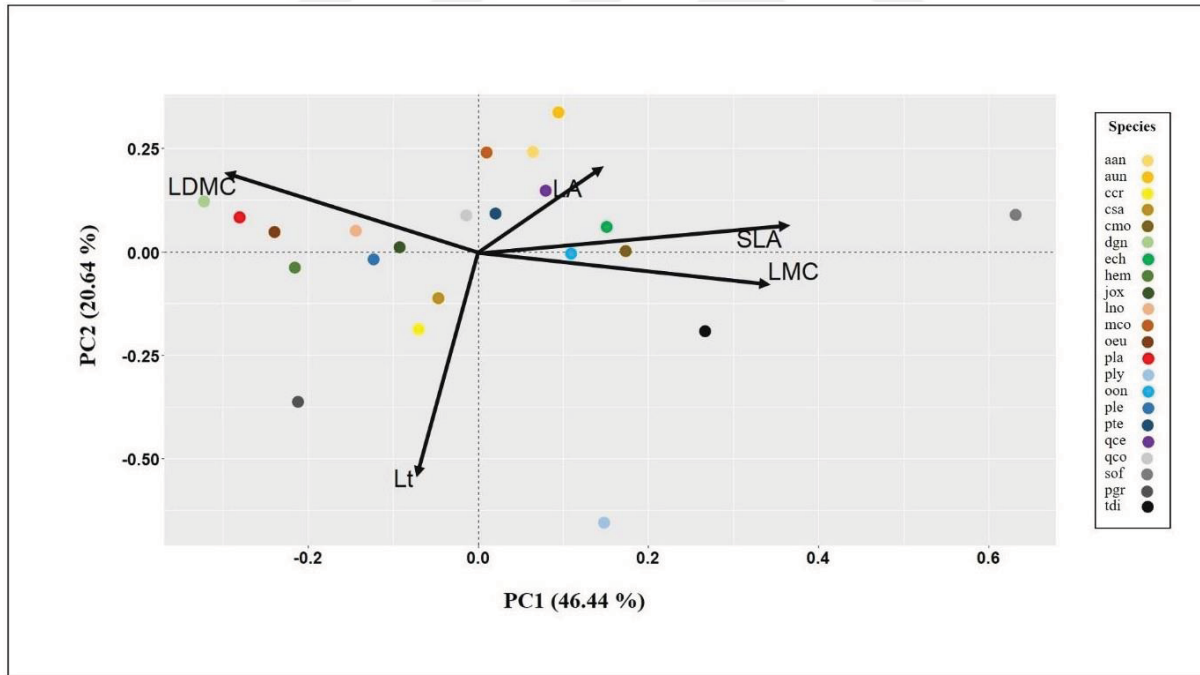


Şekil 4.12. 22 tür için altı yanabilirlik bileşen parametresinin temel bileşen analizi. Yanabilirlik bileşen parametreleri; tutuşma zamanı (TZ), duman süresi (DS), yanma süresi(YS), toplam yanma süresi (TYS), yanma oranı (YO), kütle kaybı (KK) ile ifade edilmiş ve şekil üzerinde pasif olarak gösterilmiştir. *Arbutus andrachne* (aan), *Arbutus unedo* (aun), *Cistus creticus* (ccr), *Cistus salviifolius* (csa), *Crataegus monogyna* (cmo), *Euphorbia characias* (ech), *Hypericum empetrifolium* (hem), *Juniperus oxycedrus* (jox), *Laurus nobilis* (lno), *Myrtus communis* (mco), *Olea europaea* (oeu), *Origanum onites* (oon), *Phlomis grandiflora* (pgr), *Phlomis lycia* (ply), *Phillyrea latifolia* (pla), *Pistacia lentiscus* (ple), *Pistacia terebinthus* (pte), *Quercus cerris* (qce), *Quercus coccifera* (qco), *Styrax officinalis* (sof), *Teucrium divaricatum* (tdi), *Daphne gnidioides* (dgn).

Altı yanabilirlik bileşen parametresi üzerinde Temel Bileşenler Analizi (PCA) ile belirlenen ilk iki eksen, 22 tür arasındaki değişimin %78'ini açıklamaktadır. Birinci temel bileşen (PC1), verilerdeki değişimin % 62'sini oluşturmuştur (Tablo 4.6) ve çoğunlukla duman süresi ve daha az bir dereceye kadar da yanma süresi, toplam yanma süresi, yanma oranı ve kütle kaybı ile kontrol edilmiştir. İkinci eksen (PC2) tutuşma zamanı ile yanabilirlik ölçütlerinde kalan %16.26'lık değişime katkıda bulunmuştur (Tablo 4.6). Yanıcı maddelerin tutuşabilirliğinin bir ölçüsü olan tutuşma zamanından sonra en önemli etkiye sahip olan parametre kütle kaybıdır. Tür ölçeğinde incelendiğinde yüksek yanabilirlik özelliklerine sahip türler PC1 boyunca negatif değerlere ve PC2 boyunca sıfıra yakın değerlere sahip olan türlerdir. Daha az yanıcı olan türler hem PC1 hem de PC2 boyunca yüksek pozitif değerlere sahiptir. Ara yanabilirlik derecelerine sahip türler ise ana bileşen grafiğinin merkezi etrafında gruplandırılmıştır (Şekil 4.12).

Tablo 4.6. Altı yanabilirlik bileşen parametresi ve beş yaprak fonksiyonel özelliği üzerindeki Temel Bileşenler Analizinden (PCA) elde edilen faktör yükleri ve değişim oranları.

PCA Yanabilirlik Bileşen Parametreleri			PCA Yaprak Fonksiyonel Özellik Parametreleri		
Değişken	PC1	PC2	Değişken	PC1	PC2
Tutuşma zamanı	-0.24	-0.71	Yaprak alanı	0.21	0.29
Duman süresi	-0.41	0.19	Yaprak kalınlığı	-0.11	-0.88
Yanma süresi	-0.46	-0.25	Özgül yaprak alanı	0.60	0.10
Toplam yanma süresi	-0.44	-0.27	Yaprak nem içeriği	0.57	0.11
Yanma oranı	0.44	-0.35	Yaprak kuru madde miktarı	-0.50	-0.16
Kütle kaybı	0.40	-0.44			
Açıklanan değişkenlik (%)	62.26	16.26	Açıklanan değişkenlik (%)	46.44	20.64



Şekil 4.13. 22 tür için altı yaprak fonksiyonel özellik parametrelerinin temel bileşen analizi.

Yaprak fonksiyonel özellik parametreleri; yaprak alanı (LA), yaprak kalınlığı (Lt), özgül yaprak alanı (SLA), yaprak nem içeriği (LMC), yaprak kuru madde miktarı (LDMC) ile ifade edilmiştir.

Beş yaprak fonksiyonel özelliği üzerinde Temel Bileşenler Analizi (PCA) ile belirlenen ilk iki eksen, 22 tür arasındaki değişimin %67'ini açıklamaktadır (Tablo 4.6). Birinci temel bileşen (PC1), verilerdeki değişimin % 46'sını oluşturmuştur ve çoğunlukla yaprak kuru madde miktarı ve daha az bir dereceye kadar da özgül yaprak alanı ve yaprak kalınlığı ile kontrol edilmiştir. İkinci eksen (PC2) yaprak kalınlığı ile yanabilirlik ölçütlerinde kalan %20.64'lük değişime katkıda bulunmuştur. Yanıcı maddelerin yanabilirliğinin bir ölçüsü olan yaprak kalınlığından sonra etkisi yüksek olan parametre yaprak kuru madde miktarıdır. Tür ölçeğinde incelendiğinde yüksek yanabilirlik özelliklerine sahip türler PC1 boyunca negatif değerlere ve PC2 boyunca sıfıra yakın değerlere sahip olan türlerdir (Şekil 4.13).



4.4. Tartışma

Bitki örtüsünün yangın davranışları üzerinde oldukça büyük etkisi bulunmaktadır ve yangın davranışını tahmin etmedeki en önemli unsur yanıcı madde tipini yanıcı madde yataklarına göre ölçeklendirmektir (Varner ve ark., 2015). Şimdiye kadar yapılan çalışmaların birçoğu bitki kısımlarının tutuşabilirliğine, bütün olarak bitki örtüsü türüne (ör. çayırlar, çalılıklar, okaliptüs ormanları (Cruz ve ark., 2015) ve bulundukları vejetasyondaki yangın davranışına olan etkilerine odaklanmıştır. Son zamanlarda uygulanan modeller yanıcı madde türü baz alınarak tasarlanırsa da yanabilirlikte türe özgü farklılıkların ortaya konduğu çalışmalar oldukça kısıtlıdır. Gerçek dünya senaryolarında yanıcı madde yataklarının birden çok döküntü tipinden oluştuğu doğrudur. Bununla birlikte herhangi bir yangın anında ilk tutuşan kısmın yaprak olduğu ve yanıcı madde yatağını oluşturan en önemli döküntüyü oluşturmaması (Etlinger ve Beall, 2005; Gill ve Zylstra, 2005; Pickett; ve ark., 2009; Zylstra ve ark., 2016), tür ölçeğinde yanabilirliğin bireysel yaprak özellikleri kullanılarak ortaya çıkarılması açısından çalışmanın ana çerçevesini oluşturmuştur. Bireysel yaprak yanabilirliğinin türler arasındaki değişimi ve yaprak fonksiyonel karakterlerinin bu değişime ne derecede katkı sunacağını yanı sıra yanabilirlik bileşenlerinin hangi yaprak karakterleri ile ilişkilendirilmesi gerektiği bu çalışmada açık bir şekilde ortaya çıkarılmıştır. Bununla birlikte, çalışma sonucunda arazi yönetimi için doğru bitki yanabilirliği ölçümlerinin belirlenmesi ve yaprak yanabilirliği testlerinin ilişkili olduğu düşünülen tüm parametreler için uygulanması, kanopi yanabilirliğinin değerlendirilmesi ve bitkilerin yangına verdikleri cevabın ortaya çıkarılması bu tez çalışmasının önemli çıktıları sağlamasına neden olmaktadır.

Elde edilen bulgular, türlerin incelenen yanabilirlik bileşen parametreleri ile tutarlı dağılım gösterdiklerini ortaya çıkarmıştır (Şekil 4.5). Daha önceki bölümlerde de bahsettiğimiz gibi bir türün yanabilirliğinin yüksek olmasının birden fazla nedeni olabilir. Bitki morfolojik ve fonksiyonel karakterleri, dokularındaki kompozisyonları (bünyelerinde uçucu bileşik bulunmaları), biyokütle özellikleri vb. özellikler, bitki yanabilirliğinin türler ya da bireyler arasında farklı olmasına neden olmaktadır (Shafizadeh ve ark., 1977; Etlinger, 2000; Francis, 2000). Ancak yanabilirliği ortaya çıkarmak için ölçülen yanabilirlik bileşenlerinden yola çıkarak bir türün ne kadar yanabilir olacağını, herhangi bir yangın durumunda nasıl davranacağını ve vejetasyon üzerinde nasıl bir etkiye sahip olacağını tahmin etmek mümkündür. Bu çerçevede, bir

türün yanabilirliğinin yüksek olması, kolayca tutuşabilmesine, uzun süre yanmasına ve büyük miktarda ısı yaymasıyla ilişkilendirilebilir (De Lillis ve ark., 2009).

Çalışma sonucunda, yanma süresi ve toplam yanma süresi arasında pozitif yüksek derecede ilişki gözlemlenmiştir (Şekil 4.5). Bu iki parametrenin türler arasındaki değişim grafiklerine baktığımızda aynı türlerin benzer sıralamaya sahip oldukları görülmüştür (Şekil 4.7). Bu durum sürdürülebilirlik bileşeninin *Phlomis grandiflora* ve *Phlomis lycia* türlerinde açıklanabileceğini göstermektedir. Bu türlerin sürdürülebilirliklerinin yüksek olması, herhangi bir yangın durumunda uzun süre yanma eğiliminde olmalarına neden olmaktadır. Bu durum yangın davranışlarının belirlenmesi noktasında oldukça önemlidir.

Saniyede harcanan kuru yaprak kütlesi cinsinden kayıp oranını ifade eden yanma oranı ile yanma ile tüketilen kütle oranını ifade eden kütle kaybı parametreleri arasında yüksek derecede ilişki gözlemlenmiştir (Şekil 4.5). Ayrıca, bahsedilen parametrelerin aynı türler üzerinde benzer etkiye sahip oldukları da tespit edilmiştir. Bu iki parametrenin hem birbirleri arasında hem de tür düzeyinde benzer etkiler göstermeleri, yanabilirliğin bileşenlerini oluşturan yanıcılığın (combustibility) ve tüketilebilirliğin (consumability) doğru orantılı olarak değiştiğini ortaya çıkarmıştır. Özellikle *Hypericum empetrifolium* ve *Juniperus oxycedrus* gibi küçük ve sert yapraklı türlerin kütle kayıp oranlarının ve yanma oranlarının yüksek olması, bulundukları vejetasyonda çok yanan türler kategorisinde değerlendirilmelerine yol açmaktadır (Şekil 4.8).

Sürdürülebilirliğin diğer bir göstergesi olan duman süresi, çalışmada değerlendirilen sürdürülebilirlik bileşenleri ile tür bazında benzerlik gösterdiği ancak yanmaları için uzun sürelerin geçmesi gereken türlerde farklılık gösterdiği ortaya çıkmıştır (Şekil 4.6). Düşük duman süresine sahip türlerin aynı zamanda düşük yanma sürelerine sahip oldukları tespit edilmiştir. Ancak yüksek duman süresine sahip türler yanma süresi ve toplam yanma süresinde gözlemlenen türlerle benzerlik göstermemektedir. Bu özelliğe sahip türlerin yanma sürelerinin değişebilmesi diğer yaprak özelliklerinin yanıcılık üzerinde farklı etkilere sahip olmasıyla açıklanabilir. Duman süresi uzun olan türlerin yapraklarının geniş ve büyük olması, daha uzun yanmalarına sebep olmuş olabilir. Bu durum, bu özelliğe sahip türlerin yangın esnasında fazla ve yoğun yanmalarına sebep olabilir. Zira bu türlerin kütle kayıp ve yanma oranlarının düşük olması sürdürülebilirliğin yanıcılık ve tüketilebilirlikle ters orantılı olarak değiştiğinin kanıtıdır (Şekil 4.9).

Tutuşabilirliğin göstergesi olarak ele alınan tutuşma zamanı parametresi ve türler arasındaki değişimi diğer üç yanabilirlik bileşeni ile değerlendirilebilir bir ilişki göstermemiştir (Şekil 4.5). Tutuşma zamanının türler arasındaki değişimine bakıldığında *Hypericum empetrifolium* ve *Myrtus communis* gibi ince ve küçük yapraklı türlerin tutuşması için çok zaman gerekmediğini ortaya çıkarmıştır. Bunun aksine *Cistus creticus* türünün tutuşma süresinin görece olarak uzun olması, orta derecede yanabilir olduğu bilinen (Dimitrakopoulos ve Papaioannou, 2001) bu tür için oldukça farklı bir çerçeve çizmiştir. Bunun nedeni, yüksek fenolik içeriğe sahip olan bu türün sahip olduğu uçucu bileşiklerinin kurutma sırasında buharlaşmış olabileceğinden kaynaklı olabilir. Elde edilen sonuçlara bakıldığında, en yüksek tutuşma zamanına sahip türün *Quercus coccifera* olduğu görülmektedir (Şekil 4.6). Bu durum, kalın ve sert yapraklı olan bu türün tutuşması için daha fazla zamana ihtiyacı olduğunu göstermektedir. *Quercus coccifera* türünün hâkim olduğu vejetasyonlarda gerçekleşen yangının, bu türün yanması için yüksek sıcaklık ve tutuşması için fazla enerji gerektiği sonucuna ulaşmamızı sağlar. Bu özellikleri gösteren türler, yandıktan sonra fazla ısı üreteceklerinden, yangın davranışının belirlenmesinde kilit rol oynayabilirler (Grootemaat ve ark., 2017). Grootemaat ve ark., (2017) yaptıkları çalışmada tek tek yaprakların tutuşma sürelerinin yangın yayılma hızına etki ettiğini öne sürmüşlerdir. Bir yaprağın hızı tutuşması ateşleme aşamalarının başlangıcını oluşturur. Bir yaprak ne kadar kolay tutuşursa, yangın bir yapraktan diğerine o kadar çabuk yayılır. Büyük olasılıkla yaprakların yoğunluğunun ve kalınlığından kaynaklanan bu durum türler arasında farklılaşan doku düzeylerinin büyük ölçeklerde önemli etkilere sahip olabileceğinin başka bir kanıtıdır. Türlerin tutuşabilirlik sıralamaları kullanılarak, tek tek yaprak tutuşabilirliğinden vejetasyon yanabilirliğine doğru ölçeklendirilebilir olması, tutuşma olasılıklarının tahmini ve orman yangınlarının yayılma oranı hakkında önemli bilgiler sağlar.

Yapılan çalışmalar, yanabilirlik bileşenlerinin, hem kimyasal hem de fiziksel bitki özellikleri ile ilişkili olduğunu ortaya çıkarmıştır (Philpot 1970, Rundel 1981, Etlinger ve Beall 2004). Bu durum bitki yanabilirliğinin bitki fonksiyonel özellikleri ile de açıklanabileceğini göstermektedir. Çalışmada elde edilen sonuçlar, 22 farklı Adeniz odunsu maki türünün yanabilirlikte varyasyon gösterdikleri ortaya koymaktadır ve yaprak fonksiyonel özelliklerinden bir kısmının bu değişkenliğin büyük bir bölümünden sorumlu olduğunu göstermektedir. Çalışma sonucunda yaprak kalınlığının yanma süresi ve toplam yanma süresi ile doğru orantılı olarak değiştiği ortaya çıkmıştır (Şekil 4.11). Buna göre

yaprak kalınlığı yüksek olan türler daha uzun yanma eğilimi göstermektedirler. Bu durum, herhangi bir yangın sırasında bu türlerin oluşturduğu vejetasyonun daha yoğun ve şiddetli yanmasına neden olabilir. Yaprak kalınlığının tutuşma zamanı ile doğru orantılı olarak artması çalışmanın bir başka çıktısını oluşturmaktadır (Şekil 4.11). Bu durum ince yapraklara sahip türlerin tutuşma sürelerinin oldukça düşük olmasına ve yangın esnasında bu türlerin hızlı bir şekilde tutuşmasına neden olmaktadır. Literatürün aksine, yapılan analizler sonucunda özgül yaprak alanı ile yanabilirlik bileşen parametreleri arasında güçlü bir ilişki tespit edilememiştir. Birçok çalışma özgül yaprak alanının ateşleme süresinin ana itici gücü olduğunu ileri sürmüştür (Grootemaat ve ark., 2015). Özgül yaprak alanının iki bileşeninden biri olan yaprak kalınlığının sürdürülebilirlikle yüksek ilişki göstermesine rağmen özgül yaprak alanının yanabilirlik bileşen parametreleri üzerinde herhangi bir etkisinin bulunamamış olması bu karakterin diğer bileşeni olan yaprak doku yoğunluğunun etkisinin ölçülmemesinden kaynaklı olabileceğini düşündürmektedir. Bu durum türlerin doku düzeylerinin daha büyük ölçeklerde önemli etkilere sahip olacağının bir kanıtıdır.

Çalışma sonucunda, diğer bir yaprak fonksiyonel özelliği olan yaprak alanının, yanma oranı ile negatif yüksek ilişkiye sahip olduğu ortaya çıkmıştır (Şekil 4.11). Bu durum yaprak alanı ile yanıcılık arasında ters orantılı bir ilişki olduğunun göstergesidir. Büyük yaprakların, havalandırma miktarını arttırdığı ve daha hızlı yanan bir altlık oluşturma eğiliminde olduğu bilinmektedir (Scarff ve Westoby, 2006). Ancak yaprak alanının yanma oranı ile ilişkili olduğunu ortaya koyan bir çalışmaya rastlanmamıştır. Elde edilen bulgular, yaprak alanı arttıkça saniyede tüketilen kuru yaprak kütlelerinin azalacağını ortaya çıkarmıştır. Yaprak alanı kütle kayıp oranı ile de yüksek derecede negatif ilişki göstermektedir. Yüksek yaprak alanına sahip türlerin yanma ile tüketilen kütle veya hacim oranlarının düşük olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum çalışmada ortaya konulan kütle kaybı parametresinin türler arasındaki değişimini ortaya koyan sonuçları da destekler niteliktedir (Şekil 4.8).

Hem çayırlarda hem de orman vejetasyonunu oluşturan türler arasında (Pompe ve Vines, 1966; van Wagner, 1967; Dimitrakopoulos ve Mateeva, 1998) yanabilirliği, yangın davranışını ve duman çıkışını (van Wagner, 1967; Rothmel, 1983) belirleyen en önemli değişkenin nem içeriği olduğunu öne süren geniş bir fikir birliği söz konusudur. Bu durum yanabilirlik bileşenlerinin yaprak fonksiyonel özellikleri ile kontrol edildiği varsayımını destekler niteliktedir (Philpot, 1970; Rundel, 1981; Etlinger ve Beall, 2004). Bunun

aksine bu çalışmada yaprak nem içeriği ile herhangi bir yanabilirlik bileşeni arasında güçlü bir ilişki tespit edilememiştir (Şekil 4.9). Yaprak nem miktarının, literatürü destekler nitelikte türler arasında yanabilirlik düzeyine yüksek derecede etkisinin olduğu çalışmanın ikinci bölümünde açık bir şekilde ortaya konmuştur. Her iki bölüm de yaprak nem içeriği hesaplamaları kullanılırken uygulanan nem içeriği hesaplaması aynı olmasına rağmen, yanma deneylerinin kuru yaprak kullanılarak gerçekleştirilmesinin ilişki bulunamamasına neden olabileceğini düşündürmektedir.

Yüksek yaprak kuru madde miktarına sahip bitkilerin daha hızlı tutuştuğu, daha yüksek bir sıcaklıkta yandığı, daha uzun süre yandığı ve daha fazla biyokütle tüketimine sahip olduğunun ileri sürülmesine (Alam ve ark., 2019) rağmen bu çalışmada yaprak kuru madde miktarının sadece sürdürülebilirlik ile ilişkili olduğu ortaya çıkarılmıştır (Şekil 4.9). Sürdürülebilirlik bileşeni tanımlayan duman süresi yaprak kuru madde miktarı arttıkça artma eğilimi göstermektedir. Literatürde, kalın ve sert yaprakların yüksek kuru madde miktarına sahip olduğunu öne süren çalışmaların yüksek yaprak kuru madde miktarına sahip türlerin yaprakların yüksek ateş direnci göstermelerine neden olduğunu ileri sürülmektedir (Michelaki ve ark., 2020). Ancak yaprak kuru madde miktarının duman süresi ile ilişkisini ortaya koyan bir çalışma bulunmamaktadır.

5. SONUÇ

Bu tez kapsamında yapılan çalışmalar, yangının ekosistemde önemli bir role sahip olduğu Akdeniz Havzasında, Kızılçam orman altı florasını oluşturan baskın maki türlerinin yanabilirliklerinin çeşitli bitki karakterleri temelinde tür ve popülasyon düzeyinde farklılık gösterdiğini ortaya çıkarmıştır. Bireysel yaprak yanabilirliğini; türler arasındaki yaprak fonksiyonel özellikleri, bu karakterlerin farklı yangın rejimi altında popülasyon ve komünite düzeyinde ne derecede değiştiği ve bu yaprak fonksiyonel karakterlerinin yanabilirlik bileşenleri ile karşılaştırıldığında türlerin yanabilirliklerini farklı derecelerde etkilediği gözlemlenmiştir. Çalışmada türlerin yanabilirliğinin geniş kapsamda değerlendirilebilmesi için çok sayıda yanabilirlik karakteri birlikte ele alınması, bitki yanabilirliğine etki eden özelliklerin bir bütün olarak değerlendirilmesine neden olmuştur. Bitki fonksiyonel karakterlerinin, bireysel tür yanabilirliği üzerindeki etkisini anlamak, küresel ısınma ve artan orman dönüşüm alanlarının Akdeniz ekosisteminde yangın etkileşimlerini ne derecede etkilediğinin ortaya çıkarılması açısından oldukça önemlidir. Artan yangın aktivitesinin, yangınla ilgili farklı uyarlanmalara neden olması ve bu uyarlanmaların ormanın yapısında kalıcı değişikliğe yol açma ihtimali bulunmaktadır. Tez sonucu elde edilen bulgular, yanabilirlik karakterlerinin yangına eğilimli ekosistemlerdeki bitki türlerinin ekolojisini ve evrimini anlamak için dikkate alınması gereken önemli bir biyolojik karakter olduğu fikrini desteklemektedir. Dünyanın yangına eğilimli bölgelerinde kolay yanabilen ya da yangına dayanıklı bitki tür ve tür özelliklerinin belirlenmesi, kısa ve uzun vadede yangına karşı duyarlılığın daha iyi anlaşılmasına olanak sağlayacaktır. Akdeniz Havzası'nda gerçekleştirilen yanabilirlik çalışmaları, bu ormanların yangına karşı güvenlik açığının saptanmasına ve uygun yol haritaları belirlenmesine neden olacaktır. Özellikle yangına eğilimli ekosistemlerin yangına karşı hassaslığını tahmin edebilmek, koruma stratejileri ve arazi kullanım politikalarının doğru bir şekilde uygulanmasında etkili olacaktır.

6. KAYNAKLAR

Abatzoglou, J.T., Williams, A.P., Impact of anthropogenic climate change on wildfire across western US forests, *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 113(42),11770–11775, **2016**.

Alam, A.M., Wyse, S.V., Buckley, H.L., Perry, G.L., Sullivan, J.J., Mason, N.W., Buxton, R., Richardson, S.J., Curran, T.J., Shoot flammability is decoupled from leaf flammability, but controlled by leaf functional traits, *Journal of Ecology*, 108, 641–653, **2020**.

Alessio, G., Peñuelas, J., Lusía, J., Ogaya, R., Estiarte, M., De Lillis, M., Influence of water and terpenes on flammability in some dominant Mediterranean species, *International Journal of Wildland Fire* 17, 274–286, **2008**.

Anderson, H.E., Forest fuel ignitability, *Fire Technology*. 6, 312– 319, **1970**.

Anderson, R.C., The historic role of fire in the North American grasslands, In S.L. Collins and L.L. Wallace (ed.) *Fire in North American tallgrass prairies*, University of Oklahoma Press, London, 8–18, **1990**.

Archibald, S., Lehmann, C. E. R., Belcher, C. M., Bond, W. J., Bradstock, R. A., Daniau, A. L., Dexter, K . G., Forrestel, E . J., Greve, M., He, T., Biological and geophysical feedbacks with fire in the Earth system, *Environmental Research Letters*, 13(3), 33003, **2018**.

Aschmann, H., Distribution and peculiarity of Mediterranean ecosystems. In: di Castri F., Mooney H.A. (eds) *Mediterranean Type Ecosystems. Ecological Studies (Analysis and Synthesis)*, vol 7, Springer, Berlin, Heidelberg, **1973**.

Axelrod, D.I., History of the maritime closed-cone pines, Alta and Baja California. Univ of California Press. López-Soria, L., Castell, C., 1992. Comparative genet survival after fire in woody Mediterranean species, *Oecologia*, 91, 493–499, **1980**.

Baeza, M., Santana, V., Pausas, J. and Vallejo, V., Successional trends in standing dead biomass in Mediterranean basin species, *Journal of Vegetation Science*, 22, 467-474, **2011**.

Baeza, M.J., Roy, J., Germination of an obligate seeder (*Ulex parviflorus*) and consequences for wildfire management, *Forest Ecology and Management*, 256, 685–693, **2008**.

Baeza, M.J., Santana, V.M., Biological significance of dead biomass retention trait in Mediterranean Basin species: an analysis between different successional niches and regeneration strategies as functional groups, *Journal of Plant Biology*, 17, 1196-1202, **2015**.

Bahar, A., Yangın Sıklığı Ve Vegetasyon Örtüsünün Akdeniz Vegetasyonu Dinamikleri Üzerine Etkisinin Modellenmesi, Yüksek lisans tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, **2018**.

Bates, D., Maechler, M., Bolker, B., Walker, S., Christensen, R. H. B., Singmann, H., Dai, B., Grothendieck, G., Green, P., Package ‘lme4’. **2016**. <https://cran.r-project.org/web/packages/lme4/lme4.pdf>.

Behm, A.L., Duryea, M.L., Long, A.J., Zipperer, W.C., Flammability of native understory species in pine flatwood and hardwood hammock ecosystems and implications for the wildland–urban interface, *International Journal of Wildland Fire*, 13, 355–365, **2004**.

Bekar, İ., Tavşanoğlu, Ç., Pezzatti, B. G., Vacik, H., Pausas, J. G., Bugmann, H., Petter, G., Cross-regional modeling of fire occurrence in the Alps and the Mediterranean Basin. *International Journal of Wildland Fire*, 29, 712-722, **2020**.

Belcher, C., M., The influence of leaf morphology on litter flammability and its utility for interpreting palaeofire, *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 371, 20150163, **2016**.

Berry, Z.C., Wevill, K., Curran, T.J., The invasive weed *Lantana camara* increases fire risk in dry rainforest by altering fuel beds, *Weed Research*, 51, 525-533, **2011**.

Bianchi, L. O., Defossé, G., E., Live fuel moisture content and leaf ignition of forest species in Andean Patagonia, Argentina, *International Journal of Wildland Fire*, 24, 340-348, **2015**.

Bilgili, E., Coskuner, K. A., Usta, Y., Saglam, B., Kucuk, O., Berber, T., Goltas, M., Diurnal surface fuel moisture prediction model for Calabrian pine stands in Turkey. *iForest-Biogeosciences and Forestry*, 12(3), 262, **2019**.

- Bilgili, E., Kucuk, O., Estimating above-ground fuel biomass in young Calabrian pine (*Pinus brutia* Ten.). *Energy & Fuels*, 23(4), 1797-1800, **2009**.
- Bond, W.J., Midgley, J.J., Kill thy neighbour: an individualistic argument for the evolution of flammability, *Oikos*, 73, 79–85, **1995**.
- Bond, W.J., Open ecosystems: ecology and evolution beyond the forest edge. Oxford University Press, Oxford, **2019**.
- Bond, W.J., Scott, A.C., Fire and the spread of flowering plants in the Cretaceous, *New Phytologist*, 188(4), 1137–1150, **2010**.
- Bond, W.J., Van Wilgen, B.W., Why and how do ecosystems burn? Chapman & Hall, London, *Fire and Plants*, 17–33, **1996**.
- Bradstock, R.A., Auld, T.D., Ellis, M.E., Cohn, J.S., Soil temperatures during bushfires in semi-arid, mallee shrublands, *Australian Journal of Ecology*, 17, 433-440, **1992**.
- Brooks, M.L., M. D'Antonio, C., M. Richardson, D., B. Grace, J., Keeley, J.E., M. DiTomaso, J., J. Hobbs, R., Pellant, M., Pyke, D., Effects of Invasive Alien Plants on Fire Regimes, *BioScience*, 54 (7), 677–688, **2004**.
- Burger, N., Bond, W.J., Flammability traits of cape shrubland species with different post-fire recruitment strategies, *South African Journal of Botany*, 101, 40–8, **2015**.
- Byram, G.M., Combustion of forest fuels. in: Davis, K.P. (Ed.), *Forest Fire: Control and Use*, McGraw-Hill, New York, 61 – 89, **1959**.
- Calvo, L., Santalla, S., Valbuena, L., Marcos, E., Tárrega, R., Luis-Calabuig, E., Post-fire natural regeneration of a *Pinus pinaster* forest in NW Spain. *Plant Ecology*, 197(1), 81-90, **2008**.
- Chambers, M., Assessing the flammability of domestic and wildland vegetation, In: *Proceedings of the 12th Conference on Fire and Forest Meteorology*, SAF Publication, 94-02, Bethesda, MD, USA, SAF, 130–137, **1994**.
- Charles-Dominique, T., Beckett, H., Midgley, G.F., Bond, W.J., Bud protection: a key trait for species sorting in a forest–savanna mosaic, *New phytologist*, 207, 1052–1060, **2015**.

- Christensen, N.L., The effects of fire on physical and chemical properties of soils in mediterranean-climate shrublands. In: Moreno, J.M., Oechel, W.C. (eds) *The Role of Fire in Mediterranean-Type Ecosystems*, Springer-Verlag, New York, 79-95, **1994**.
- Chuvieco, E., Cocero, D., Riano, D., Martín, M.P., Martínez-Vega, J., de la Riva, J., Pérez, F., Combining NDVI and surface temperature for the estimation of live fuel moisture content in forest fire danger rating, *RSE*, 92, 322– 331, **2004b**.
- Chuvieco, E., González, I., Verdú, F., Aguado, I., Yebra, M. Prediction of fire occurrence from live fuel moisture content measurements in a Mediterranean ecosystem, *International Journal of Wildland Fire*, 18, 430-441, **2009**.
- Coca, M., Pausas, J.G., Regeneration traits are structuring phylogenetic diversity in cork oak (*Quercus suber*) woodlands, *Journal of Vegetation Science*, 20, 1009-1015, **2009**.
- Cornelissen, J., An experimental comparison of leaf decomposition rates in a wide range of temperate plant species and types, *Journal of Ecology*, 84(4), 573-582, **1996**.
- Cornelissen, J.H.C., Lavorel, S., Garnier, E., Di'az, S., Buchmann, N., Gurvich, D.E., Reich, P.B., ter Steege, H., Morgan, H.D., van der Heijden, M.G.A., Pausas, J.G., Poorter, H., A handbook of protocols for standardised and easy measurement of plant functional traits worldwide, *Australian Journal of Botany*, 51(4), 335–380, **2003**.
- Cornwell, W.K., Elvira, A., van Kempen, L., van Logtestijn, R.S.P., Aptroot, A. and Cornelissen, J.H.C., Flammability across the gymnosperm phylogeny: the importance of litter particle size, *New Phytologist*, 206, 672-681, **2015**.
- Crisp, M.D., Burrows, G.E., Cook, L.G., Thornhill, A.H., Bowman, D.M.J.S., 2011. Flammable biomes dominated by eucalypts originated at the Cretaceous-Palaeogene boundary, *Nature Communications*, 2, 193, **2011**.
- Cruz, R., Cunha, S.C., Casal, S., Brominated flame retardants and seafood safety: A review. *Environment International*, 77, 116-131, **2015**.
- D'Antonio, C.M., Vitousek, P.M., *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 23, 63, **1992**.
- Dantas, V., Batalha, M.A., França, H., Pausas, J.G., Resource availability shapes fire-filtered savannas. *Journal of Vegetation Science*, 26(2), 395-403, **2015**.

Davis, P.H., Flora of Turkey and the East Aegean islands. Edinburgh University Press, Edinburgh, UK, 1-9, **1965-1985**.

De Lillis, M., Bianco, P.M., Loreto, F., The influence of leaf water content and isoprenoids on flammability of some Mediterranean woody species, *International Journal of Wildland Fire*, 18, 203-212, **2009**.

De Luis, M., Baeza, M. J., Raventós José, González-Hidalgo José C., Fuel characteristics and fire behaviour in mature Mediterranean gorse shrublands, *International Journal of Wildland Fire*, 13, 79-87, **2004**.

De Magalhães, R.M.Q., Schwilk, D.W., Leaf traits and litter flammability: evidence for non-additive mixture effects in a temperate forest, *Journal of Ecology*, 100, 1153-1163, **2012**.

DeBano, L.F., Neary, D.G., Ffolliott, P.F., Fire effects on ecosystems, Wiley, New York, **1998**.

Delcourt, H., Delcourt, P., Pre-Columbian Native American Use of Fire on Southern Appalachian Landscapes, *Conservation Biology*, 11(4), 1010-1014, **1997**.

Dimitrakopoulos, A. P., A statistical classification of Mediterranean species based on their flammability components, *International Journal of Wildland Fire*, 10, 113-118, **2001**.

Dimitrakopoulos, A.P., Mateeva, V., Effect of moisture content on the ignitability of Mediterranean species. In: Chuvieco, E. (Ed.), Third International Conference on Forest Fire Research and 14th Conference on Fire and Forest Meteorology, ADAI, Coimbra, Portugal, 455–466, **1998**.

Dimitrakopoulos, A.P., Papaioannou, K.K., Flammability assessment of Mediterranean forest fuels, *Fire Technology*, 37, 143–152, **2001**.

Dimitrakopoulos, P.G., Adaptive flammability syndromes in thermo-Mediterranean vegetation, captured by alternative resource-use strategies, *Science of The Total Environment*, 718, 13, **2020**.

Doerr, S.H., Santín, C., Global trends in wildfire and its impacts: perceptions versus realities in a changing world, *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 371, **2016**.

Engber, E. A. and Varner J. M. III., Patterns of flammability of the California oaks: the role of leaf traits, *Canadian Journal of Forest Research*, 42, 1965–1975, **2012**.

Esteban-Parra, M.J., Pozo-Vázquez, D., Rodrigo, F.S., Castro-Díez, Y., Temperature and precipitation variability and trends in northern Spain in the context of the Iberian peninsula climate. In: Bolle HJ (ed) *Mediterranean climate: variability and trends*, Springer, Berlin, 259–276, **2003**.

Etlinger, M.G., Beall, F.C., Development of a laboratory protocol for fire performance of landscape plants, *International Journal of Wildland Fire*, 13, 479–488, **2004**.

Etlinger, M.G., Fire performance of landscape plants, MS Thesis, University of California, Berkeley, 117, **2000**.

Fernandes, P.M., Cruz, M.G., Plant flammability experiments offer limited insight into vegetation–fire dynamics interactions, *New Phytologist*, 194, 606–609, **2012**.

Flannigan, M., Cantin, A. S., J. de Groot, W., Wotton, M., Newbery, A., Gowman L.M., Global wildland fire season severity in the 21st century, *Forest Ecology and Management*, 294, 54– 61, **2013**.

Flannigan, M.D., M. A. Krawchuk, W. J. de Groot, B. M. Wotton, and L. M. Gowman., Implications of changing climate for global wildland fire, *International Journal of Wildland Fire*, 18, 483–507, **2009**.

Flannigan, M.D., Stocks, B.J., Wotton, B.M., Climate change and forest fires. *Science of the Total Environment*, 262, 221–229, **2000**.

Founda, D., Varotsos, K.; Pierros, F., Giannakopoulos, C. Observed and projected shifts in hot extremes' season in the Eastern Mediterranean. *Global and Planetary Change*, 175, 190–200, **2019**.

Francis, J. K., Comparison of hurricane damage to several species of urban trees in San Juan, Puerto Rico, *Journal of Arboriculture*, 26, 189–197, **2000**.

Gagnon, P.R., Passmore, H.A., Platt, W.J., Myers, J.A., Paine, C.E.T. and Harms, K.E., Does pyrogenicity protect burning plants?, *Ecology*, 91, 3481–3486, **2010**.

Ganteaume, A., Camia, A., Jappiot, M. et al. A Review of the Main Driving Factors of Forest Fire Ignition Over Europe, *Environmental Management*, 51, 651–662, **2013**.

- Ganteaume, A., Guijarro, M., Jappiot, M. et al. Laboratory characterization of firebrands involved in spot fires, *Annals of Forest Science*, 68, 531, **2011**.
- Ganteaume, A., Marielle, J., Corinne, J. M., Thomas, C., Laurent, B., Fuel characterization and effects of wildfire recurrence on vegetation structure on limestone soils in southeastern France, *Forest Ecology and Management*, 258, S15-S23, **2009**.
- Garnier, E., Laurent, G., Bellmann, A., Debain, S., Berthelie, P., Ducout, B., Roumet, C. and Navas, M.-L., Consistency of species ranking based on functional leaf traits, *New Phytologist*, 152, 69-83, **2001**.
- Garnier, E., Laurent, G., Leaf anatomy, specific mass and water content in congeneric annual and perennial grass species, *New Phytologist*, 128, 725-736, **1994**.
- Gholz, H.L., Wedin, D.A., Smitherman, S.M., Harmon, M.E. and Parton, W.J., Long-term dynamics of pine and hardwood litter in contrasting environments: toward a global model of decomposition, *Global Change Biology*, 6, 751-765, **2000**.
- Gill, A.M., Allan G., Large fires, fire effects and the fire-regime concept, *International Journal of Wildland Fire*, 17, 688-695, **2008**.
- Gill, A.M., Moore P.H.R., Ignitability of leaves of Australian plants, CSIRO Plant Industry, Centre for Plant Biodiversity Research. (Canberra), **1996**.
- Gill, A.M., Trollope W.S.W., McArthur DA, Role of moisture in the flammability of natural fuels in the laboratory, *Australian Forestry*, 8, 199–208, **1978**.
- Gill, A.M., Williams, R.D. (Eds.), *Flammable Australia*. CSIRO Publishing, Collingwood. Parsons, A. L., Balch, J. K., de Andrade, R. B., & Brando, P. M., The role of leaf traits in determining litter flammability of south-eastern Amazon tree species, *International Journal of Wildland Fire*, 24, 1143–1153, **2015**.
- Gill, A.M., Zylstra, P., Flammability of Australian forests, *Australian Forestry*, 68, 87–94, **2005**.
- Gill, M., Zylstra, P., Flammability of Australian forests, *Australian Forestry*, 68(2), 87-93, **2005**.
- Gómez-González, S., Torres-Díaz, C., Bustos-Schindler, C., Gianoli, E., Anthropogenic fire drives the evolution of seed traits, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108, 18743–18747, **2011**.

- Goren-Inbar, N., Alperson, N., Kislev, M.E., Simchoni, O., Melamed, Y., Ben-Num, A., Werker, E., Evidence of hominin control of fire at Greshet Benot Ya'aqov, *Science* 304, 725–727, **2004**.
- Grootemaat, S., Wright, I.J., van Bodegom, P.M., Cornelissen, J.H.C. & Cornwell, W.K., Burn or rot: leaf traits explain why flammability and decomposability are decoupled across species, *Functional Ecology*, 29, 1486-1497, **2015**.
- Grootemaat, S., Wright, I.J., van Bodegom, P.M., Cornelissen, J.H.C., Scaling up flammability from individual leaves to fuel beds, *Oikos*, 126, 1428-1438, **2017**.
- Guyette, R., Muzika, R. & Dey, D. Dynamics of an Anthropogenic Fire Regime, *Ecosystems* 5, 472–486, **2002**.
- Hanes, T.L., Succession after Fire in the Chaparral of Southern California, *Ecological Monographs*, 41, 27-52, **1971**.
- He T., Lamont, B.B., Downes, K.S., Banksia born to burn? *New Phytologist* 191, 184–196, **2011**.
- He, T., Lamont, B.B., Baptism by fire: the pivotal role of ancient conflagrations in evolution of the Earth's flora. *National Science Review*, 5 (2), 237-254, **2017**.
- He, T., Lamont, B.B., Downes, K.S., Banksia born to burn, *New Phytologist*, 191, 184–196, **2011**.
- He, T., Pausas, J.G., Belcher, C.M., Schwillk, D.W., Lamont, B.B., Fire-adapted traits of *Pinus arrose* in the fiery Cretaceous, *New Phytologist*, 194, 751–759, **2012**.
- Horton, J., Kraebel, C., Development of Vegetation after Fire in the Chamise Chaparral of Southern California, *Ecology*, 36(2), 244-262, **1955**.
- Jolly, W., Cochrane, M., Freeborn, P. et al. Climate-induced variations in global wildfire danger from 1979 to 2013, *Nature Communications*, 7537, **2015**.
- Jolly, W.M., Johnson, D.M., Pyro-ecophysiology: shifting the paradigm of live wildland fuel research, *Fire*, 1:8, **2018**.
- Kane, J.M., Varner, J.M., Hiers, J.K., The burning characteristics of southeastern oaks: discriminating fire facilitators from fire impiders, *Forest Ecology and Management*, 256, 2039–2045, **2008**.

- Kattge, J. et al., TRY plant trait database enhanced coverage and open Access, *Global Change Biology*, 26, 119-188, **2020**.
- Kauf, Z., Fangmeier, A., Rosavec, R. et al. Seasonal and Local Differences in Leaf Litter Flammability of Six Mediterranean Tree Species, *Environmental Management*, 55, 687–701, **2015**.
- Kavgacı, A., Čarni, A., Başaran, S., Başaran, M. A., Košir, P., Marinšek, A., Šilc, U., Long-term post-fire succession of *Pinus brutia* forest in the east Mediterranean, *International Journal of Wildland Fire*, 19(5), 599-605, **2010**.
- Kaya, B., Aladağ, C., Precipitation, temperature and vegetation relations in the conditions of Konya, *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 22, 265-78, **2009**.
- Kazancı, D. D., Tavşanoğlu, Ç., Heat shock-stimulated germination in Mediterranean Basin plants in relation to growth form, dormancy type, and distributional range, *Folia Geobotanica*, 54, 85-98, **2019**.
- Kazancı, D.D., Kızılçam'da (*Pinus brutia* Ten.) Yangınla İlişkili Karakterlerin Popülasyonlar Arası Değişkenliği ve Bu Değişkenliği Ortaya Çıkartan Faktörler, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, **2021**.
- Kazanis, D., Arianoutsou, M., Long-term post-fire vegetation dynamics in *Pinus halepensis* forests of Central Greece: a functional group approach, *Plant ecology*, 171 (1-2), 101-121, **2004**.
- Keeley J.E., Fotheringham, C.J., Role of fire in regeneration from seed, Fenner M, ed. *Seeds: The Ecology of Regeneration in Plant Communities*. 2nd ed. CAB International, 311-330, **2000**.
- Keeley, J.E., Babr-Keeley, M., Role of charred wood, heat-shock, and light in germination of postfire phrygana species from the eastern mediterranean basin, *Israel Journal of Plant Sciences*, 47(1), 11-16, **1999**.
- Keeley, J.E., Native American impacts on fire regimes of the California coastal ranges, *Journal of Biogeography*, 29, 303–320, **2002**.
- Keeley, J.E., Pausas, J.G., Rundel, P.W., Bond, W.J., Bradstock, R.A., Fire as an evolutionary pressure shaping plant traits, *Trends in Plant Science*, 16, 406–411, **2011**.

- Keeley, J.E., Zedler, P.H., Large, high-intensity fire events in southern California shrublands: debunking the fine-grain age patch model, *Ecological Applications*, 19, 69-94, **2009**.
- Kenneth, R. Montgomery, P. C. Cheo, Effect of Leaf Thickness on Ignitibility, *Forest Science*, (17) 4, 475–478, **1971**.
- Krix, D. W., Murray, B. R., Landscape variation in plant leaf flammability is driven by leaf traits responding to environmental gradients, *Ecosphere*, 9(2):e02093, **2018**.
- Kucuk, O, Aktepe, N., Effect of phenolic compounds on the flammability in forest fires, *International Journal of Engineering, Science and Technology*, 6 (4), 320-327, **2017**.
- Kuennecke, H.B., Temperate Forest Biomes. Greenwood Press, Westport, **2008**.
- Lamont, B.B., He, T., Downes, K.S., Adaptive responses to directional trait selection in the Miocene enabled Cape proteas to colonize the savanna grasslands, *Evolutionary Ecology* 27, 1099–1115, **2013**.
- Le Page, Yannick, Morton, Douglas, Hartin, Corinne, Bond-Lamberty, Ben, Pereira, Jose Miguel Cardoso, Hurtt, George, and Asrar, Ghassem, Synergy between land use and climate change increases future fire risk in Amazon forests, United States: N. p., **2017**.
- Loucks, O. L., Evolution of diversity, efficiency, and community stability, *American Zoologist*, 10, 17-25, **1970**.
- Marlon, J., Bartlein, P., Carcaillet, C. et al. Climate and human influences on global biomass burning over the past two millennia, *Nature Geoscience*, 1, 697–702, **2008**.
- Martin, R.E., Gordon, D., Gutierrez, M., Lee D., Molina, D., Schroeder, R., Sapsis, D., Stephens, S., Shafizadeh, F., Chin, P.P.S., Dearoot, W.F., Effective heat content of green forest fuels, *Forest Science*, 23(1), 81-89, **1977**.
- Martin, R.E., Gordon, D.A., Gutierrez, M.A., Assessing the flammability of domestic and wildland vegetation, In ‘Proceedings 12th conference on fire and forest meteorology, 26–28 October 1993, Jekyll Island, GA’. p. 796. (Society of American Foresters: Bethesda, MD), **1994**.
- Mason, N.W.H., Frazao, C., Buxton, R.P. et al. Fire form and function: evidence for exaptive flammability in the New Zealand flora, *Plant Ecology*, 217, 645–659, **2016**.

Maurin, O., Davies, T.J., Burrows, J.E., Daru, B.H., Yessoufou, K., Muasya, A.M., van der Bank, M., Bond, W.J., Savanna fire and the origins of the “underground forests” of Africa, *New Phytologist*, 204, 201–14, **2014**.

Medail, F., & Quezel, P., Hot-Spots Analysis for Conservation of Plant Biodiversity in the Mediterranean Basin, *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 84(1), 112-127, **1997**.

Meentemeyer, V., Macroclimate and Lignin Control of Litter Decomposition Rates, *Ecology*, 59, 465-472, **1978**.

Michelaki, C., Fyllas, N.M., Galanidis, A., Aloupi, M., Evangelou, E., Arianoutsou, M., Dimitrakopoulos, P.G., Adaptive flammability syndromes in thermo-Mediterranean vegetation, captured by alternative resource-use strategies, *Science of The Total Environment*, Volume 718, **2020**.

Midgley, J.J., Kruger, L.M., Skelton, R., How do fires kill plants? The hydraulic death hypothesis and Cape Proteaceae “fire-resisters”, *South African Journal of Botany* 77, 381– 386, **2011**.

Miller, J.D., E.E. Knapp, C.H. Key, C.N. Skinner, C.J. Isbell, R.M. Creasy, and J.W. Sherlock, Calibration and validation of the Relative differenced Normalized Burn Ratio (RdNBR) to three measures of fire severity in the Sierra Nevada and Klamath Mountains, California, USA. *Remote Sensing of Environment*, 113, 645-656, **2009**

Minnich, R.A., Fire mosaics in southern California and northern Baja California, *Science* 219, 1287-1294, **1983**.

Montgomery, K.R., Cheo, P.C., Effect of leaf thickness on ignitibility, *Forest Science*, 17, 475–478, **1971**.

Moreira, B., Castellanos, M.C., Pausas, J.G., Genetic component of flammability variation in a Mediterranean shrub, *Molecular Biology*, 23, 1213-1223, **2014**.

Moreira, B., Tavsanoğlu, Ç., Pausas, J.G., Local versus regional intraspecific variability in regeneration traits, *Oecologia* 168, 671-677, **2012**.

Moreira, F. et al. Landscape-wildfire interactions in southern Europe: implications for landscape management, *Journal of Environmental Management*, 92, 2389–2402, **2011**.

Moreira, F., Ascoli, D., Safford, H., Adams, M., Moreno, J. M., Pereira, J. C., Catry, F., Armesto, J., Bond, W. J., Gonzalez, M., Curt, T., Koutsias, N., McCaw, L., Price, O.,

Pausas, J., Rigolot, E., Stephens, S., Tavsanoğlu, C., Vallejo, R., Van Wilgen, B., Xanthopoulos, G., Fernandes, P., Wildfire management in Mediterranean-type regions: Paradigm change needed. *Environmental Research Letters*, 15, 01100, **2020**.

Murray, B.R., Hardstaff, L.K., Phillips, M.L., Differences in leaf flammability, leaf traits and flammability-trait relationships between native and exotic plant species of dry sclerophyll forest, *PLoS ONE* 8(11), e79205, **2013**.

Mutch, R.W. Wildland fires and ecosystems- A hypothesis, *Ecology* 51.6, 1046-1051, **1970**.

Mutch, R.W., Philpot, C.W., Relation of silica content to flammability in grasses, *Forest Science*, 16, 64–65 (62), **1970**.

Naveh, Z., The conservation of ecological diversity of mediterranean ecosystems through ecological management, In: E. Duffey & A.S. Watt (eds.), *The Scientific Management of Animal and Plant Communities for Conservation*, Symposium of the British Ecological Society, 11, 605–622, **1971**.

Neyişçi, T., Kolay ve güç yanan bitki türleri, *Orman Mühendisliği Dergisi*, 33 (5), 3-9, **1996**.

Ooi, M.K.J., Denham, A.J., Santana, V.M. and Auld, T.D., Temperature thresholds of physically dormant seeds and plant functional response to fire: variation among species and relative impact of climate change, *Ecology and Evolution*, 4, 656–671, **2014**.

Ormeno, E., Céspedes, B., Sánchez, I.A., Velasco-García, A., Moreno, J.M., Fernandez, C., Baldy, V., The relationship between terpenes and flammability of leaf litter, *Forest Ecology and Management* 257, 471–482, **2009**.

Papió, C., Trabaud, L., Structural characteristics of fuel components of five Mediterranean shrubs, *Forest Ecology and Management*, 35, 249–259, **1990**.

Papió, C., Trabaud, L., Comparative study of the aerial structure of five shrubs of Mediterranean shrublands, *Forest Science*, 37, 146–159, **1991**.

Papio, C., Trabaud, L., Structural characteristics of fuel components of five Mediterranean shrubs, *Forest Ecology and Management*, 35, 249–259, **1990**.

Parsons, D., The role of fire in natural communities: An example from the Southern Sierra Nevada, California, *Environmental Conservation*, 3(2), 91-99, **1976**.

Paula, S., Arianoutsou, M., Kazanis, D., Tavsanoğlu, Ç., Lloret, F., Buhk, C., Ojeda, F., Luna, B., Moreno, J.M., Rodrigo, A., Espelta, J.M., Palacio, S., Fernández-Santos, B., Fernandes, P.M., Pausas, J.G., Fire-related traits for plant species of the Mediterranean Basin. *Ecology*, 90: 1420, **2009**.

Paula, S., Naulin, P.I., Arce, C., Galaz, C., Pausas, J.G., Lignotubers in Mediterranean basin plants, *Plant Ecology*, 217, 661-676, **2016**.

Pausas, J.G. Changes in fire and climate in the eastern Iberian Peninsula (Mediterranean Basin), *Climatic Change*, 63, 337–350, **2004**.

Pausas, J.G. Keeley, J.E., A burning story: the role of fire in the history of life, *BioScience*, 59 (7), 593–601, **2009**.

Pausas, J.G., Alessio, G., Moreira, B. Corcobado, G., Fires enhance flammability in *Ulex parviflorus*, *New Phytologist*, 193, 18-23, **2012**.

Pausas, J.G., Alessio, G., Moreira, B., Corcobado, G., Fires enhance flammability in *Ulex parviflorus*, *New Phytologist* 193, 18-23, **2012**.

Pausas, J.G., Alessio, G.A., Moreira, B., Segarra-Moragues, J.G. Secondary compounds enhance flammability in a Mediterranean plant, *Oecologia*, 180, 103–110, **2016**.

Pausas, J.G., Bark thickness and fire regime, *Functional Ecology*, 29, 315-327, **2015**.

Pausas, J.G., Bradstock, R.A., Keith, D.A., Keeley, J.E., GCTE Fire Network. ,Plant functional traits in relation to fire in crown fire ecosystems, *Ecology*, 85, 1085-1100, **2004**.

Pausas, J.G., Fernández-Muñoz, S., Fire regime changes in the Western Mediterranean Basin: from fuel-limited to drought-driven fire regime, *Climatic Change*, 110, 215–226, **2012**.

Pausas, J.G., Keeley, J.E. and Schwilk, D.W., Flammability as an ecological and evolutionary driver, *Journal of Ecology*, 105, 289-297, **2017**.

Pausas, J.G., Moreira, B., Flammability as a biological concept, *New Phytologist*, 194, 610-613, **2012**.

Pausas, J.G., Response of plant functional types to changes in the fire regime in Mediterranean ecosystems: A simulation approach, *Journal of Vegetation Science*, 10, 717-722, **1999a**.

- Pausas, J.G., Vallejo, V.R., The role of fire in European Mediterranean ecosystems, In: Chuvieco E. (eds) Remote Sensing of Large Wildfires, Springer, Berlin, Heidelberg, **1999b**.
- Pérez-Harguindeguy, N., Díaz, S., Garnier, E., Lavorel, S., Poorter, H., Jaureguiberry, P. et al., New handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide, Australian Journal of Botany, 61, 167–234, **2013**.
- Philpot, C. W., Influence of mineral content on the pyrolysis of plant materials, Forest Science, 16(4), 461–471, **1970**.
- Pickett, B.M., Isackson, C., Wunder, R., Fletcher, T.H., Butler, B.W., Weise, D.R., Flame interactions and burning characteristics of two live leaf samples, International Journal of Wildland Fire, 18, 865–874, **2009**.
- Pickup, M., Westoby, M., Basden, A., dry mass costs of deploying leaf area in relation to leaf size, Functional Ecology, 19(1), 88-97, **2005**.
- Piñol, J., Terradas, J., Lloret, F., Climate warming, wildfire hazard, and wildfire occurrence in coastal eastern Spain, Climatic Change, 38, 345–357, **1998**.
- Plucinski, M. P., Anderson, W. R., Laboratory determination of factors influencing successful point ignition in the litter layer of shrubland vegetation, International Journal of Wildland Fire, 17, 628-637, **2008**.
- Pompe, V., Vines, R.G., The influence of moisture on the combustion of leaves, Australian Forestry, 30(3), 231-241, **1966**.
- Pons, X., Vayreda, J., La predicció del risc: poder calorífic, inflamabilitat i combustibilitat, In 'Ecologia del foc'. (Ed. J Terradas), 82-95. (Editorial Proa: Barcelona), **1996**.
- R Core Team, R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, **2020**.
- Rasband, W.S., ImageJ. (US National Institutes of Health: Bethesda, MD), **2012**.
- Richardson, D.M., Ecology and Biogeography of *Pinus*, Cambridge University Press, Cambridge, **1998**.

Richardson, D.M., Rundel, P.W., Ecology and biogeography of *Pinus*: an introduction, In: Richardson, D.M. (ed.), Ecology and biogeography of *Pinus*, Cambridge University Press, 346, **1998**.

Rothermel, R. C., How to Predict the Spread and Intensity of Forest and Range Fires, Gen. Tech. Rep. INT-143, Ogden, UT, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Research Station, 161, **1983**.

Rothermel, R., A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels, USDA Forest Service Research Paper, INT-115, **1972**.

Rundel, P., Structural and chemical components of flammability, Pages 183–207 in H. Mooney, T. Bonnicksen, N. Christensen, J. Lotan, and W. Reiners, eds. Proceedings of the Conference on Fire Regimes and Ecosystem Properties, USDA Forest Service General Technical Report WO-86, **1981**.

Rundel, P.W., Fire as an ecological factor. In: Lange O.L., Nobel P.S., Osmond C.B., Ziegler H. (eds) Physiological Plant Ecology I. Encyclopedia of Plant Physiology (New Series), vol 12 / A. Springer, Berlin, Heidelberg, **1981**.

Santacruz-García, A.C., Bravo, S., del Corro, F., Ojeda, F., A comparative assessment of plant flammability through a functional approach: The case of woody species from Argentine Chaco region, Austral Ecology, 44, 1416-1429, **2019**.

Santiago, L.S., Extending the leaf economics spectrum to decomposition: evidence from a tropical forest, Ecology, 88, 1126-1131, **2007**.

Sarkos, C.P., Hill, R.G., Howell, W. D., The development and application of a full-scale wide-body test article to study the behavior of interior materials during a postcrash fuel fire, AGAKD, Aircraft Fire Safety Lecture Series No. 123, France. NATO, **1982**.

Saura-Mas, S., Paula, S., Pausas, J., Lloret, F., Fuel loading and flammability in the Mediterranean Basin woody species with different post-fire regenerative strategies, International Journal of Wildland Fire, 19 (6), 783-794, **2010**.

Scarff, F.R., Westoby, M., Leaf litter flammability in some semi-arid Australian woodlands, Functional Ecology, 20, 745–752, **2006**.

Schwilk, D.W. Flammability is a niche construction trait: canopy architecture affects fire intensity, American Naturalist, 162, 725–733, **2003**.

Schwilk, D.W., Ackerly, D.D., Flammability and serotiny as strategies: correlated evolution in pines, *Oikos*, 94, 326-336, **2001**.

Schwilk, D.W., Caprio, A.C., Scaling from leaf traits to fire behaviour: community composition predicts fire severity in a temperate forest, *Journal of Ecology*, 99, 970-980, **2011**.

Schwilk, D.W., Dimensions of plant flammability, *New Phytologist* 206, 486–488, **2015**.

Shafizadeh, F., P. S. Chin, P., F. DeGroot, W., Effective Heat Content of Green Forest Fuels, *Forest Science*, 23 (1), 81–89, **1977**.

Shipley, B., Vu, T.T., Dry matter content as a measure of dry matter concentration in plants and their parts, *New Phytologist*, 153, 359-364, **2002**.

Simon, M.F., Grether, R., de Queiroz, L.P., Skema, C., Pennington, R.T. & Hughes, C.E., Recent assembly of the Cerrado, a neotropical plant diversity hotspot, by in situ evolution of adaptations to fire. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 106, 20359– 20364, **2009**.

Simpson, K.J., Ripley, B.S., Christin, P.-A., Belcher, C.M., Lehmann, C.E.R., Thomas, G.H. and Osborne, C.P., Determinants of flammability in savanna grass species, *Journal of Ecology*, 104, 138-148. R. C., **2016**.

Snyder, J. R., The role of fire: Mutch ado about nothing?, *Oikos*, 43, 404-405, **1984**.

Sullivan, A.L., McCaw, W.L., Cruz, M.G., Matthews, S., Ellis, P.F., Fuel, fire weather and fire behaviour in Australian ecosystems, In: Bradstock, R.A., Gill, A.M., Williams, R.D. (Eds.), *Flammable Australia*. CSIRO Publishing, Collingwood, **2012**.

Sweeney, J. R., Responses of vegetation to fire. A study of the herbaceous vegetation following chaparral fires, *University Of California Publications In Botany*, 28, 143-249, **1957**.

Swift, M. J., Heal, O. W., and Anderson, J. M., *Decomposition in Terrestrial Ecosystems*, Univ. of California Press, Berkeley, **1979**.

Tavşanoğlu, Ç., Gürkan, B., Akdeniz havzasında bitkilerin kuraklık ve yangına uyumları, *Ot Sistematik Botanik Dergisi*, 11(1), 119-132, **2004**.

Tavşanoğlu, Ç., Gürkan, B., Long-term post-fire dynamics of co-occurring woody species in *Pinus brutia* forests: the role of regeneration mode, *Plant ecology*, 215(3), 355-365, **2014**.

Tavşanoğlu, Ç., Yangın coğrafyası: Vejetasyon yangınlarının ve ekolojik sonuçlarının alansal dağılımı, *Kebikeç*, 43, 289-300, **2017**.

Tavşanoğlu, Ç., Pausas, J.G., A functional trait database for Mediterranean Basin plants. *Scientific Data* 180135, **2018**.

Trabaud, L., Inflammabilité et combustibilité des principales espèces des garrigues de la région méditerranéenne, *Oecologia Plantarum* 11, 117–136, **1976**.

Trabaud, L., La connaissance des combustibles végétaux base de l'évaluation des risques d'incendie. *Revue Forestière Française*, n° spécial : Incendies de forêts 1, 140-153. **1974**.

Trabaud, L., Lepart, J., Diversity and stability in garrigue ecosystems after fire, *Vegetatio*, 43, 49–57, **1980**.

Troumbis, A. S., Trabaud, L., Some questions about flammability in fire ecology, *Acta Oecologica*, 10, 167- 175, **1989**.

Tumino, B.J., Duff, T.J., Goodger, J.Q.D., Cawson, J.G., Plant traits linked to field-scale flammability metrics in prescribed burns in *Eucalyptus* forest, *PLoS ONE* 14(8), e0221403, **2019**.

Valette, J.C., Gomendy, V., Marechal, J. , Houssard, C., Gillon, D., Heat-transfer in the soil during very low-intensity experimental fires - the role of duff and soil-moisture content , *International Journal of Wildland Fire*, 4, 225-237, **1994**.

Van Altena, C., Van Logtestijn, R.S.P., Cornwell, W.K., Cornelissen, J.H.C., Species composition and fire: non-additive mixture effects on ground fuel flammability, *Frontiers in Plant Science*, 3, 63, **2012**.

Van Wagner, C.E., Calculations of forest fire spread by flame radiation, Canadian Department of Forestry, Report 1185, **1967**.

Van Wilgen, B. W., Higgs, K. B., Bellstedt, D. U., The role of vegetation structure and fuel chemistry in excluding fire from forest patches in the fire-prone fynbos shrublands of South Africa. *Journal of Ecology*, 78, 210–222, **1990**.

Varner, J.M., Kane, J., Kreye, J. & Engber, E., The flammability of forest and woodland litter: a synthesis, *Current Forestry Reports*, 1, 91–99, **2015**.

Verdu, M., Pausas, J. G., Fire drives phylogenetic clustering in Mediterranean Basin woody plant communities, *Journal of Ecology*, 95(6), 1316–1323, **2007**.

Victor, M., Santana, M., Baeza, J.M., Blanes, C., Clarifying the role of fire heat and daily temperature fluctuations as germination cues for Mediterranean Basin obligate seeders, *Annals of Botany*, 111 (1), 127–134, **2013**.

Viegas, D.X., Piñol, J., Viegas, M.T., Ogaya, R., Estimating live fine fuels moisture content using meteorologically-based indices, *International Journal of Wildland Fire*, 10, 223-240, **2001**.

Westerling, A.L., Gershunov, A., Brown, T.J., Cayan, D.R., Dettinger, M.D., Climate and wildfire in the western United States, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 84(5), 595–604, **2003**.

Westerling, A.L., Increasing western US forest wildfire activity: Sensitivity to changes in the timing of spring, *Philosophical Transactions of the Royal Society Biological Science*, 371(1696), 20150178, **2016**.

Westoby, M., Wright, I.J., The leaf size twig size spectrum and its relationship to other important spectra of variation among species, *Oecologia*, 135, 621–628, **2003**.

Wotton, B.M., Gould, J.S., McCaw, W.L., Cheney, N.P., Taylor, S.W., Flame temperature and residence time of fires in dry eucalypt forest, *International Journal of Wildland Fire* 21, 270-281, **2011**.

Xanthopoulos, G., Calfapietra, C., Fernandes, P., Fire hazard and flammability of European forest types. In: Moreira F. Arianoutsou M. corona P. De las Heras J. (Eds.), *Post-fire management and restoration of southern European forests*, Springer-Managing Forest Ecosystems, 24, 93–120, **2012**.

Zhao, J., Huang, H., Wang, H., Zhao, J., Liu, Q., Li Y., Experimental study on burning behaviors and thermal radiative penetration of thin-layer burning, *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 130, 1153–1162, **2017**.

Zylstra P, Bradstock RA, Bedward M, Penman TD, Doherty MD, Weber RO, et al., Biophysical mechanistic modelling quantifies the effects of plant traits on fire severity:

species, not surface fuel loads, determine flame dimensions in eucalypt forests,
PLoS ONE 11(8), e0160715, **2016**.

