

**KIZILÇAM'DA (*PINUS BRUTIA* TEN.) YANGINLA
İLİŞKİLİ KARAKTERLERİN POPÜLASYONLAR ARASI
DEĞİŞKENLİĞİ VE BU DEĞİŞKENLİĞİ ORTAYA
ÇIKARTAN FAKTÖRLER**

**DRIVERS OF AMONG-POPULATION VARIABILITY IN
FIRE-RELATED TRAITS IN TURKISH RED PINE (*PINUS
BRUTIA* TEN.)**

DUYGU DENİZ KAZANCI

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

Tezimi, bu süreçte talihsiz bir şekilde kaybettiğim sevgili abim

Demir Cenk Kazancı'ya ithaf ediyorum.

ÖZET

KIZILÇAM'DA (*PINUS BRUTIA* TEN.) YANGINLA İLİŞKİLİ KARAKTERLERİN POPULASYONLAR ARASI DEĞİŞKENLİĞİ VE BU DEĞİŞKENLİĞİ ORTAYA ÇIKARTAN FAKTÖRLER

Duygu Deniz KAZANCI

Doktora, Biyoloji Bölümü

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Çağatay TAVŞANOĞLU

Ocak 2021, xvi + 144 sayfa

Akdeniz tipi ekosistemlerde yayılış gösteren *Pinus* cinsine ait türlerde yangın rejimlerine uyarlanmalarını sağlayan birçok karakter bulunmaktadır. Bu karakterlerin türler, coğrafi alanlar, populasyonlar ve hatta bireyler arasında değişkenliğe sahip oldukları bilinmektedir. Bu tez çalışmasında, güneybatı Anadolu'da doğal olarak yayılış gösteren Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) türünde, yangınla ilişkili karakterlerden serotinitiklik, kabuk kalınlığı ve doğal dal budanmasının farklı ölçeklerdeki değişkenliği ve bu değişkenliklerin yangın rejimi, rakım ve iklimsel faktörlerle ilişkileri, arazi çalışmaları gerçekleştirilecek araştırılmıştır. Buna ek olarak, Kızılçam'da yangınla ilişkili karakterlerin geniş anlamli kalıtılabilirliği ve alansal ölçeklere bağlı olarak populasyonların genetik yapısı ve çeşitliliği, genetik temelli araştırmalarla incelenmiştir. Çalışma sonucunda, Kızılçam'ın görece düşük bir serotinitiklik seviyesine ve kalın bir kabuğa sahip olduğu belirlenmiş, doğal dal budanması karakterinin varlığına dair bazı işaretler de tespit edilmiştir. İncelenen yangınla ilişkili karakterin tüm alansal ölçeklerde belirgin farklılıklar gösterdiği belirlenmiştir. Bu karakterlerde tespit edilen değişkenliğin bazı iklimsel özellikler ile de ilişkili olduğu anlaşılmıştır. Elde edilen karakter verilerindeki değişkenliğe dayanarak, Muğla bölgesinde yangın rejimlerinin yükseklik kuşakları ile

açıklanabildiği, fakat Kaş'ta açıklanamadığı anlaşılmıştır. Kızılcım'ın yüksek bir genetik çeşitliliğe sahip olduğu ve genetik yapısında beş atasal popülasyona ait elementlerin bulunduğu belirlenmiştir. Serotinitik (Muğla, $H^2= 0,197$), kabuk kalınlığı (tüm çalışma alanı, $H^2= 0,287$, Kaş, $H^2= 0,078$) ve doğal dal budanması (Muğla, $H^2= 0,145$) karakterlerinde bazı kalıtılabilirlik işaretleri tespit edilmiştir. Ayrıca karakterlere ait alansal değişkenliğin, heterojenliğe yönelen bir seçim etkisi ya da fenotipik esneklik nedeni ile ortaya çıkmış olabileceği ileri sürülmüştür. Bu çalışmada, yangınla ilişkili karakterlerin değişkenliğinde, genetik çeşitlilikten daha çok iklimsel faktörlerin ve yangın rejimlerinin etken olduğu gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Serotinitik, kabuk kalınlığı, doğal dal budanması, *Pinus brutia*, mikrosatellit, kalıtılabilirlik, yangın ekolojisi, bitki fonksiyonel karakterleri, orman yangını.

ABSTRACT

DRIVERS OF AMONG-POPULATION VARIABILITY IN FIRE-RELATED TRAITS IN TURKISH RED PINE (*PINUS BRUTIA* TEN.)

Duygu Deniz KAZANCI

Doctor of Philosophy, Department of Biology

Supervisor: Prof. Dr. Çağatay TAVŞANOĞLU

January 2021, xvi + 144 pages

In Mediterranean type ecosystems, *Pinus* genus species have many characters adapt to fire regimes. These characters are known to have variability between species, geographic areas, populations, and even individuals. In this thesis, the variability of the fire-related characters, serotiny level, bark thickness and self-pruning and the relations of these variations with fire regimes, altitudes and climatic factors investigated in different scales at Turkish Red Pines (*Pinus brutia* Ten.) which have a natural distribution in Anatolia. Additionally, the broad-sense heritability of the characters, the populations' genetic structure depend on the spatial scales and genetic diversity studied with genetic methods. The study results show that Turkish Red Pine has a relatively low serotiny level, a thick bark, and signs of self-pruning characters. These fire-related characters showed significant differences in all spatial scales. The variability of the characters is also related to some climatic factors. Based on fire-related characters' variability, elevation zones can explain fire regimes in the Muğla region, but not in the Kaş region. Turkish Red Pine has a high genetic diversity, and there are elements belonging to five ancestral populations in its genetic structure. It has been shown that the serotiny ratio (Muğla, $H^2 = 0.197$), bark thickness (whole study area $H^2 = 0,287$, Kaş $H^2 = 0,078$), and the self-pruning

(Muğla sites, $H^2 = 0,145$) have signs of broad-sense heritability. Also, it has been suggested that the fire-related characters' spatial variations may have arisen due to phenotypic flexibility or a selection effect leading to heterogeneity. In this study, it has been shown that the variability of fire-related characters is caused by climatic factors and fire regimes rather than genetic variation.

Keywords: Serotiny, bark thickness, self-pruning, *Pinus brutia*, microsatellite, heritability, fire ecology, plant functional traits, forest fire.

TEŞEKKÜR

Lisans sonrası eğitimim ve tez çalışmamın her aşamasında anlayışı, bilgi ve tecrübeleri ile yanımda olan, merak ve çalışma azminin ne olduğunu, akademik hayatın inişli-çıkışlı sürecini öğreten danışmanım Prof. Dr. Çağatay Tavşanoğlu'na,

Bilimsel anlayışımın ve vizyonumun gelişmesinde önemli etkiye sahip olan, çalışmak istediğim alanlar için beni heveslendirerek yaptığım çalışmaları mümkün kılan, tez sürecinde tavsiyelerini ve desteklerini esirgemeyen Prof. Dr. Ali Ergül ve Prof Dr. Utku Perktaş hocalarıma,

Bu tezin ön arazi çalışmasında ve karakter ölçümleri için yöntem standartlaştırmasındaki desteği ve katkılarından dolayı Dr. Juli G. Pausas 'a,

Tez arazisi sürecinde ve sonrasındaki destek ve yardımları için sevgili arkadaşlarım Cihan Ünal Değirmenci ve Anıl Bahar'a,

Analiz ve tez yazım sürecinde sorularım için zaman ve desteğini esirgemeyen sevgili arkadaşım Dr. N. Ezgi Altınışık 'a,

Doktora sürecinde gerek tecrübeleri gerek dostlukları ile yanımda olan sevgili arkadaşlarım Dr. Serra Örsten, Gizem Oğuz, Ayda Yılmaz, Elif Deniz Ülker, Dr. Damla Kaptan ve Ayça Küçükakdağ Doğu'ya,

Her zaman yanımda olan ve desteklerini hiç esirgemeyen sevgili annem Emine Kazancı ve babam Cengiz Kazancı'ya teşekkür ederim.

Bu tez çalışması, Hacettepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından FBA-2017-12512 nolu proje ile desteklenmiştir.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xiv
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	3
2.1. Literatür Özeti	3
2.1.1. Çamların Yangın Ekolojisi ve Yangınla İlişkili İşaretler	3
2.1.2. Kızılçam (<i>Pinus brutia</i> Ten.)	6
2.2. Çalışma Konusu ve Önemi	9
2.3. Çalışma Sistemi	10
3. KIZILÇAM'DA SEROTİNLİK KARAKTERİNİN POPÜLASYONLAR ARASI DEĞİŞKENLİĞİ	17
3.1. Giriş	17
3.2. Yöntem	19
3.3. Veri Analizi	21
3.4. Bulgular	23
4. KIZILÇAM'DA KABUK KALINLIĞININ POPÜLASYONLAR ARASI DEĞİŞKENLİĞİ	37
4.1. Giriş	37
4.2. Yöntem	39
4.3. Veri Analizi	40
4.4. Bulgular	41

5. KIZILÇAM'DA DOĞAL DAL BUDANMASI KARAKTERİNİN POPÜLASYONLAR ARASI DEĞİŞKENLİĞİ	47
5.1. Giriş	47
5.2. Yöntem.....	48
5.3. Veri Analizi.....	49
5.4. Bulgular.....	50
5.4.1. Doğal Dal Budanması- En Alçak Canlı Dal.....	50
5.4.2. Doğal Dal Budanması - En Alçak Ölü Dal (Boole'sal veri).....	55
5.4.3. Doğal Dal Budanması - En Alçak Ölü Dal (ND_prox)	60
6. GÜNEYBATI ANADOLU'DA DOĞAL YAYILIM GÖSTEREN KIZILÇAM'A AİT GENETİK YAPININ BELİRLENMESİ.....	66
6.1. Giriş	66
6.2. Yöntem.....	68
6.2.1. Yaprak Örneklerinin Eldesi.....	68
6.2.2. Laboratuvar Çalışmaları	70
6.3. Veri Analizleri.....	73
6.4. Bulgular.....	74
6.4.1. Tanımlayıcı Analizler.....	74
6.4.2. Popülasyon Analizleri	76
6.4.3. İleri Populasyon Analizleri.....	83
7. KIZILÇAM'DA YANGIN İLE İLİŞKİLİ KARAKTERLERİN KALITILABİLİRLİĞİ VE FENOTİPİK VARYANSLARI (PST)	87
7.1. Giriş	87
7.1.1. Kalıtılabilirlik	87
7.1.2. F _{ST} ve P _{ST} Değerleri	88
7.2. Veri Analizleri.....	89
7.3. Bulgular.....	90
7.3.1. Kalıtılabilirlik Bulguları	90
7.3.2. F _{ST} ve P _{ST} Karşılaştırma Bulguları	93
8. TARTIŞMA	103
9. YORUM.....	112

10. KAYNAKLAR.....	114
EKLER	127
ÖZGEÇMİŞ	144

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Kızılçam'ın doğal yayılım alanı.	7
Şekil 2.2. Muğla ve Kaş bölgelerini gösterir harita.	12
Şekil 2.3. Muğla-Milas arazisine (Muğla bölgesi) ait parseller ve kodları.	13
Şekil 2.4. Kaş-Fethiye arazisine (Kaş bölgesi) ait parseller ve kodları.....	13
Şekil 2.5. Çalışmada kullanılan örneklem tasarımı.....	14
Şekil 3.1. Kızılçam'da olgunlaşmamış (yeşil-kapalı) ve olgunlaşmış (kahverengi- kapalı/açık, gri-kapalı) kozalaklar (Fotoğraf, D.Deniz Kazancı).....	19
Şekil 3.2. Kızılçam'da dürbün ile kozalak sayımı (Fotoğraf: Cihan Ünal Değirmenci).....	20
Şekil 3.3. Kızılçam'da serotinité oranının (%) farklı alansal ölçeklerde bireyler arası değişkenliği.	26
Şekil 3.4. Kızılçam'da serotinité oranının (%) farklı alansal ölçeklerde değişkenliği.	27
Şekil 3.5. Kızılçam'da en yaşı serotinité kozalak yaşınnın farklı alansal ölçeklerdeki bireyler arası değişkenliği.	27
Şekil 3.6. Kızılçam'da en yaşı serotinité kozalak yaşınnın farklı alansal ölçeklerdeki değişkenliği.	28
Şekil 3.7. Serotinité oranı (%) ve en yaşı serotinité kozalak yaşı değişkenliğine farklı ölçeklerin nispi katkısını gösteren doğrusal modellerin varyans ayrışmasının özeti.....	29
Şekil 3.8. Bölge ve yangın rejimi kuşağının serotinité oranı (%) ve en yaşı serotinité kozalak yaşına etkisinin iki yönlü analizinin grafiksel gösterimi.	29
Şekil 3.9. Araştırmaya dâhil edilen bağımlı değişkenler arasındaki ilişkilerin korelogram ve ısı haritası ile gösterimi.....	30
Şekil 3.10. Serotinité oranı (%) ve bağımlı değişkenler arasındaki ilişkilerin özeti.....	33
Şekil 3.11. En yaşı serotinité kozalak yaşı ile bağımlı değişkenler arasındaki ilişkilerin özeti.	34
Şekil 3.12. Serotinité oranı (%), en yaşı serotinité kozalak yaşı ve bağımlı değişkenler (Kurak dönem yağış ve Gerçek evapotranspirasyon) arasındaki ilişkilerin özet grafikleri.....	35
Şekil 3.13. Serotinité oranı (%) ile en yaşı serotinité kozalak yaşı arasındaki ilişkinin özet grafikleri.	36
Şekil 4.1. Kızılçam dış kabuk yapısı (Fotoğraf: D. Deniz Kazancı).....	37
Şekil 4.2. Kızılçam'da örtü yangını etkisi (Fotoğraf: Çağatay Tavşanoğlu).....	39

Şekil 4.3. Kabuk kalınlığı ölçer ve Kızılçam kabuk kalınlığının ölçülmesi (Fotoğraf: Çağatay Tavşanoğlu, D. Deniz Kazancı).....	40
Şekil 4.4. Kızılçam'da maksimum kabuk kalınlığının farklı alansal ölçeklerde bireyler arası değişkenliği.	42
Şekil 4.5. Kızılçam'da maksimum kabuk kalınlığının farklı alansal ölçeklerde değişkenliği..	43
Şekil 4.6. Bölge ve yangın rejimi kuşağının maksimum kabuk kalınlığına etkisinin iki yönlü analizinin grafiksel gösterimi.	45
Şekil 4.7. Maksimum kabuk kalınlığı ve bağımlı değişkenler arasındaki ilişkilerin özeti.....	46
Şekil 5.1. Proksimal dal ve ağaç boyu ölçümü (Fotoğraf: Duygu Deniz Kazancı).....	48
Şekil 5.2. Kızılçam'da en alçak canlı dal yüksekliğinin farklı alansal ölçeklerde bireyler arası değişkenliği.	51
Şekil 5.3. Kızılçam'da en alçak canlı dal yüksekliğinin farklı alansal ölçeklerde değişkenliği.	52
Şekil 5.4. Bölge ve yangın rejimi kuşağının en alçak canlı dal yüksekliğine etkisinin iki yönlü analizinin grafiksel gösterimi.	53
Şekil 5.5. En alçak canlı dal yüksekliği ve bağımlı değişkenler arasındaki ilişkilerin özeti.....	54
Şekil 5.6. Kızılçam'da en alçak ölü dal yüksekliğinin farklı alansal ölçeklerde bireyler arası değişkenliği.	56
Şekil 5.7. Bölge ve yangın rejimi kuşağının en alçak ölü dal yüksekliğine etkisinin iki yönlü analizinin grafiksel gösterimi.	57
Şekil 5.8. En alçak ölü dal yüksekliği (Boole'sal)ve bağımlı değişkenler arasındaki ilişkilerin özeti.....	59
Şekil 5.9. Kızılçam'da en alçak ölü dal yüksekliğinin farklı alansal ölçeklerde bireyler arası değişkenliği.	61
Şekil 5.10. Kızılçam'da en alçak ölü dal yüksekliğinin farklı alansal ölçeklerde değişkenliği.	62
Şekil 5.11. Bölge ve yangın rejimi kuşağının en alçak ölü dal yüksekliğine etkisinin iki yönlü analizinin grafiksel gösterimi.	63
Şekil 5.12. En alçak ölü dal yüksekliği ve bağımlı değişkenler arasındaki ilişkilerin özeti.	65
Şekil 6.1. Yaprak örneği toplanması (Fotoğraf: D. Deniz Kazancı).....	69
Şekil 6.2. PCR mix ve PCR program optimizasyon örneği.....	72
Şekil 6.3. PCR ürünlerinin %2'lik agaroz jel elektroforez örneği.....	72
Şekil 6.4. Fragment verilerinin kontrol edildiği program "Peak Scanner"	73

Şekil 6.5. Lokuslara göre tespit edilen alel sayıları.	74
Şekil 6.6. Yangın rejimi, çalışma alanı ve parseller arası ikili genetik uzaklık.....	78
Şekil 6.7. Yangın rejimleri, alanlar ve parsellere ait F_{ST} değerleri	79
Şekil 6.8. Yangın rejimi (a), alan (b), parsel (c) ve bölgeler göre parsel (d-Muğla, e-Kaş) genetik uzaklıkları gösterir sıcaklık haritası.....	80
Şekil 6.9. Yangın rejimi, alan ve parseller arası genetik uzaklıkları gösterir küme dendrogramı.	81
Şekil 6.10. Bölge, alan ve birey ölçeğinde Shannon çeşitlilik indeksi oranları.....	82
Şekil 6.11. Moleküler Varyans grafiği.	82
Şekil 6.12. Yangın rejimi, alan, parsel ve bölge ölçeğinde mesafeye bağlı izolasyon (Isolation by Distance, IBD).	83
Şekil 6.13. Her bir K değeri için tahmin edilen olasılık değerini gösterir grafikler.	84
Şekil 6.14. Evanno vd., (2005) tarafından hesaplanan delta K. yöntemine ait tablo.....	84
Şekil 6.15. Doğrudan STRUCTURE ile elde edilen alanlar ve bireylerine ait ayrıntılı tahmini karışım durumu.....	85
Şekil 6.16. Doğrudan STRUCTURE ile elde edilen bireylere ait ayrıntılı tahmini karışım durumu.	86
Şekil 7.1. Ortalama F_{ST} 'ye (siyah noktalı çizgi) göre P_{ST} tahminlerinin hassasiyeti.....	96
Şekil 7.2. Tüm çalışma alanına ait ortalama P_{ST} ve F_{ST} değerlerinin karşılaştırılması..	97
Şekil 7.3. Yangın rejimi kuşağı seviyesinde tüm çalışma bölgesine ait F_{ST} ve P_{ST} değerleri arasındaki ilişkilerin özeti.	98
Şekil 7.4. Tüm alanlar ile Muğla ve Kaş alanlarına ait F_{ST} ve P_{ST} değerleri arasındaki ilişkilerin özeti.....	100
Şekil 7.5. Tüm parseller ile Muğla ve Kaş parsellerine ait F_{ST} ve P_{ST} değerleri arasındaki ilişkilerin özeti.	102

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Alan ve parsellere ait kod, enlem, boylam ve yükseklik verileri.	15
Çizelge 2.2. Parsellere ait iklimsel veriler.	16
Çizelge 3.1. Bölge ve yangın rejimi kuşaklarının serotiniclik oranı (%) ve maksimum kozalak yaşı üzerindeki etkisini test eden doğrusal model analizlerinin özeti.....	31
Çizelge 3.2. Bağımlı değişkenlerin serotiniclik oranı (%) ve en yaşlı serotiniclik kozalak yaşı üzerindeki etkisini test eden doğrusal model analizlerinin özeti.....	31
Çizelge 4.1. Bölge ve yangın rejimi kuşaklarının maksimum kabuk kalınlığı üzerindeki etkisini test eden doğrusal model analizlerinin özeti.	44
Çizelge 4.2. Bağımlı değişkenlerin maksimum kabuk kalınlığı üzerindeki etkisini test eden doğrusal model analizlerinin özeti.....	44
Çizelge 5.1. Bölge ve yangın rejimi kuşaklarının en alçak canlı dal yüksekliği üzerindeki etkisini test eden doğrusal model analizlerinin özeti.	52
Çizelge 5.2. Bağımlı değişkenlerin en alçak canlı dal yüksekliği üzerindeki etkisini test eden doğrusal model analizlerinin özeti.....	53
Çizelge 5.3. Bölge ve yangın rejimi kuşaklarının en alçak ölü dal yüksekliği (Boole'sal) üzerindeki etkisini test eden doğrusal model analizlerinin özeti.....	56
Çizelge 5.4. Bağımlı değişkenlerin en alçak ölü dal yüksekliği (Boole'sal) üzerindeki etkisini test eden doğrusal model analizlerinin özeti.	57
Çizelge 5.5. Bölge ve yangın rejimi kuşaklarının en alçak ölü dal yüksekliği üzerindeki etkisini test eden doğrusal model analizlerinin özeti.	62
Çizelge 5.6. Bağımlı değişkenlerin en alçak canlı dal yüksekliği üzerindeki etkisini test eden doğrusal model analizlerinin özeti.....	63
Çizelge 6.1. Çalışmada kullanılan bireylerin farklı parsellerdeki sayısı.	69
Çizelge 6.2. Çalışmada incelenen mikrosatellit bölgeleri, primer kodları ve sekansları.	71
Çizelge 6.3. Multipleks PRC'da kullanılmak üzere seçilen primerler ve kullanım şekilleri. ..	71
Çizelge 6.4. Lokuslara ait tanımlayıcı analiz sonuçları	75
Çizelge 6.5. Alanlara ait tanımlayıcı analiz sonuçları.....	75
Çizelge 6.6. Alanlara ait polimorfik lokus oranları.....	75
Çizelge 6.7. Yangın rejimi, alan ve parsel ölçeklerinde tüm çalışma bölgesi ve bölgelere ait ortalama F_{ST} değerleri.	76

Çizelge 7.1. Genetik çeşitlilik temsili için kullanılabilecek farklı gruplara göre tüm fenotipik karakterlerin kalıtılabilirliği.	92
Çizelge 7.2. Parsel, alan ve yangın rejimi ölçeklerinde ikili (pairwise) F_{ST} ve P_{ST} değerlerinin ilişkilerini test eden analizlerin özeti (doğrusal modeller).....	94

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

Reg	Bölge
FR	Yangın rejimi
P_{sum}	Yaz yağışı (mm)
$P_{sum/ann}$	Yaz yağışının ortalama yıllık yağışa oranı
$T_{dry} / drtemp$	Kurak dönem sıcaklığı (°C)
$P_{dry/ann} / drpra$	Kurak dönem yağışının ortalama yıllık yağışa oranı
T_{mean}	Yıllık ortalama sıcaklık (°C)
P_{ann} / pra	Yıllık toplam yağış (mm)
AET / aet	Gerçek evapotranspirasyon (mm)
NPP / npp	Net birincil verimlilik
$P_{dry} / drprec$	Kurak dönem yağış (mm).
YD	Yangın döngüsü (yıl)
pet	Potansiyel evapotranspirasyon
deny	Deniz seviyesinden yükseklik (mt)
dro	Kuraklık İndeksi
Btmax	Maksimum kabuk kalınlığı (cm)
Hei	Ortalama birey boyu (m)
Dia	Ortalama birey çapı (cm)
Ser	Serotinitik oranı (%)
Seryaş	En yaşlı serotinitik kozalak yaşı (yıl)
Cdist	En alçak canlı dal yüksekliği
Ödist	En alçak ölü dal yüksekliği
N	Birey sayısı

Na	Farklı allel sayısı
Ne	Etken allel sayısı
I	Shannon indeksi
h	Haplotipik çeşitlilik
uh	Tarafsız çeşitlilik
DAPC	Temel bileşenlerin ayrıştırıcı analizi
UPGMA	Hiyerarşik kümeleme analizleri
IBD	Mesafeye bağlı izolasyon
PRR	Yeniden Yapılandırılmış Panmiktik Popülasyon
σ^2_P	Fenotipik varyans
σ^2_G	Fenotipik varyansa etki eden genotipik varyans
σ^2_E	Fenotipik varyansa etki eden çevresel varyans
$\sigma^2_{G \times E}$	Fenotipik varyansa etki eden genotipik varyans ile fenotipik varyansa etki eden çevresel varyansın etkileşimi
σ^2_A	Eklemeli genetik varyans
σ^2_D	Dominant genetik varyans
σ^2_I	Genotipik, eklemeli genetik ve dominant genetik varyansın etkileşim varyansı
H^2	Geniş anlamli kalıtılabilirlik
h^2	Dar anlamli kalıtılabilirlik
F_{ST}	Genetik varyasyon
σ^2_{GT}	Toplam genetik varyasyon
σ^2_{GW}	Populasyon içi genetik varyasyon
σ^2_{GB}	Populasyon arası genetik varyasyon
Q_{ST}	Niceliksel özellik varyasyonu
P_{ST}	Fenotipik varyasyon

σ^2_{PA}	Örneklem alanları arası varyasyon
σ^2_{Pi}	Örneklem alanları içi varyasyon
c	Populasyonlar arasındaki eklemeli genetik etkilere bağlı toplam varyans
oranı	

1. GİRİŞ

Ekosistemlerde işleyen doğal bir süreç olan yangınların ve yangın rejimlerinin, dünya genelindeki bitki komünitelerinin şekillenmesinde ve bitkilerin evriminde önemli bir etkiye sahip olduğu bilinmektedir. Yangın rejimlerinin Silüriyen'den beri devam eden etkisi, özellikle türce zengin ve yangına eğilimli habitatlar olan Akdeniz tipi iklim bölgelerinde türlerin yangın ile başa çıkmalarını sağlayacak uyaralanmalar geliştirmelerine neden olmuştur. Yangına uyarlanmayı sağlayan; sürgün verme, kalın kabuk, doğal dal budanması, serotinlik ve duman uyarılması ile çimlenme özelliklerinin, bağımsız olarak birçok taksonda bulunması ve korunması, yangın rejimlerinin etkisinin önemini göstermektedir (Keeley ve Zedler, 1998; Pausas vd., 2006; Verdú vd., 2007; Verdú ve Pausas, 2007; Keeley, 2012).

Pinus cinsi üyeleri, Akdeniz tipi ekosistemler de baskın türler olmaları ve benzer şartlarda paralel evrimi işaret eden benzer ekolojik özellikler göstermeleri nedeni ile uzun yıllardır yangın ekolojisi ve evrimi çalışmalarında önemli bir rol oynamaktadır (Schwilk ve Ackerly, 2001; Tapias vd., 2004; Keeley, 2012; Pausas, 2015b).

Bu tez çalışmasının amacı; *Pinus* cinsine ait türlerde görülen yangınla ilişkili önemli üç karakter olan serotinlik, kabuk kalınlığı ve doğal dal budanması karakterlerinin, Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) türünde popülasyonlar arası değişkenlik örüntülerini belirlemek ve bu değişkenliğin ortam şartları ve popülasyon yapısı ile ilişkilerini ortaya koymaktır.

Bu amaç doğrultusunda, güneybatı Anadolu'da doğal yayılım gösteren Kızılçam popülasyonlarında kabuk kalınlığı, serotinlik ve doğal dal budanması seviyelerinde birey, parsel, alan ve bölge gibi farklı ölçeklerde görülen değişkenlik yapılan arazi çalışmaları ile incelenmiştir. Ortaya konulan değişkenlik örüntülerinin ortam şartları (iklimsel koşullar, yangın rejimi) ve popülasyonun genetik yapısı ile olan ilişkisinin ortaya konması ve bu karakterlerin kalıtılabilme seviyesinin belirlenmesi için analizler gerçekleştirilmiştir.

Bu tez çalışması kapsamında;

- Kızılçam bireylerinde serotinlik, kabuk kalınlığı ve doğal dal budanması ölçümlerinin gerçekleştirilmesi ve ölçeklere bağlı değişkenlik motiflerinin belirlenmesi,
- Kızılçam'da serotinlik, kabuk kalınlığı ve doğal dal budanması karakterlerindeki popülasyonlar arası değişkenliğin ve bu karakterlerin kalıtılabilirliğinin ortaya konulması,

- Popülasyonlara ait genetik yapı ve değişkenliğin ne oranda olduğunun nötral moleküler belirteçler (mikrosatellit lokusları) aracılığıyla belirlenmesi,
- Çalışmanın sürdürüldüğü alanlardaki iklim ve yangın rejiminin popülasyon düzeyinde karakter değişkenliği ile ilişkilerinin kurulması hedeflenmiştir.

Bu tez çalışması, Güneybatı Anadolu'da doğal yayılış gösteren Kızılçam'a ait yangın karakterleri, bu karakterlerin kalıtılabilirliği ve popülasyon genetiği konularını inceleyen en kapsamlı çalışma niteliği taşımaktadır. Bu çalışma, yayılım alanının büyük çoğunluğu ülkemiz sınırları içinde olan Kızılçam'a ait yangın karakterleri ve popülasyon yapısı konularında literatüre önemli ölçüde katkı sağlayacaktır. Ayrıca elde edilen veriler, ekonomik açıdan öneme sahip olan Kızılçam ormanlarının hem yangın hem de diğer müdahaleler sonrası gençleştirilmesinde ormancılık uygulamalarına yön verme potansiyeline de sahiptir.

Bu tez, kendi içerisinde özgün beş farklı çalışmanın bir bütünüdür. Bu nedenle, farklı hipotezlere sahip olan bu beş çalışma, tezde ayrı bölümler (tezin 3., 4., 5., 6. ve 7. bölümleri) olarak sunulmuştur. Çalışmaların yürütüldüğü alanın ve bazı durumlarda bireylerin aynı olması nedeniyle, çalışma alanı ve örnekleme tasarımı ile ilgili bilgiler ortak bir bölümde (tezin 2. bölümü) ayrı olarak sunulmuştur. Benzer şekilde, beş çalışmanın hepsi için önemli olabilecek genel bilgiler tezin 2. bölümünde verilmiştir. Bununla birlikte, her bir çalışmaya özgü genel bilgiler ve yöntemler, ilgili bölümlerde ayrıca verilmiştir. Tezin 8. ve son bölümü, önceki bölümlerde sunulan çalışmaların tümünü içerecek şekilde yapılandırılmış genel bir tartışmadır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Literatür Özeti

2.1.1. Çamların Yangın Ekolojisi ve Yangınla İlişkili İşaretler

Yangınların, yaklaşık 400 milyon yıl önce (erken Silüryen dönemi), bitkilerin karasal yüzeyleri ilk kolonizasyonlarından günümüze, türlerin hayatta kalmasını sağlayan birçok karakterin evriminde önemli bir rol oynadığına dair, dünyanın birçok bölgesinde tespit edilmiş önemli miktarda kanıt bulunmaktadır (Glasspool vd., 2004; Keeley vd., 2011; He vd., 2011,2012, 2016; Falcon vd., 2016; He ve Lamont 2017; Lamont vd., 2017; He ve Lamont 2018).

Yangın rejimine sahip bölgelerdeki Proteaceae'ye ait beş sınıfta türleşmenin yangın rejimi olmayan bölgelere göre daha yüksek olduğunun tespiti (Lamont ve He, 2012), yangın etkisinin türleşmeyi ve çeşitlenmeyi uyarabileceğini göstermektedir (Saladin, 2013). Fakat bu uyarıma ait mekanizmalar hala bilinmemektedir (He ve Lamont 2018). Yangın karakterlerinin, ekolojik stres etkenlerine ait uyarlanmalar olarak ortaya çıktığı, yangına uyarlanmanın sadece bir ek yarar olduğunu ileri süren çalışmaların aksine, bu karakterler gelişmeden önce çevrenin yangına eğilimli olduğuna dair kanıtların artışı da, yangının evrimsel süreçteki etkisinin kabul edilenden de yüksek olabileceğini göstermektedir (Lamont ve He, 2017, Lamont vd., 2017).

Yangına eğilimli habitatlarda yaşayan türlerde yangın cevabını oluşturan farklı karakterlerin birlikte bulunmaları doğrultusunda özellikle çam türlerinde yangına adapte olma ya da kaçınma özelliklerini içeren yangın sendromları adı verilen gruplara çeşitlendirilmiştir (Keeley ve Zedler 1998; Keeley, 2012). Yangına uyumu sağlayan bu karakterler yapısal, işlevsel veya kimyasal olabilmektedirler. Çam türlerine ait sendromların, bireyin hayatta kalarak yangına dayanmasını sağlayan (ing. fire-resistance) ve popülasyonun devamlılığını sağlayan (ing. fire-resilience) temelde iki farklı stratejiyi desteklediği kabul edilmektedir (Keeley ve Zedler 1998). Türlerde yangına uyumu sağlayan sendromlar, yangına dayanan (ing. fire-tolerater), yangını kabullenen (ing. fire-embracer) ve yangından kaçınan (ing. fire-avoider) olmak üzere üç başlık altında değerlendirilmiştir (Keeley, 2012; Pausas, 2015b). Yangını tolere eden çam türlerinde (örn., *Pinus sylvestris* L. ve *Pinus pinaster* Aiton.), düşük yoğunluklu örtü yangınlarını teşvik eden, uzun iğne yapraklar, uzun boy, tepe ile yer arasında yanıcı madde temasını kesen doğal dal budanması, derin köklenme ve kalın kabuk görülmektedir (Keeley, 2012). Bu karakterlerin evrimsel olarak birbirleri ile ilişkili oldukları da bilinmektedir (Schwilk ve Ackerly 2001; He vd., 2012).

Yangını kabullenen çam türlerinde (örn., *Pinus halepensis* Mill. ve *Pinus brutia* Ten.), tepe yangını oluşumunu ve bireyin yangın sırasında ölümünü teşvik eden, ölü dalların gövdede tutulması ve serotinitik bulunmaktadır (Keeley, 2012). Yangını kabullenen türlerin uyum stratejileri arasından en çok çalışılan serotinitiktir (Ne'eman 1997; Thanos ve Doissi, 2000; Lamont ve Enright 2000; Keeley vd., 2011; Causley vd., 2016; Martín-Sanz vd., 2016; Lamont 2020). Buna ek olarak, çam harici birçok yangını kabullenen türde, duman ve sıcaklık uyarımı ile çimlenme ile yeniden sürgün verme gibi yangın sonrası rejenerasyon stratejileri de görülebilmektedir (Moreira vd., 2010; Keeley vd., 2012; Ne'eman vd., 2012). Bunlara ek olarak, tepe kısmında yanıcı madde birikimini arttıran bazı fiziksel özellikler ya da terpenler gibi kimyasal bileşiklerin varlığı (Romero vd., 2019; Aktepe, 2021) ile de bireyin tutuşabilirliğini arttırarak yüksek yanıcılığı destekleyen özellikler de bulunabilmektedir. Tüm bu özellikler sayesinde, yüksek yoğunluklu yangınlar sonucunda vejetasyonun temizlenmesi ile tohumlar kaynak rekabeti olmayan bir ortamda çok daha iyi çevre koşulları altında büyüebilmektedirler. Yangından kaçınan türlerde (örn., *Pinus sabiniana* Douglas ex D.Don ve *Pinus nigra* J.F. Arnold) ise, kalın kabuk ve ölü dalların ağaç üzerinden dökülmesi görülürken, bu türlerin serotin kozalaklara sahip olmadıkları bilinmektedir.

Yangın karakterlerinin evrimlerinin nasıl şekillendiğini incelemek adına, *Pinus* alt cinsinin tarihsel biyocoğrafyası üzerine yapılan çalışmalarda, atasoyları boyunca yangın uyarlanmalarının bulunduğu ve soy ağacında bu uyarlanmalardan yoksun sadece üç grubun varlığı belirlenmiştir (Badik vd., 2018). *Pinus* altcinsinin atalarında bulunan yangını kabullenme stratejisine (tepe veya toprak tohum bankası varlığı) yol açan evrimsel olayın, yaklaşık 65 milyon yıl önce muhtemelen güneydoğu Asya'da meydana geldiği ileri sürülmektedir (Badik vd., 2018). Kalın kabuk ve serotinitik *Pinus*'da sırasıyla en az 126 ve 89 milyon yıl önce evrimleştiğini (He vd., 2012), hatta serotinitik karakteri evriminin yaklaşık 350 milyon yıl önceye, erken kozalaklı ağaçların bulunduğu döneme kadar geri götürülebileceğini ileri süren çalışmalar da mevcuttur (He vd., 2016). Yangına uyarlanmayı sağlayan karakterlerin evriminde öneme sahip çeşitli iraksama olaylarının tarihleri konusunda bir ortak karar bulunmamakla beraber, yaklaşık tarihlerin ve yangının şekillendirici etkisinin varlığına dair kanıtlar göz ardı edilemeyecek kadar büyüktür (He vd., 2012; Hernandez-Leon vd., 2013; Hao vd., 2015; Badik vd., 2018). Bu çalışmalar doğrultusunda elde edilen veriler, *Pinus* cinsi genelinde çamların hem niş tutumları, hem de değişen şartlara rahatlıkla uyum sağlamalarının, ekolojik olaylar etkisi ile farklı yangın sendromlarının çoklu bağımsız evrimi sonucu ortaya çıktığını desteklemektedir.

Sık yangınların milyonlarca yıldır mevcut olduğu Akdeniz tipi ekosistemler, günümüzde yangınla ilişkili birçok bitki karakterini aynı anda gözleyebildiğimiz nadir ekosistemlerdendir (Keeley vd., 2012). Bu karakterler arasından, yangın sonrası sürgün verme, tohum çimlenmesinin yangın sıcaklıkları ya da dumanla artması, yangın sonrası çiçeklenmenin artması ve serotin (uzun yıllar kapalı kalan) kozalaklara sahip olma birçok farklı bitki türünde rastlanabilen karakterlerdendir (Tavşanoğlu ve Gürkan, 2004; Keeley vd., 2012). Akdeniz tipi ekosistemlerden biri olan Akdeniz Havzası'nda (diğer bölgeler Kaliforniya, Şili, Güney Afrika ve Avustralya'da bulunur), bu karakterler arasından sürgün verme çoğu ağaç ve çalı türünde, tohum çimlenmesinin yangınla uyarılması birçok kısa boylu çalı ve otsu bitki türünde görülürken, serotinitik ise yalnızca bazı çam ve servi türlerinde görülmektedir (Battisti vd., 2003; Paula vd., 2009; Keeley vd., 2012; Hernández-Serrano vd., 2013; Tavşanoğlu ve Pausas, 2018;). Serotinitik (İng.; serotiny), bir bitki türünde kozalak ya da meyvelerin bir yılda uzun süre boyunca kapalı kalarak tohum salımının ertelenmesi olarak tanımlanmaktadır (Givnish, 1981; Lamont vd., 1991). Serotinitik özelliğine sahip türlerde tohumları yangın etkisinden koruyan ve dormant halinde kalmalarını sağlayan bir tepe tohum bankasından söz edilebilmektedir (Thanos ve Doissi, 2000; Boydak vd., 2006; Keeley, 2012). Serotin kozalaklar bir tepe yangını sırasında yüksek sıcaklığa maruz kaldıkları için açılır, yangın sonrası verimi artmış olan toprakta ve biyokütleden arınmış ortamda çimlenerek popülasyonun devamlılığını sağlamaktadırlar. Serotinitik karakterinin daha çok tepe yangınlarının görüldüğü ekosistemlerle ilişkili olduğu belirlenmiştir (Keeley vd., 2011).

Kabuk kalınlığı ise yangına dayanıklılık sağlaması bakımından dünya üzerinde birçok yangına eğilimli bölgede ağaçların yangın sonrası hayatta kalması için önemli bir karakterdir (Pinard ve Huffman, 1997; Pausas, 2015a; Rosell, 2016). Özellikle şiddetli tepe yangınlarından ziyade daha düşük şiddetli örtü yangınlarının görüldüğü ekosistemlerde, kalın kabuk ağaç bireylerinin yangınları canlı bir şekilde atlatmasına olanak vermektedir (Pausas, 2015a; Pausas, 2017). Yangına eğilimli ekosistemlerde yer alan, özellikle de örtü yangınlarının daha sık görüldüğü bölgelerde bulunan çam (*Pinus*) türlerinin, sıklıkla tepe yangınlarının görüldüğü ya da yangınların çok nadir görüldüğü ekosistemlerde yer alan çam türlerine göre daha kalın kabuğa sahip olduğu bilinmektedir (Keeley vd., 2012). Bununla birlikte, *Pinus* cinsinde burada bahsedilen serotinitik ve kabuk kalınlığı karakteri arasında tür seviyesinde bir negatif ilişki mevcuttur (Keeley ve Zedler, 1998; Grivet vd., 2013).

Ölü alt dallarda doğal dal budanması (İng., self-pruning) özelliği genellikle düşük şiddetli örtü yangınlarının söz konusu olduğu yangına eğilimli ekosistemlerde yangını tolere edebilen

türlerde bulunur (Keeley, 2012). Bu karakterin örtü yangınları sırasında toprak örtüsü ile ağacın tepe kısmı arasında bir yanıcı madde boşluğu yaratarak, örtü yangınlarının tepe yangınlarına dönüşmesini engelleyerek yangının popülasyona olası ölümcül etkisini en aza indirmek için evrimleştiği ileri sürülmüştür (Keeley vd., 2012). *Pinus* cinsine ait türler ile yapılan çalışmalar, doğal dal budanması ile kalın kabukluluk karakterleri arasında pozitif, serotinitik ile ise negatif korelasyon olduğunu göstermektedir (Schwilk ve Ackerly, 2001).

Yukarıda değinilen karakterlerin varlığı, çamların yangın rejimlerine uyum sağlayarak yangın sonrası popülasyonlarının devamlılığı ve doğal gençleşmeyi (rejenerasyonları) sağlamaları için kritik öneme sahiptir. Nitekim Akdeniz Havzasında yetişen *P. halepensis* ve *P. pinaster* türlerine ait popülasyonlarda serotinitik karakterini yangın rejimlerinin şekillendirdiği tespit edilmiştir (Hernández-Serrano vd., 2013). Ayrıca, *P. halepensis*'in serotinitik karakterinin kalıtılabilir olduğu orjin deneme alanları ve doğal popülasyonlarda gösterilmiştir (Hernández-Serrano vd., 2014; Castellanos vd., 2015). Benzer olarak, *P. pinaster* türünde de doğal popülasyonlardaki serotinitik seviyesinin genetik değişkenlik ile ilişkisi olduğu gösterilmiştir (Budde vd., 2014).

2.1.2. Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.)

Serotinitik özelliğine sahip Akdeniz çam türlerinden birisi olan Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.), Ege adalarından Kuzey Irak'a kadar doğal yayılım alanına sahip olan, doğu Akdeniz Havzasına özgü bir ağaç türüdür (Şekil 2.1, Boydak vd., 2006; Chambel vd., 2013). En geniş yayılışını Türkiye sınırları içerisinde gerçekleştiren bu tür, ülkemizdeki ormancılık faaliyetleri için de oldukça yüksek önem arz etmektedir. Akdeniz, Ege ve Marmara bölgelerinin denize bakan kısımlarında geniş alanlar kaplayan doğal ormanlarına, Karadeniz bölgesinde ise dağınık halde bulunan kısıtlı yayılışa sahip popülasyonlarına rastlamak mümkündür (Neyişçi, 1987; Sarıbaş ve Ekinci, 2004). Doğal Kızılçam ormanlarının aynı yaşta bireylerden oluşan kesintisiz ve geniş alanlar kaplaması, bu türün hakim olduğu ormanların yangınlar sonucunda oluştuğuna dair kanıt oluşturmaktadır (Boydak vd., 2006). Bununla birlikte, Kızılçam'da gençlik (fide) oluşumunun sadece yangına bağımlı olmadığı, eğer ortamda yeterince ışık varsa Kızılçam gençliğinin kolayca alana yerleşebileceği bilinmektedir (Boydak, 2004).



Şekil 2.1. Kızılcam'ın doğal yayılım alanı (Wikipedia'dan alınmıştır).

Geçmişten günümüze hem insan aktivitesinin (habitat parçalanması, yangın sıklığının artışı, ekonomik amaçlı dikim ve kesimler, vb.) hem de doğal yangın rejimlerinin etkisi altında devamlılığını sağlayabilen Kızılcam'ın farklı iklim, vejetasyon ve topografyaya sahip bölgelerde yayılış gösteriyor oluşu da türün farklı koşullara uyarlanma başarısını göstermesi bakımından dikkat çekmektedir. Türkiye'nin Akdeniz ve Ege Bölgelerinde yapılan bir araştırma, bu bölgelerdeki yangın rejimlerinin büyük ölçüde iklimsel faktörler ile ilişkili olduğunu göstermiştir (Bekar, 2016; Bekar ve Tavşanoğlu, 2017). Bu doğrultuda, Kızılcam popülasyonlarının devamlılığı için yangın rejimlerine uyarlanmanın, en az iklimsel farklılıklara uyarlanma kadar büyük önem arz etmekte olduğu düşünülebilir.

Kızılcam'ın yangına uyarlanmasını sağlayan bitki karakterlerine sahip olduğu bilinmektedir (Neyişçi, 1993; Boydak, 2004; Boydak vd., 2006; Fernandes vd., 2008; Pausas vd., 2008). Bununla birlikte, Kızılcam'ın yangın ekolojisi konusundaki çoğu çalışma, Kızılcam ormanlarının yangın sonrası doğal yoldan gençleştirilme tekniklerine ve doğal yenilenmenin dinamikleri üzerine odaklanmıştır (Selik, 1958, Özdemir, 1977; Eron ve Sarıgül, 1988; Eler ve Şenergin, 1990; Eler, 1992; Spanos vd., 1999; Thanos ve Doussi, 2000; Tavşanoğlu ve Gürkan, 2009, Kavgacı vd., 2010; Vallejo vd., 2012; Tavşanoğlu vd., 2014; Ürker vd., 2018). Bununla birlikte, yangınla ilişkili karakterler ile ilgili olarak Kızılcam'a yakın bir tür olan Halep Çamı (*P. halepensis*) üzerine daha çok sayıda çalışma gerçekleştirilmiştir (Verkaik ve Espelta, 2006; Moya vd., 2008; Hernández-Serrano vd., 2013, Hernández-Serrano vd., 2014). Halep

Çamı'nda, serotinitik karakterinde görülmekte olan popülasyonlar arası değişkenlik ve bu değişkenliğin genetik bir temelini olması, Kızılçam'da da çevre koşulları ve genetik ile açıklanabilen benzer bir değişkenliğin mevcut olabileceğini düşündürmektedir.

Kızılçam'ın Yunanistan, Irak ve Türkiye'yi de içeren popülasyonları arasındaki çeşitliliğe dair geniş kapsamlı sadece bir çalışma mevcuttur ve bu çalışma Türkiye'nin düşük rakımlarında var olan popülasyonların diğerlerine nazaran daha yüksek çeşitliliğe sahip olduğunu ileri sürmektedir (Weinstein, 1988). Fakat Türkiye popülasyonları ölçeğinde yapılmış bir çalışma popülasyonlar arası coğrafya ve yüksekliğe bağlı bir genetik çeşitlilik farkı olmadığını ileri sürmekte iken (Kandemir vd., 2004), bir diğer çalışma Akdeniz bölgesinde çeşitliliğin batı popülasyonlarında doğu popülasyonlarından daha yüksek olduğunu göstermektedir (Kaya ve Bilgen, 2012). Yine Akdeniz bölgesinde denizden yüksekliğe bağlı olarak Kızılçam'daki genetik çeşitlilik değişkenliği üzerine yapılan çalışmalarda, orta yükseklik zonlarının (Işık ve Kara 1997; Kurt vd., 2011) ya da yüksek zonların (Kurt vd., 2012) daha fazla çeşitliliğe sahip olduğu bildirilmiştir. Ayrıca, Yunanistan adalarında yapılmış bir çalışmada da popülasyon içi genetik çeşitliliğin popülasyonlar arasındaki çeşitlilikten daha yüksek olduğu gösterilmiştir (Panetsos vd., 1998). Kızılçam'ın Türkiye popülasyonlarını geniş ölçekte örnekleyen ve son yıllarda yaygın bir şekilde kullanılan tanımlama yöntemlerini içeren genetik bir çalışma henüz gerçekleştirilmemiştir. Ayrıca literatürde yapılan çalışmalarda ekolojik karakterler, iklimsel değişkenler ve yangınla ilişkili bitki karakterlerini bütünlüyle bir bakış açısı ile ele alma açısından oldukça büyük bir eksiklik mevcuttur. Literatürdeki en önemli eksikliklerden biri de, Kızılçam türünde görülmekte olan genetik çeşitliliğin, yangınla ilişkili herhangi bir karakter ile ilişkilendirilmemiş olmasıdır. Her ne kadar denizden yüksekliğe bağlı olarak Kızılçam ormanlarında yangınların şiddeti ve sıklığının azaldığı bilirse de (Neyişçi, 1993; Bekar, 2016), Kızılçam'da denizden yüksekliğe bağlı olarak şekillenen genetik yapılanma yangınla ilişkili olarak daha önce araştırılmamıştır. Benzer şekilde, Kızılçam'ın kabuk kalınlığının da denizden yüksekliğe bağlı olarak değiştiği ortaya konmuştur (Arslan, 2013). Kızılçam'da kalın kabuğun, özellikle örtü yangınlarına karşı bir dayanıklılık sağlandığı genel olarak ifade edilmiş olsa da (Boydak vd., 2006), kabuk kalınlığında popülasyon seviyesindeki değişiminin sebepleri bilinmemektedir.

Kızılçam'ın yangınla ilişkili karakterleri konusunda literatürde yer alan yukarıda değinilen boşluklar, türün popülasyonlarının iklim değişikliğine ve orman yönetimi stratejilerine bağlı olarak değişen yangın rejimlerine nasıl cevap vereceği konusunda bir bilgi eksikliğine yol açmaktadır. Ayrıca, Türkiye'deki Akdeniz bölgesi ormancılığının ana bileşeni olan Kızılçam'ın

yangınla ilişkili karakterlerinin değişkenliğinin, kalıtılabilirliğinin, genetik çeşitlilik ve yapısının bilinmesi, Kızılçam ağaçlandırmalarında uygulanacak olan orijin ve zonlama stratejilerini de yönlendirme potansiyeline sahip olacaktır. Bu doğrultuda, Kızılçam türünde yangın sonrası rejenerasyonu sağlayan serotinitik ve yangına dayanıklılık sağlayan kabuk kalınlığı karakterlerinin populasyonlar arasındaki değişiminin genetik ve çevresel etmenlerden görel olarak ne ölçüde etkilendiğinin belirlenmesi oldukça önemlidir.

2.2. Çalışma Konusu ve Önemi

Bu çalışma, Kızılçam'ın yangınla ilişkili karakterlerinin farklı alansal ölçeklerdeki değişkenliği ile bu karakterlerin çevre koşulları ve genetik ile olan ilişkisinin araştırılmasını içermektedir. Araştırmanın dayandığı temel hipotezler aşağıda sıralanmıştır:

- 1- Kızılçam'da serotinitik, kabuk kalınlığı ve doğal dal budanması karakterleri, bireyler, populasyonlar ve bölgeler arasında değişkenlik göstermekte olan biyolojik karakterlerdir.
- 2- Kızılçam'da yangınla ilişkili karakterlerin değişkenliği, ana olarak yangın rejimleri, kısmi olarak ise iklimsel faktörlerle şekillenmektedir.
- 3- Kızılçam türünde serotinitik, diğer Akdeniz çam türlerindeki gibi (*P. halepensis* ve *P. pinaster*) kalıtılabilir bir karakterdir.
- 4- Kızılçam'da kabuk kalınlığı kalıtılabilir bir karakterdir (ilk kez bir çam türünde test edilecektir).
- 5- Kızılçam'da doğal dal budanması kalıtılabilir bir karakterdir (ilk kez bir türde test edilecektir).
- 6- Kızılçam populasyonları genetik açıdan değişkenlik gösterir, bu genetik değişkenlik serotinitik ve kabuk kalınlığı karakterleri ile ilişkilidir.
- 7- Kızılçam populasyonlarında serotinitik ve kabuk kalınlığı karakterlerinin şekillenmesinde genetik faktörler çevre faktörlerine göre daha etkilidir.

Bu çalışma, yangınla ilişkili bitki karakterleri olan serotinitik ve kalın kabuğa sahip olmanın populasyonlar arasındaki genetik farklar ile nasıl ilişkilendiği yangın ekolojisi yaklaşımı ile Akdeniz Havzasında ortaya koyan ilk birkaç çalışmadan birisidir. Serotinitik karakteri için Halep çamı (*P. halepensis*) ve Sahil çamı (*P. pinaster*) türlerinde geçtiğimiz yıllarda ortaya çıkarılan bu durum, daha çok sayıda çam türünde test edilmesi gereken önemli bir konudur.

Kabuk kalınlığının populasyonlar arası değişkenliği ise daha önce hiçbir Akdeniz havzası çam türünde ayrıntılı olarak araştırılmamıştır. Projenin ana konusunu oluşturan Kızılçam türünde ise bu karakterlerdeki değişkenlik ve bunun genetik değişkenlik ile olan ilişkisi daha önce hiç çalışılmamıştır.

Bu doğrultuda, tez çalışması, yangın ekolojisi alanında oldukça güncel olan bir konuda daha önce hiç çalışılmamış bir türde ve yeni bir coğrafyada gerçekleştirilmesi bakımından yüksek bir özgün değere sahiptir.

Çalışmadan elde edilen bulgular, hem gerek Akdeniz Havzası gerekse dünya yangın ekolojisi literatürüne hem de Türkiye ormancılık literatürüne önemli katkı sunmaktadır. Ayrıca, bu çalışmanın bulguları, Türkiye’de yangınla ilişkili olarak daha çok rejenerasyonu incelenmiş olan Kızılçam’da yangınla ilişkili karakterlerin önemini ortaya koyması bakımından önemlidir ve gelecekte bu tür ile yapılacak diğer çalışmalara da yön gösterecektir.

Kızılçam Türkiye’nin Akdeniz iklimine sahip yörelerinde ağaçlandırma amacıyla kullanılan ana ağaç türü olduğundan, incelenen karakterlerde populasyonlar arası değişkenliğin ortaya konulması, Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından gerçekleştirilen ağaçlandırma çalışmalarında kullanılacak orijinlere bu karakterler bakımından da dikkat edilmesinin önünü açacaktır. Bu sayede, daha başarılı gençleştirme ve ağaçlandırma faaliyetleri yürütülmesi sayesinde ulusal ekonomiye önemli katkıda bulunulacaktır.

Çalışmadan elde edilmiş olan sonuçlardan, yangın ekolojisi konusundaki uzmanlar, çam ağaçlarının karakterleri konusunda çalışan bilim insanları ve Tarım ve Orman Bakanlığı’nda konuyla ilgili uygulayıcılar doğrudan faydalanacaktır.

2.3 Çalışma Sistemi

Bu tez çalışması, güneybatı Anadolu’da Kızılçam’ın farklı yüksekliklerde yayılış gösterdiği iki bölgede yürütülmüştür. Bu iki bölge Muğla ilinin batı kesiminde yer alan Muğla-Milas arasını (tez boyunca “Muğla” bölgesi olarak adlandırılacaktır) ve Antalya ilinin batı kesiminde yer alan Kaş-Fethiye arasını (tez boyunca “Kaş” bölgesi olarak adlandırılacaktır) kapsamaktadır (Şekil 2.2, 2.3, 2.4). Bu bölgeler, alansal olarak yakın mesafelerde denizden farklı yükseklikleri içermeleri ve gen akışının düşük olduğu iki farklı popülasyonu temsil ettikleri düşüncesi ile seçilmiştir.

Her bir bölge içerisinde Kızılçam'ın deniz seviyesinden en yüksek ve en düşük rakımlarda yer alan iki farklı rakım grubu incelenmiştir. Her bir bölgede, yüksek zonda 2, alçak zonda 2 olmak üzere toplam 4 adet çalışma alanı yer almıştır. Alan seçimi sırasında, her bir yükseklik zonundaki çalışma alanları arasında en az 18 km mesafe olmasına dikkat edilmiştir. Farklı yüksekliklerde yer alan bu alanların farklı yangın rejimlerinin etkisi altında olduğu varsayılmıştır. Nitekim, denizden yüksekliğin Kızılçam'ın ana yayılışını gerçekleştirdiği Ege ve Akdeniz Bölgelerinde yangın rejiminin en önemli belirleyicilerinden birisi olduğu belirlenmiştir (Bekar, 2016). Yüksek rakımda bulunan alanlar, uzun süren yangın aralıkları (ing., fire-interval) olan yangın rejimlerine sahip oldukları varsayıldığı için "LoFi" (ing., "low fire"), alçak rakımda bulunan alanlar kısa yangın aralıkları olduğu varsayıldığı için "HiFi" (ing., "high fire") olarak isimlendirilmiştir. İncelenen her bir çalışma alanının içerisinde ise birbirlerine en az 1 km uzaklıkta yer alan üç parsel (1 ha büyüklüğünde) seçilmiştir. Bu tez çalışmasında yürütülen tüm ölçüm ve sayımlar bu parseller içerisinde gerçekleştirilmiştir (Çizelge 2.1). Sonuç olarak, bu tez çalışması birbiri içerisinde yuvalanmış farklı büyüklüklerdeki alanlardan oluşan bir örneklem tasarımı içermektedir. Bu örneklem tasarımı ile toplamda, iki bölge, dört yükseklik zonu (2 alçak, 2 yüksek), sekiz çalışma alanı ve 24 parsel içermektedir (Şekil 2.5).

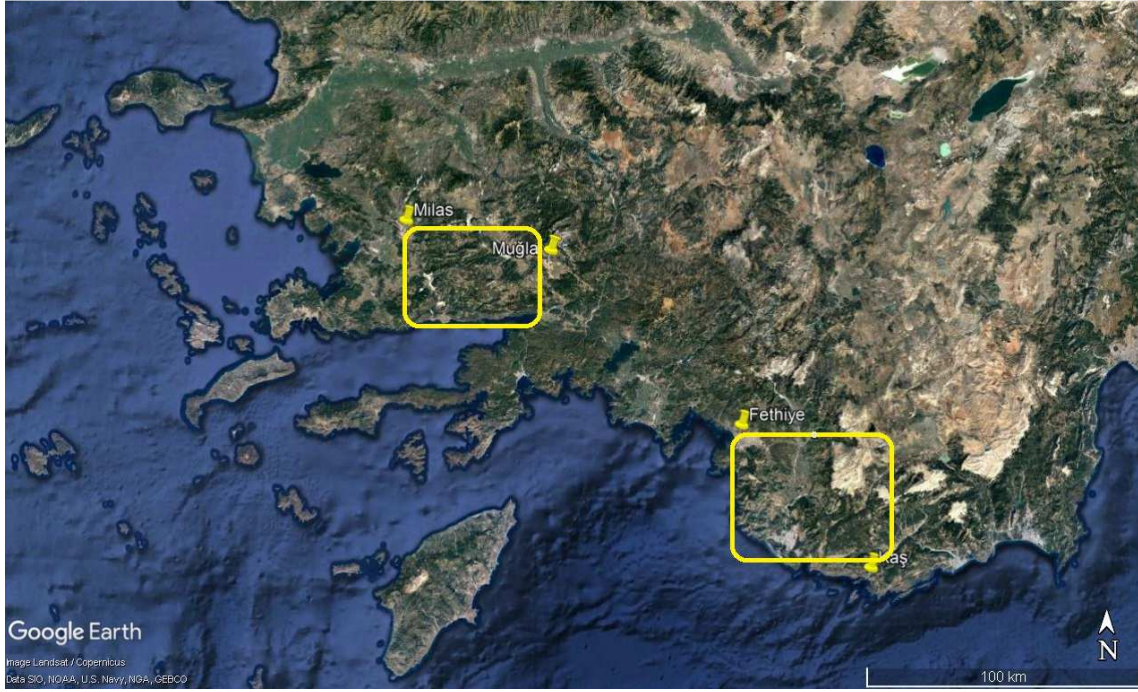
Çalışma alanlarının seçimi sırasında, yerel iklimsel yapıları ve denizden yükseklikleri farklılık gösterse de, tümünün aynı anakaya (ör: kireçtaşı) üzerinde bulunmasına, olgun Kızılçam meşceresi olmasına, kolay ulaşılabilir olmasına, yakın zamanda insan müdahalesi (kesim vb.) ve yangın geçirmemiş olmasına, ayrıca vejetasyon açısından devamlılık gösteren meşcereler olmasına dikkat edilmiştir. Fakat Kaş bölgesinde habitat parçalanmasına beklenenden daha sık rastlanmış ve örneklemeler bu tip alanlarda da yapılmıştır.

Kızılçam kozalaklarının bazıları serotin özelliğe sahip olmasalar da (yani daha yıllarca beklemeden açılmış olsalar da), ortamda nem miktarının artmasına bağlı olarak kapanma özelliğine sahiptir. Dolayısıyla serotin karakter göstermeyen kozalaklar, yağışın olduğu dönemde kapanmakta, yağışın sona ermesini takiben en geç 7-10 gün içerisinde (nem kaybına bağlı olarak) tekrar açılmaktadır (Ç. Tavşanoğlu, kişisel gözlem). Serotinlik ölçümlerinde bu durumdan kaynaklanan bir hata payının olmaması için, tüm ölçümler yağışın en az 15 gün boyunca yağmadığı dönemlerde gerçekleştirilmiştir. Bu doğrultuda, ölçümler Kızılçam kozalaklarının o yıl için erginliğe ulaştığı dönem sonrasına denk gelecek şekilde ve çalışma bölgesinde yağışın hemen hemen hiç görülmediği Temmuz-Eylül dönemleri arasında gerçekleştirilmiştir.

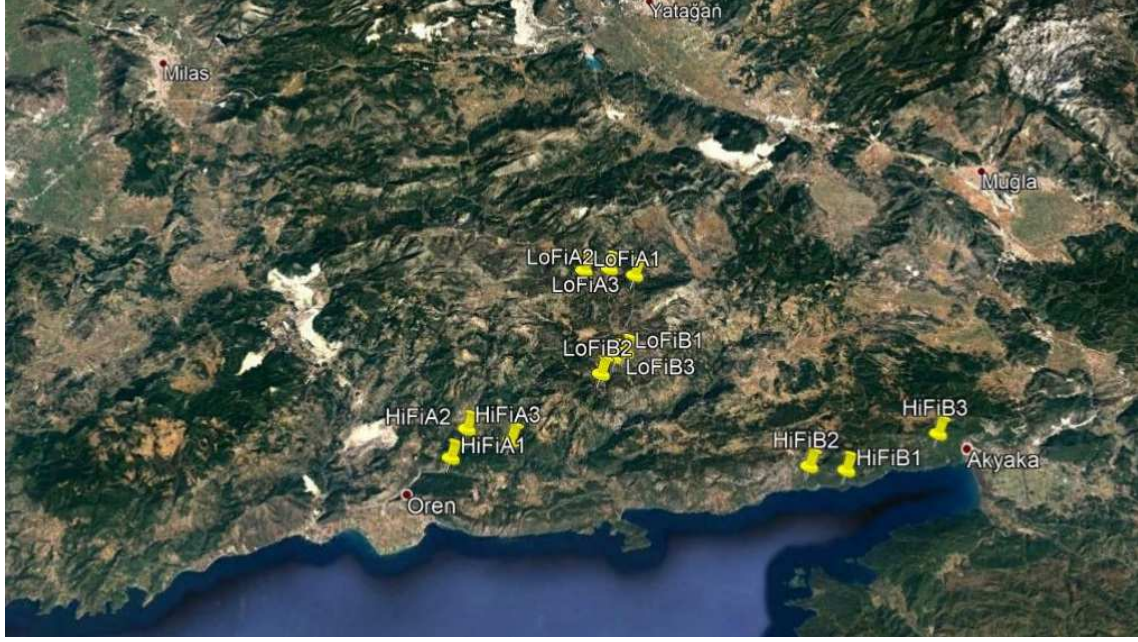
İleri analizlerde kullanılmak üzere coğrafi veriler (denizden yükseklik, koordinatlar vb.) arazi süresince her bir parsel (toplam 24 adet) için kaydedilmiştir (Çizelge 2.1).

İncelenen her bir parselde 30 birey üzerinde karakter (serotinitik, doğal dal budanması, kabuk kalınlığı) ve diğer morfolojik (göğüs hizası çap ve ağaç boyu) ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Örneklenerek birey seçiminde kozalak oluşturma ve sağlık durumları dikkate alınmış ve kozalaksız/sağlıksız bireyler örnekleme dâhil edilmemiştir. Bu sayede, her bir parselde (yaklaşık 1 ha'lık) 30 birey, her bir alandan (üç parselden oluşan) 90 birey, her bir çalışma bölgesinden (Muğla / Kaş - iki yüksek iki alçak zondan oluşan) 360 birey, tüm tez çalışması kapsamında (iki çalışma bölgesi) ise 720 birey üzerinde ölçümler gerçekleştirilmiştir.

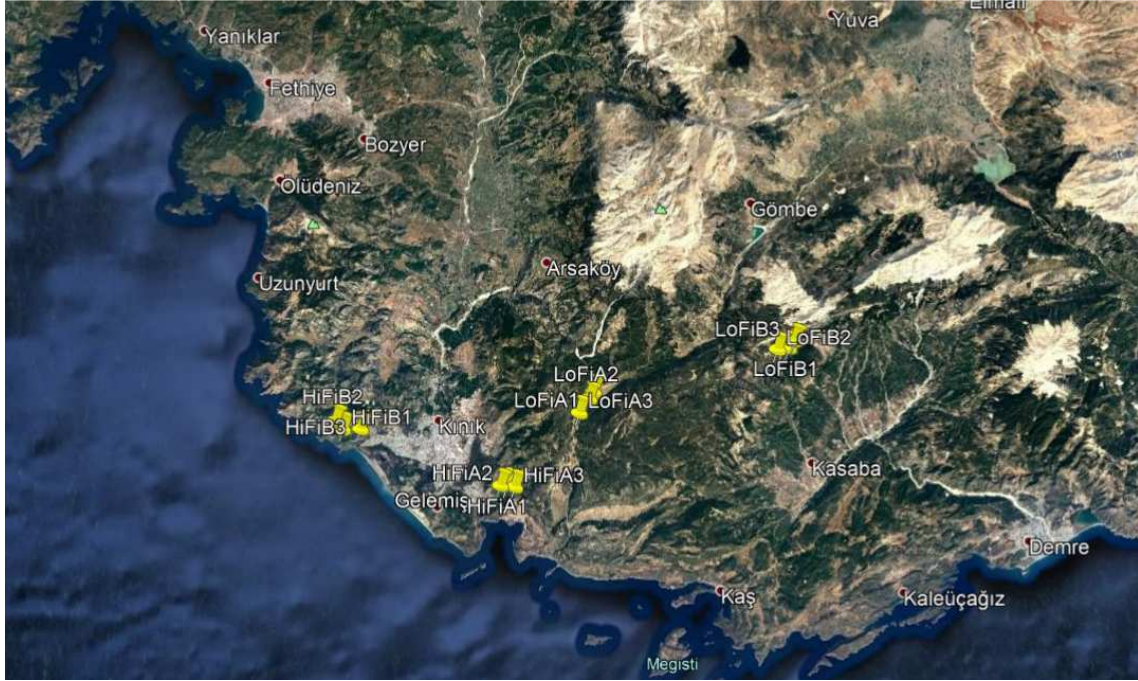
Alanlara ait sayısal iklimsel veriler 19 adet farklı yıllık, mevsimlik, ekstrem ve sınırlayıcı biyoiklimsel veriyi içeren BIOCLIM veritabanından (Hijmans vd., 2005) alınmıştır (Çizelge 2.2). Yangın döngüsüne ilişkin veriler Orman Genel Müdürlüğü, Orman Yangınları ile Mücadele Dairesi Başkanlığı'nın yangın kayıtlarına dayanarak hesaplanmıştır.



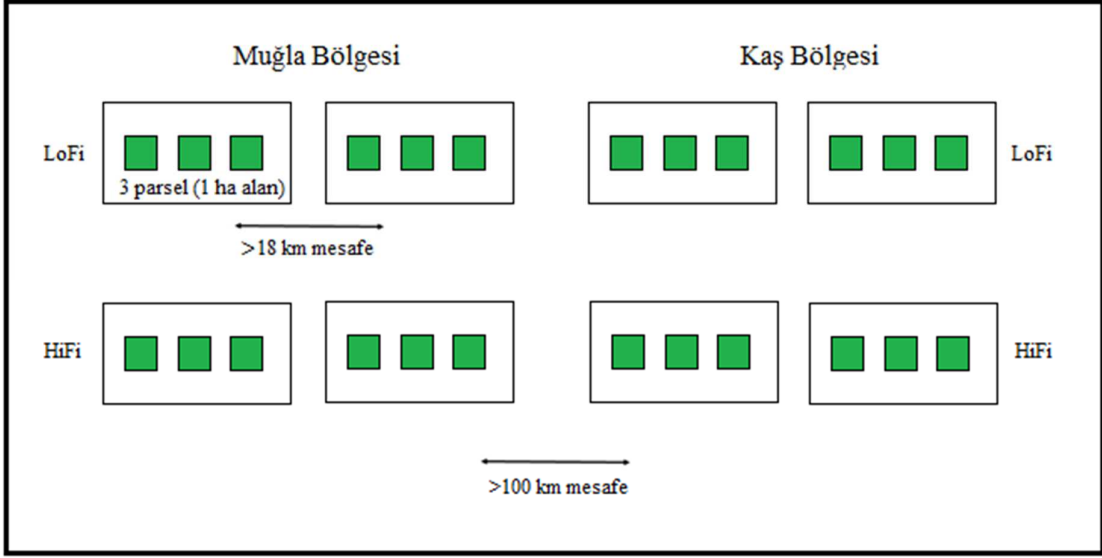
Şekil 2.2. Muğla ve Kaş bölgelerini gösterir harita (Google Earth).



Şekil 2.3. Muğla-Milas arazisine (Muğla bölgesi) ait parseller ve kodları (Google Earth).



Şekil 2.4. Kaş-Fethiye arazisine (Kaş bölgesi) ait parseller ve kodları (Google Earth).



Şekil 2.5. Çalışmada kullanılan örneklem tasarımı.

Çizelge 2.1. Alan ve parsellere ait kod, enlem, boylam ve rakım verileri. Yangın rejimlerinde LoFi, yüksek rakımda bulunan, uzun süreli yangın aralıklarına sahip alanları, HiFi ise alçak rakımda bulunan, kısa yangın aralıklarına sahip alanlardır.

Bölge	Yangın Rejimi	Alan	Parsel	Enlem (°K)	Boylam (°D)	Rakım (m)
Muğla	HiFi	A	Site1	37,05535	27,99136	81
Muğla	HiFi	A	Site2	37,07243	27,99677	147
Muğla	HiFi	A	Site3	37,06455	28,02579	230
Muğla	HiFi	B	Site1	37,04076	28,23967	67
Muğla	HiFi	B	Site2	37,04374	28,21943	74
Muğla	HiFi	B	Site3	37,05831	28,30318	104
Muğla	LoFi	A	Site1	37,15569	28,07803	1185
Muğla	LoFi	A	Site2	37,15638	28,09526	1094
Muğla	LoFi	A	Site3	37,15266	28,11208	1013
Muğla	LoFi	B	Site1	37,10708	28,10008	1145
Muğla	LoFi	B	Site2	37,0969	28,08675	1069
Muğla	LoFi	B	Site3	37,10493	28,09642	1130
Kas	HiFi	A	Site1	36,28242	29,38635	82
Kas	HiFi	A	Site2	36,28289	29,39451	112
Kas	HiFi	A	Site3	36,28181	29,40408	222
Kas	HiFi	B	Site1	36,33296	29,20817	103
Kas	HiFi	B	Site2	36,34009	29,2003	151
Kas	HiFi	B	Site3	36,33389	29,23109	13
Kas	LoFi	A	Site1	36,36845	29,49248	972
Kas	LoFi	A	Site2	36,36083	29,48463	1121
Kas	LoFi	A	Site3	36,35047	29,47456	1156
Kas	LoFi	B	Site1	36,40932	29,70858	1046
Kas	LoFi	B	Site2	36,40651	29,69628	1028
Kas	LoFi	B	Site3	36,41375	29,71584	1097

Çizelge 2.2. Parsellere ait iklimsel veriler. P_{sum} : yaz yağışı (mm), P_{ann} : yıllık yağış (mm), $P_{sum/ann}$: yaz yağışının ortalama yıllık yağışa oranı, T_{mean} : yıllık sıcaklık (°C), T_{dry} : kurak dönem sıcaklığı (°C), P_{dry} : kurak dönem yağışı (mm), $P_{dry/ann}$: kurak dönem yağışının ortalama yıllık yağışa oranı, N_{pp} : net birincil verimlilik, P_{et} : potansiyel evapotranspirasyon, A_{et} : gerçek evapotranspirasyon, dro : kuraklık indeksi, YD : yangın döngüsü (yıl).

Bölge	Yangın rejimi	Alan	Parsel	P_{sum}	P_{ann}	$P_{sum/ann}$	T_{mean}	T_{dry}	P_{dry}	$P_{dry/ann}$	N_{pp}	P_{et}	A_{et}	dro	YD
Muğla	HiFi	A	Site1	18	853	2.11	17.99	24.6	66	7.74	53	943.22	296.9	4637	1139.43
Muğla	HiFi	A	Site2	18	853	2.11	17.98	24.7	66	7.74	53	951.02	296.5	4649	1139.43
Muğla	HiFi	A	Site3	19	871	2.18	17.65	24.36	70	8.04	48	919.56	301.3	4753	1139.43
Muğla	HiFi	B	Site1	31	1022	3.03	16.83	23.14	76	7.44	48	872.39	311.33	5490	4320.51
Muğla	HiFi	B	Site2	31	1022	3.03	17.47	23.8	72	7.05	48	909.49	312.76	5575	4320.51
Muğla	HiFi	B	Site3	30	1034	2.90	17.78	23.92	73	7.06	54	919.83	319.72	5750	4320.51
Muğla	LoFi	A	Site1	38	1008	3.77	12.33	19.1	103	10.22	48	698.69	283.03	5415	9653.30
Muğla	LoFi	A	Site2	38	1012	3.75	12.84	19.62	101	9.98	48	720.68	283.84	5422	9653.30
Muğla	LoFi	A	Site3	38	1012	3.75	13.39	20.2	99	9.78	48	737.01	286.86	5394	9653.30
Muğla	LoFi	B	Site1	37	1012	3.66	13.02	19.62	100	9.88	48	725.42	290.17	5311	938.30
Muğla	LoFi	B	Site2	37	1012	3.66	13.51	20.18	97	9.58	48	741.81	285.77	5222	938.30
Muğla	LoFi	B	Site3	37	1012	3.66	13.05	19.64	99	9.78	48	725.42	289.17	5290	938.30
Kaş	HiFi	A	Site1	16	914	1.75	18.08	23.94	53	5.80	55	941.8	292.17	4567	1108.57
Kaş	HiFi	A	Site2	16	914	1.75	18.03	23.9	54	5.91	55	933.79	294.62	4563	1108.57
Kaş	HiFi	A	Site3	16	914	1.75	17.72	23.66	56	6.13	55	899.6	291.21	4524	1108.57
Kaş	HiFi	B	Site1	17	909	1.87	18.38	24.22	52	5.72	11	948.37	293.93	4665	12721.0
Kaş	HiFi	B	Site2	20	909	2.20	18.21	24.08	54	5.94	11	948.37	296.93	4694	12721.0
Kaş	HiFi	B	Site3	18	948	1.90	18.17	24	54	5.70	11	941.8	298.17	4683	12721.0
Kaş	LoFi	A	Site1	40	739	5.41	13.85	21	83	11.23	55	760.7	254.76	3978	60500.3
Kaş	LoFi	A	Site2	40	739	5.41	13.16	20.26	89	12.04	55	733.36	258.83	3926	60500.3
Kaş	LoFi	A	Site3	40	739	5.41	12.35	19.26	95	12.86	55	703.34	268.37	3943	1108.57
Kaş	LoFi	B	Site1	29	704	4.12	13.37	19.98	87	12.36	61	728.04	263.62	3727	12525.4
Kaş	LoFi	B	Site2	34	704	4.83	13.68	20.24	86	12.22	61	743.91	267.84	3724	12525.4
Kaş	LoFi	B	Site3	29	739	3.92	13.37	19.98	87	11.77	61	728.04	263.62	3727	12525.4

3. KIZILÇAM'DA SEROTİNLİK KARAKTERİNİN POPÜLASYONLAR ARASI DEĞİŞKENLİĞİ

3.1 Giriş

“Serotin” terimi ilk olarak 1803 yılında *Pinus serotina* için kozalaklarının gecikmeli açılmasına atıfta bulunmak için kullanılmıştır (Lamont, 1991). Günümüzde “tohumların ana bitki üzerinde uzun süre tutulması” anlamında kullanılan serotinitik terimi, kozalaklar, meyveler, bireyler, popülasyonlar ve türler için de kullanılabilir (Lamont vd., 2020). Serotinitik seviyeleri; tohumlar olgunlaştıktan hemen sonra bırakılır ise serotin olmayan (ing., nonserotinitic), zayıf serotinitik (1-4 yıl), orta derecede serotinitik (5-9 yıl) ve kuvvetli serotinitik (10+ yıl) şeklinde gruplandırılmaktadır (Lamont vd. 2020). Serotinitik bir türün popülasyonları ve bireyleri arasında değişik seviyelerde olabileceği bilinmektedir. Kızılçam'da serotin olmayan kozalaklardan bahsedebilmek için, kozalığın olgunluğa eriştiği ikinci yılında açılmış olması gerekmektedir. Bu türde, olgunlaşmamış 1 yaşındaki yeşil kozalakların kapalı, 2 ve 2 yaşından büyük, olgunlaşmış kahverengi-gri kozalakların açık ya da kapalı olduğu görülmektedir (Şekil 3.1). Belirli bir zamanda bir bitkide kapalı olan kozalak oranı, "görünür" serotinitik belirlenmesinde kullanılmaktadır.

Serotinitik ekolojisi ve evrimi Akdeniz tipi ekosistemlerde (Avustralya, Kuzey Amerika, Akdeniz Havzası ve Güney Afrika) yangınla ilişkili önemli bir uyarlanma olduğu için geniş çapta incelenmiştir (Keeley vd., 2011; Martín -Sanz vd., 2016; Causley vd., 2016; Lamont 2020), Evrimsel geçmişi Triyas'a kadar uzandığı bilinen serotinitik ile (He vd.,2012; Belcher vd., 2016; Lamont vd., 2019) yaklaşık aynı zamanda, kozalakların etrafındaki bölgenin yangıncılığını artıran ve reçine erimesi için kritik sıcaklığa ulaşılmasını sağlayan - ölü çiçeklerin, yaprakların ve dalların tutulması – gibi başka karakterler de ortaya çıkmıştır. Çamlardaki serotinitik, alevlerin zeminden kapalı kozalakların bulunduğu tepeye ('merdiven' etkisi) yayılmasını sağlayan ölü dalların tutulmasına bağlı olduğu bilinmektedir (Schwilk ve Ackerly, 2001; Pausas, 2015b).

Yangın sonrası popülasyonların, genellikle yangın öncesi popülasyonlardan daha serotinitik olduğuna dair birçok bulgu mevcuttur (Goubitz vd., 2004; Raffaele vd., 2016). Bir popülasyondaki bireylerin hepsinin serotinitik özelliğine sahip olmadığı, bazı tohumların erken salındığı bilinmektedir (Hernandez-Serrano vd., 2013). Bu tohumlar, bitki örtüsü kapalı olduğu için, vejetasyon üyeleri ile kaynak rekabetine girecekleri ya da olası otçul tehdidine karşı savunmasız olacakları için bir sonraki nesle katkıda bulunamayacaklardır (Causley vd., 2016; Hanley ve Lamont, 2001). Ayrıca, yangın çıktığında ebeveynlerden daha genç olacaklarından

dolayı, olgunluğa ulaşımlar dahi tohum depoları az olacağından bir sonraki nesle katkıları en iyi ihtimalle düşük olacaktır (Lamont vd., 2020). Bitki üzerinde tutulan serotinli kozalaklar, yangın sonrası daha iyi yerleşim ve kaynak olanakları sayesinde (Goubitz vd., 2003; Causley vd., 2016) sonraki nesle daha fazla tohum katkısında bulunarak, buradaki serotinitik oranlarını arttırmaktadır.

Serotinitik seviyesi; türler, popülasyonlar veya coğrafi bölgeler arasında yüksek fenotipik değişkenliğe sahiptir ve bu değişkenliğe yangın rejimlerinin yanında, ontogenik ve ekolojik faktörlerin de etkisi olduğu ileri sürülmektedir (Tapias vd., 2004; Espelta vd., 2011; He vd., 2012; Ne'eman vd., 2012). Örneđin; su durumunun kozalak açılması üzerine etkisi olduğu (Martín-Sanz vd., 2017) ve *P. pinaster*'de serotin seviyesinin genç ana ağaçlarda daha yüksek olduğu (Cruz vd., 2019) tespit edilmiştir. Ayrıca, serotinitik özelliği sergileyen türlerin % 85'i, dünyanın Akdeniz tipi ekosistemlerinde, ağırlıklı olarak kış yağışlı iklimlerde bulunmaktadır (Lamont vd., 2020). Ek olarak, yaz aylarında yağış miktarı arttıkça serotinitik oranında azalma görüldüğu de bildirilmiştir (Hernandez Serrano vd., 2013). Bu etkenlerin yanı sıra, son 30 yıldır daha sık yangınlardan etkilenen alanlardaki *P. pinaster* ve *P. halepensis* popülasyonlarında serotinitik seviyesinin daha yüksek olduğu da tespit edilmiştir (Hernandez-Serrano vd., 2013; Vincenzi ve Piotti, 2014).

Serotinitik karakteri birçok çam türünde yaygın olarak çalışılmış olsa da, Kızılçam türünde serotinitik biyolojik bir karakter olarak ayrıntılı olarak incelendiği bir çalışma bulunmamaktadır. Bugüne kadar Kızılçam'da kozalak kapalılığına ilişkin çalışmalar ya gözlemsel niteliktedir ya da serotinitik kendisinden ziyade başka özelliklerine (kapalı kozalaklardaki tohumların canlılığı) odaklanmıştır (Şefik, 1965; Eler, 1992; Neyişçi, 1993; Boydak vd., 2006). Kızılçam'a ait literatürdeki bu eksikliği gidermek ve rejenerasyonu için önemli olan bu özelliğin popülasyonlardaki seviyeleri ile iklimsel değişkenlerle ilişkisini belirlemek amacı ile bu çalışma gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.1. Kızılcım’da olgunlaşmamış (yeşil - kapalı) ve olgunlaşmış (kahverengi - kapalı/açık, gri - kapalı) kozalaklar (Fotoğraf, D.Deniz Kazancı).

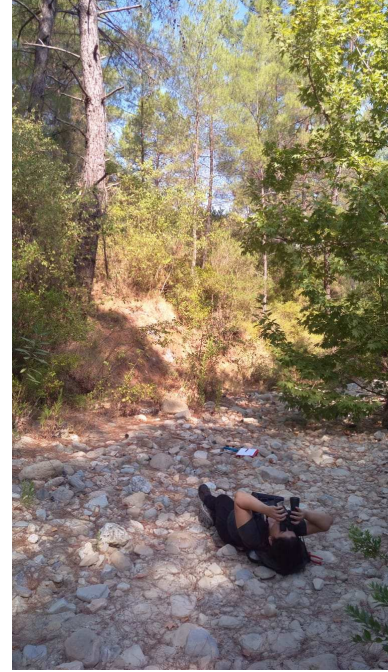
3.2. Yöntem

Bu çalışmada, örneklem tasarımı ve çalışma alanları ile bireylerinin seçimi, bu tezde yer alan Bölüm 2.2.’de belirtildiği şekilde gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışma kapsamında, serotinité seviyesinin belirlenmesinde “serotin (kapalı) kozalak oranı” (%) ve “en yaşlı serotinité (kapalı) kozalak yaşı” karakterleri kullanılmıştır. Ağaçlar üzerindeki kozalak sayımları, dürbün aracılığı ile gerçekleştirilmiş ve mekanik el sayacı yardımıyla kapalı ve açık kozalak sayısı kaydedilmiştir (Şekil 3.1). Sayımlar sırasında, örneklenen her bir Kızılcım bireyinde tepe kısmı dikey olarak 3 eşit parçaya (üst, orta, alt) ayrılarak, bu parçaların arasından üst ve orta parçalarda karşılıklı olarak yer alan toplam 4 dal (her bir parçada 2 dal) tesadüfi olarak belirlenmiştir. Bu dallarda yer alan tüm olgun kozalaklar her bir dal için ayrı ayrı sayılarak kaydedilmiştir. Bir bireye ait en yaşlı serotinité kozalak yaşını tespiti için bireyin tüm dallarındaki kozalaklar taranmış ve kayıt altına alınmıştır. O sene oluşmuş ve henüz olgunluğa erişmemiş

olan (yeşil renkteki) kozalaklar tüm değerlendirmelerin dışında tutulmuştur. En yaşlı serotinli kozalak yaşı için yıl sayımına sadece en az 2 yaşında, olgun ve kapalı kozalaklar ile daha yüksek yaşa sahip kapalı kozalaklar dahil edilmiştir. Olası gözlemci hatalarını en aza indirmek için, arazi çalışmaları süresince serotiniclik ile ilişkili tüm sayımlar tek bir kişi (Duygu Deniz Kazancı) tarafından gerçekleştirilmiştir.

Bu sayımlar sonucunda, örneklenen her bir Kızılçam bireyi için toplam kozalak sayısı, açık kozalak sayısı, serotin (kapalı) kozalak sayısı, serotiniclik oranı (serotin kozalak sayısı/toplam kozalak sayısı) ve en yaşlı serotin kozalağın yaşı değişkenleri elde edilmiştir. Birey düzeyinde elde edilen serotiniclik değerleri, her bir parsel, alan ve bölge için ortalama serotiniclik oranının belirlenmesinde kullanılmıştır.



Şekil 3.2. Kızılçam'da dürbün ile kozalak sayımı (Fotoğraf: Cihan Ünal Değirmenci).

3.3. Veri Analizi

Çalışma bölgelerinin ($n = 2$), yüksekliğin (yangın rejimi kuşağının) ($n = 2$) ve alanların ($n = 8$) serotinic karakteri üzerine etkisi, doğrusal model ile test edilmiştir. Bu analizde, her bir parselde incelenmiş olan Kızılçam bireylerinin ($n = 30$) açık ve kapalı kozalak sayılarından birey başı serotinic oranları (%) elde edilmiştir. Bu nedenle analiz normal dağılım temel alınarak yapılmıştır. Serotinic karakterini tanımlayan ikinci bir değişken olan en yaşlı serotinic kozalak yaşı üzerine çalışma bölgelerinin, yüksekliğin ve alanların etkisi de Poisson dağılımı temel alınarak genelleştirilmiş doğrusal model ile test edilmiştir. Her iki değişkeni içeren modellerde çalışma bölgesi, denizden yükseklik (yangın rejimi kuşağı) ve alan sabit faktör olarak ele alınmıştır. Çalışma bölgesi, yükseklik, alan, parsel ve bireylere ait doğrusal modellerin varyans ayrışımı varyans bileşenler analizi ile gerçekleştirilmiştir.

Benzer bir yaklaşımla, alanlardaki Kızılçam meşcerelerinde görülen serotinic oranı ve en yaşlı serotinic kozalak yaşı karakterlerinin iklimsel koşullardan nasıl etkilendiği de araştırılmıştır. Bunun için öncelikle iklimsel değişkenler ve coğrafi özellikler arasındaki ilişkiler Pearson korelasyon analizi ile belirlenmiştir. Birbiri ile yüksek derecede ilişkili olduğu belirlenen faktörlerden yalnızca birisi seçilerek model analizlerine dâhil edilmiş, diğerleri ise analiz dışında bırakılmıştır. Bu sayede, serotinic oranı (%) ve en yaşlı serotinic kozalak yaşı karakterleri için yıllık ortalama sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$), yıllık toplam yağış (mm), gerçek evapotranspirasyon (mm), yangın döngüsü (yıl), net birincil verimlilik ve kurak dönem yağış (mm) değişkenleri doğrusal model analizlerine dâhil edilmiştir. Serotinic oranı (%) ve en yaşlı serotinic kozalak yaşı için normal dağılıma dayalı doğrusal model kullanılmıştır. Bu analizde, serotinic oranı (%) ve en yaşlı serotinic kozalak yaşı bağımlı değişken, her bir iklimsel değişken sabit etki olarak ele alınmıştır. Serotinic ve en yaşlı serotinic kozalak yaşı ile iklimsel değişkenler arasındaki ilişkiler, doğrusal regresyon grafikleri çizilerek görselleştirilmiştir. Aralarında birinci dereceden bir denklem ile ifade edilebilecek doğrusal bir ilişki olmayan fakat daha üst seviyeden denklemlerin daha iyi açıklayabildiği ilişkilerde, eğrisel regresyon analizi yapılmıştır. Eğrisel regresyon modelleri doğrusal regresyon modelleri ve farklı seviyelerden eğrisel regresyon modelleri ile karşılaştırılmış ve daha karmaşık olan model daha basit modele göre verinin değişkenliğini önemli ölçüde daha iyi bir şekilde açıklıyorsa, daha karmaşık model veriyi açıklamada tercih edilmiştir (Tavşanoğlu ve Gürkan, 2014). Çalışma bölgesi, denizden yükseklik, alan ve parsellerinin doğrusal model varyans ayrışımalarını tespit etmek için varyans bileşenler analizi kullanılmıştır.

Serotinitik oranı ve en yaşlı serotinitik kozalak yaşının alan ortalamalarının kullanılarak yapıldığı analizler ile belirlenemeyen olası ilişkilerin tespiti ve iklimsel şartlar ile serotinitik oranı ve en yaşlı serotinitik kozalak yaşları arasındaki ilişkileri farklı açılardan ele almak adına iki ek yaklaşım daha denenmiştir. Bunlardan biri, her iki özelliğe ait ölçümlerin kullanılarak temel birleşen analizi yapılması ile en yüksek açıklayıcı varyansa sahip olan birincil bileşeni (PC1) serotinitik indeksi (EK 1) olarak ele alınarak tüm doğrusal ve genelleştirilmiş doğrusal modellerin tekrarlanmasıdır. Bir diğer yaklaşımda, serotinitik oranı ve en yaşlı serotinitik kozalak yaşları karakterleri için eşik değerler belirleyerek, bu eşik değerlerin üzerinde olan değerler ile tüm analizlerin tekrarlanmasıdır. Burada, serotinitik oranı için %10 ve %16 değerleri ve en yaşlı serotinitik kozalak yaşları için ise 2 yaş değeri eşik olarak belirlenmiştir. Eşik değerlerin belirlenmesi için öncesinde verilere ait histogram grafikleri ve veri dağılımları incelenmiştir. Böylece, ikinci yaklaşım için oluşturulan veri setleri ile bölgeler, yangın rejimi kuşakları ve alanlar arasındaki ilişkiler ile iklimsel değişkenler arasındaki ilişkiler normal dağılıma dayalı doğrusal modeller ile test edilmiştir. Bu iki yaklaşım sonunda elde edilen sonuçlar ham veriler ile elde ettiğimiz sonuçlardan farklı bir bilgi sağlamadığı için burada yer almamaktadırlar.

Bölge ve yangın rejiminin serotinitik oranı (%), en yaşlı serotinitik kozalak yaşları (Serotinitik yaşları) ve serotinitik indeksi üzerindeki etkisinin tespiti için iki yönlü doğrusal model analizi kullanılmıştır. Analizler öncesi tüm ham veriler normal dağılım için Shapiro-Wilk testi ile sınanmıştır. Normal dağılım göstermeyen veriler uygun normal dağılım dönüşümleri ile olabildiğince normale yaklaştırılarak analize alınmıştır. Bu çalışmada kullanılan tüm istatistiksel analizler R istatistik programı ile yapılmıştır (R Core Team 2019).

3.4. Bulgular

Çalışmada incelenen Kızılçam popülasyonlarında, serotinitik oranının birey düzeyinde değişkenlik gösterdiği (% 0 - % 63.9) ve ortalama % 11.2 olduğu tespit edilmiştir. Kızılçam bireylerinin % 5.5'inin hiçbir serotin kozalağa sahip olmadığı, bireylerin %50'sinin % 8.5'ten, %75'inin ise %15.4'ten daha az oranda kapalı kozalağa sahip olduğu görülmüştür (Şekil 3.3). Dolayısıyla, Kızılçam'da serotinitik oranı sağdan çarpık bir dağılım gösterdiği (çarpıklık = 1.62), Muğla ve Kaş bölgelerindeki bireylerde serotinitik oranı dağılımının benzer çarpıklığa sahip olduğu (sırası ile çarpıklık; 1.58 ve 1.62) tespit edilmiştir ($P = 1.0$; Şekil 3.2, 3.4.).

En yaşlı serotinitik kozalak yaşının birey düzeyinde 1 ile 6 yıl (kozalakların gerçek yaşı; 3 ile 8) arasında değiştiği ve tüm çalışma alanına ait ortalamasının 2.31 olduğu tespit edilmiştir. Sadece bir bireyde en yaşlı serotinitik kozalak yaşı "0" iken, bireylerin %72.5'inde 1 ve 2 yıllık, % 27.3'ünde ise 2 yıldan büyük serotinitik kozalakların var olduğu görülmüştür (Şekil 3.4). Kızılçam'da en yaşlı serotinitik kozalak yaşının sağdan çarpık bir dağılım gösterdiği bulunmuş (çarpıklık = 1.31) ve Muğla ve Kaş bölgelerinin bireylerine ait en yaşlı serotinitik kozalak yaşı dağılımında istatistiksel olarak anlamlı bir fark (sırası ile çarpıklık; 0.93 ve 1.16) tespit edilmiştir ($P < 0.0001$; Şekil 3.5, 3.6).

Serotinitik oranında var olan değişkenliği en çok açıklayan ölçüğün birey düzeyi olduğu (%29), bölge, yangın rejimi kuşağı, alan ve parsel ölçüklerinin ise benzer oranda (%17) katkı verdiği anlaşılmıştır (Şekil 3.7). En yaşlı serotinitik kozalak yaşına ait değişkenlik ise bölge, yangın rejimi kuşağı, alan ve parsel ölçüklerinin herbirinde %24 olarak açıklanmıştır. Bu durum, serotinitik oranındaki değişkenliğin ağırlıklı olarak bireylerin sahip olduğu kapalı kozalak miktarlarındaki çeşitlilikten kaynaklandığını göstermektedir.

Serotinitik oranı (%) çeşitlilik farkının Muğla ve Kaş bölgeleri arasında istatistiksel olarak anlamlı olduğu ($P = 0.045$), yangın rejimi kuşakları arasında ise anlamlı olmadığı ($P = 0.24$) belirlenmiştir. Bölgelere ait yangın rejimi kuşakları serotinitik oranı (%) değişkenliği açısından karşılaştırıldığında ise aralarındaki farkın oldukça yüksek olduğu ($P = 0.00087$) gösterilmiştir (Şekil 3.8). En yaşlı serotinitik kozalak yaşı değişkenliğinin bölgeler ($P = 0.0002$), yangın rejimi ($P < 0.0001$) ve ikisinin etkileşimi ile ($P < 0.0001$) anlamlı olarak ilişkili olduğu tespit edilmiştir (Şekil 3.8).

Serotinitik karakterlerini açıklayan ortam faktörlerinin incelenmesi için yapılan analizlerden önce, analize katılan değişkenlerin birbirleri arasında ilişki olup olmadığı incelenmiştir. Buna göre, çalışma bölgesinde kurak dönem ortalama sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$), yıllık ortalama sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$),

potansiyel evapotranspirasyon ve gerçek evapotranspirasyon değişkenlerinin birbirleri ile; gerçek evapotranspirasyon, yıllık toplam yağış (mm) ve kuraklık indeksi değişkenlerinin birbirleri ile; net birincil verimlilik, kurak dönem ve yıllık toplam yağış oranı, deniz seviyesinden yükseklik (m) ve kuru dönem yağışı (mm) değişkenlerinin birbirleri ile yüksek derecede korelasyona sahip oldukları tespit edilmiştir (Şekil.3.9). Yangın döngüsü (yıl) değişkeninin hiçbir değişken ile bir ilişkisi bulunmamıştır. Bu nedenle bölge, yangın rejimi, alan ve parselleri ile bu değişkenler arasındaki ilişkiler araştırılırken, yukarıda değinilen her bir korelasyon grubunu temsil eden bir değişken seçilmiştir. Buna göre, yıllık ortalama sıcaklık (°C), yıllık toplam yağış (mm), gerçek evapotranspirasyon (mm), yangın döngüsü (yıl), net birincil verimlilik ve kurak dönem yağışı (mm) analize alınmıştır.

Bölge ve yangın rejimi kuşağının tüm çalışma alanına ait serotunluk oranı (%) üzerinde bir etkisine rastlanmamışken, bölge-yangın rejimi kuşağı etkileşimi ile serotunluk oranı arasında ilişki belirlenmiştir. Bölge-yangın rejimi kuşağı etkileşiminin serotunluk oranı üzerine etkisinin %78 açıklayıcılığa sahip Muğla yangın rejimi kuşağının etkisinden dolayı gerçekleştiği tahmin edilmektedir (Çizelge 3.1). Benzer şekilde Muğla bölgesine ait en yaşlı serotunlu kozalak yaşı %84 ile yangın rejimi kuşağı tarafından açıklanabilmektedir. Tüm çalışma bölgesindeki en yaşlı serotunlu kozalak yaşı, bölge (%19), yangın rejimim kuşağı (%28) ve bölge-yangın rejimi kuşağı etkileşimi (%82) ile açıklanabilmektedir. Kaş bölgesi serotunluk oranı (%) ve en yaşlı serotunlu kozalak yaşı ile bölge ve yangın rejimlerini belirgin bir ilişkisine rastlanamamıştır (Çizelge 3.1). Tüm çalışma bölgesinde serotunluk oranında (%) sadece %33 açıklayıcılıkla yıllık yağışın etkisi olduğu görülmektedir. Kaş'ta hiçbir iklimsel değişkenin serotunluk oranı (%) ile ilişkisi tespit edilememiştir. Muğla bölgesinde ise yıllık ortalama sıcaklık (%81) yıllık toplam yağış (%38), gerçek evapotranspirasyon (%37) ve kurak dönem yağışının (%83) serotunluk oranı (%) ile ilişkili olduğu belirlenmiştir (Çizelge 3.2.).

En yaşlı serotunlu kozalak yaşına tüm çalışma bölgesinde, %25 açıklayıcılık ile yıllık ortalama sıcaklığın ve %28 açıklayıcılık ile gerçek evapotranspirasyonun etkisi olduğu belirlenmiştir. Kaş bölgesinde serotunluk oranında görüldüğü gibi en yaşlı serotunlu kozalak yaşını da etkileyen iklimsel faktörler belirlenememiştir. Muğla'da ise %86 açıklayıcılık ile yıllık ortalama sıcaklığın, %56 açıklayıcılık ile gerçek evapotranspirasyonun ve %85 açıklayıcılık ile kurak dönem yağışın en yaşlı serotunlu kozalak yaşına etkisi olduğu tespit edilmiştir.

Tüm çalışma bölgesi ve bölgeler ölçeğinde, iklimsel değişkenlerin bölge, yangın rejimi kuşağı ve bölge-yangın rejimi etkileşimi ile birlikte serotunluk oranı (%) ve en yaşlı serotunlu kozalak

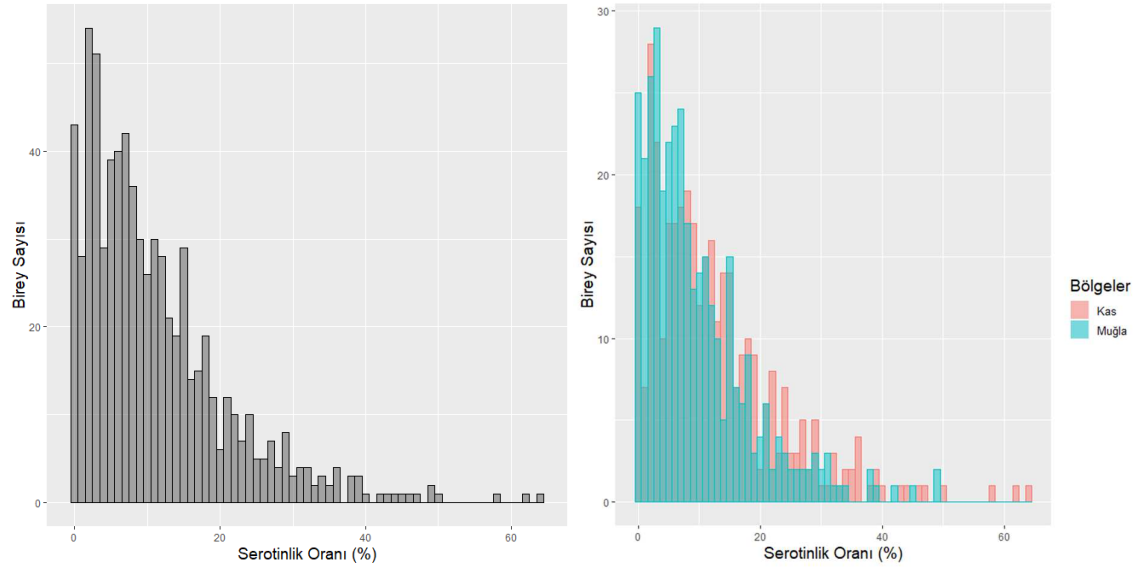
yaşı üzerine etkileri incelenmiştir. Çalışma bölgesi ölçeğinde, serotinitik oranı üzerinde, bölge etkileşimi ile beraber; yıllık ortalama sıcaklığın (%54) pozitif, yıllık toplam yağış (%35), gerçek evapotranspirasyon (%35) ve kurak dönem yağışın (%55) ise negatif etkisi olduğu belirlenmiştir (Şekil 3.10, EK 2). Serotinitik oranına (%) ait bu ilişkilere yangın rejimi kuşaklarının etkisi de eklenince açıklayıcılıkları yükselmektedir (EK 2). Kaş bölgesinde serotinitik oranı (%) ile hiçbir iklimsel değişken ve yangın rejimi kuşağı etkileşimi arasında anlamlı bir ilişkiye rastlanılmamıştır (EK 2). Muğla bölgesinde, iklimsel değişkenlerin yangın rejimi kuşağı etkileşimleri ile beraber serotinitik oranı ilişkileri incelendiğinde, yıllık ortalama sıcaklık (%84), gerçek evapotranspirasyon (%84) ve net birincil üretimi (%79) ile pozitif, yıllık toplam yağış (%86), yangın döngüsü (%82) ve kurak dönem yağışı (%86) ile negatif ilişki tespit edilmiştir (EK 2). Tüm çalışma alanında iklimsel faktörler ve bölge- yangın rejimi kuşağı etkileşiminde serotinitik oranı ile bulunan ilişkilerden, yıllık ortalama sıcaklık, yıllık toplam yağış ve kurak dönem yağışın Muğla'daki daha güçlü olan iklim- yangın rejimi kuşağı ilişkilerinden kaynaklandığı görülmektedir.

Tüm çalışma alanına ait en yaşlı serotinitik kozalak yaşı üzerine bölgesel etkileşim ile beraber, yıllık ortalama sıcaklığın (%83), yıllık toplam yağışın (% 37), gerçek evapotranspirasyonun (%61) ve net birincil verimliliğin (%32) pozitif, kurak dönem yağışının (%82) ise negatif etkisi olduğu gösterilmiştir (Şekil 3.11, EK 2). Bu iklimsel değişkenlerin bölge- yangın rejimi etkileşimi ile en yaşlı serotinitik kozalak yaşı üzerine etkisi incelendiğinde ilişki yönünde değişme olmadan açıklayıcılık oranlarının %80 'nin üzerine çıktığı belirlenmiştir (EK 2). Muğla bölgesinde en yüksek serotinitik kozalak yaşı üzerinde, yangın rejimi kuşaklarının etkileşimi ile beraber yıllık ortalama sıcaklık (%87), gerçek evapotranspirasyon (%84) ve net birincil verimliliği (%85) ile pozitif, yıllık toplam yağış (%84), yangın öngüsü (%84) ve kurak dönem yağış ile negatif etkisi olduğu tespit edilmiştir.

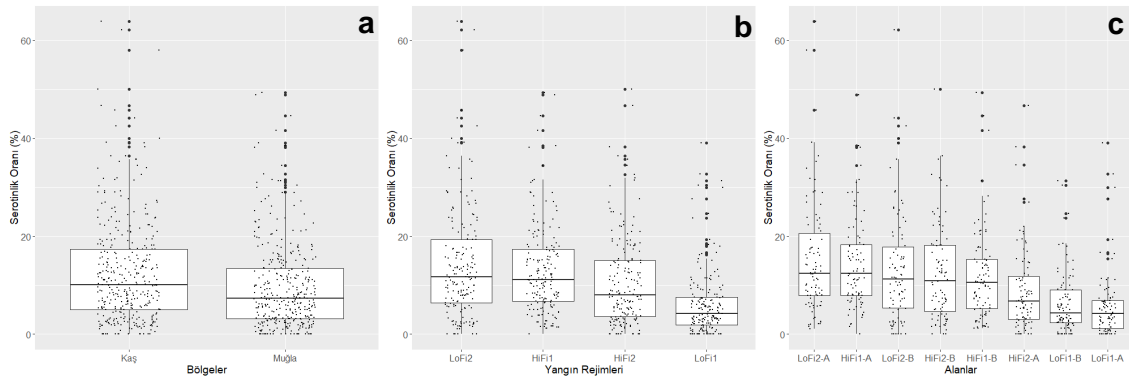
Kurak dönem yağışları ve gerçek evapotranspirasyonun serotinitik oranı (%) ve en yaşlı serotinitik kozalak yaşı arasında tespit edilen ilişkileri daha yüksek seviyede eğrisel modellerin daha iyi açıkladığı görülmüştür (Şekil 3.12). Tüm çalışma bölgesinde en yaşlı serotinitik kozalak yaşı ile her iki iklimsel değişken arasında, serotinitik oranı (%) ile sadece kurak dönem yağışı arasında doğrusal olmayan bir ilişki olduğu tespit edilmiştir.

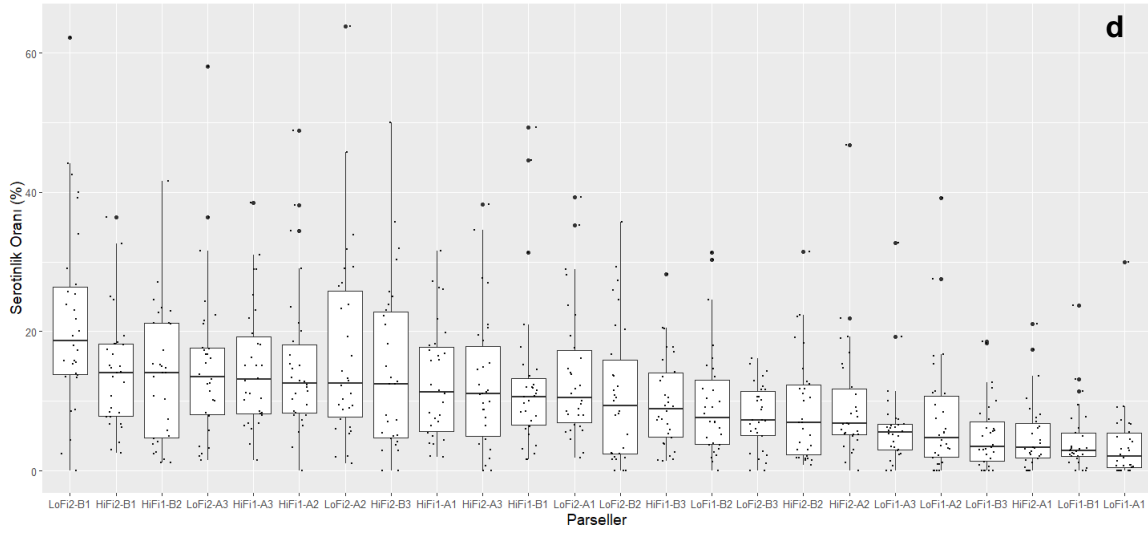
Serotinitik oranı (%) ile en yaşlı serotinitik kozalak yaşının tüm çalışma bölgesi ölçeğinde birbirleri ile ilişkisi olduğu belirlenmiştir (Şekil 3.13.). Tespit edilen bu pozitif ilişkinin en yüksek açıklayıcılığı %87 olup, bölge ve yangın rejimi kuşağı etkileşiminin etkisi ile elde edilmiştir. Muğla bölgesinde ise en yaşlı serotinitik kozalak yaşının yangın rejimi etkileşimi ile serotinitik

oranı üzerine etkisini açıklayıcılığı %90 olarak tespit edilmiştir (EK 3). Kaş bölgesinde ise serotinitik oranı ve en yaşlı serotinitik kozalak yaşı arasında istatistiksel olarak anlamlı herhangi bir ilişki belirlenmemiştir (EK 3).

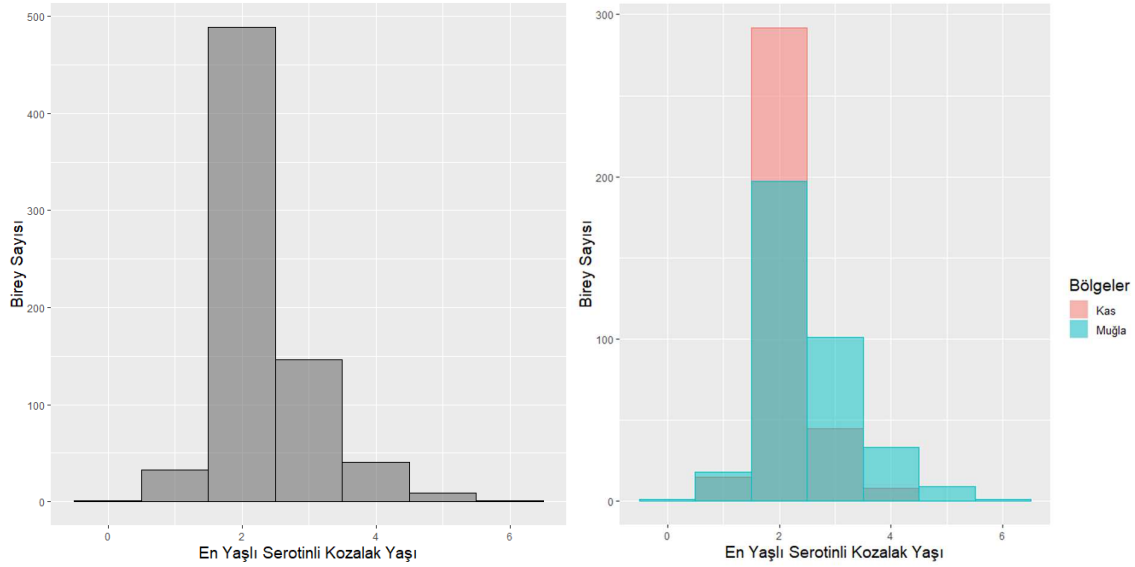


Şekil 3.3. Kızılçam'da serotinitik oranının (%) farklı alansal ölçeklerde bireyler arası değişkenliği. Soldaki gri grafik tüm veriler, renkli grafikler ise bölgesel ölçekteki (Kaş ve Muğla) veriler kullanılarak çizilmiştir.

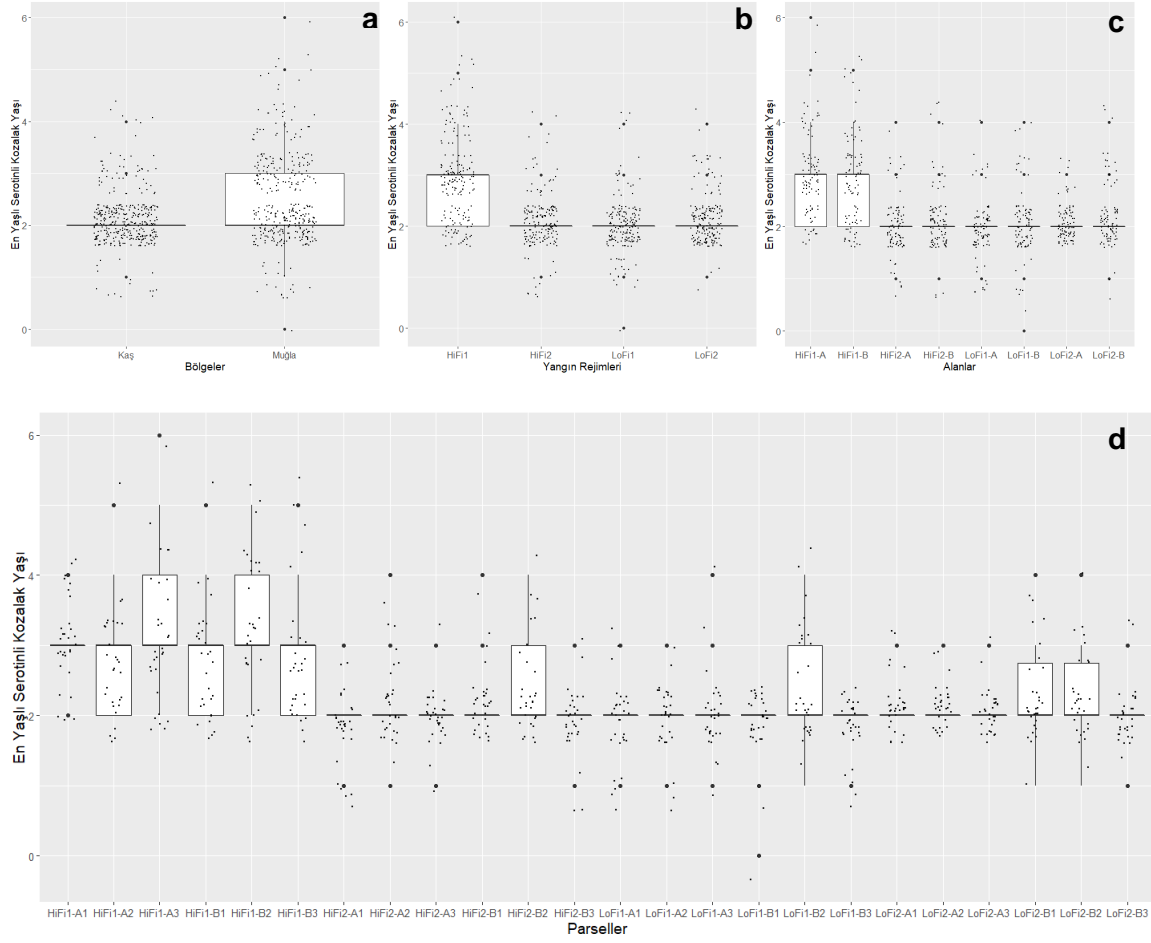




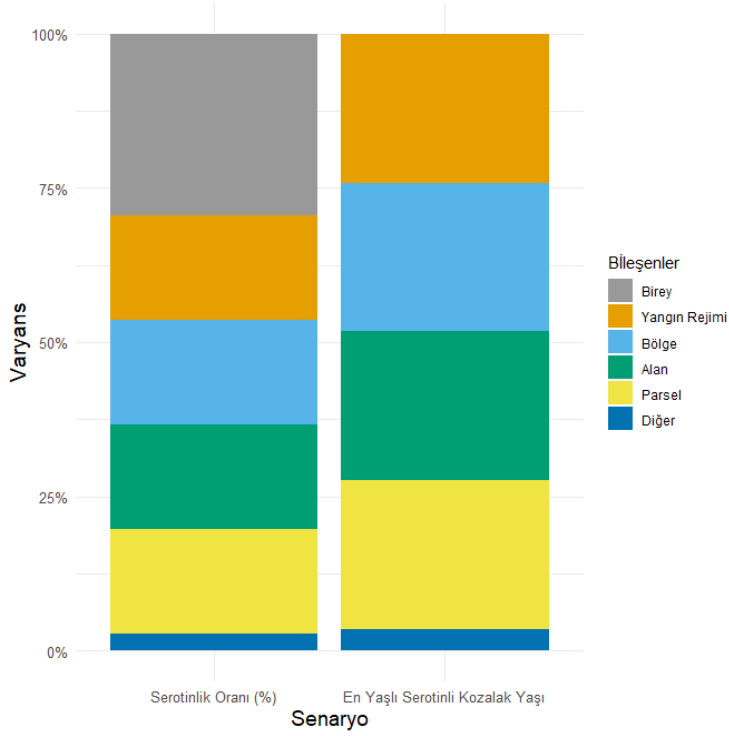
Şekil 3.4. Kızılcım’da serotinlik oranının (%) farklı alansal ölçeklerde değışkenliği. Grfikte bölge (a), yangın rejim kuşaağı (b), alan (c) ve parsel (d) ölçeklerinde bireylerin serotinlik oranı (%) değerlerinin dağılımı verilmiştir. Grafikteki her bir nokta bir Kızılcım bireyini temsil etmektedir. Grafiklerde kategoriler, medyan serotinlik oranı (%) değerlerine göre sıralanmıştır.



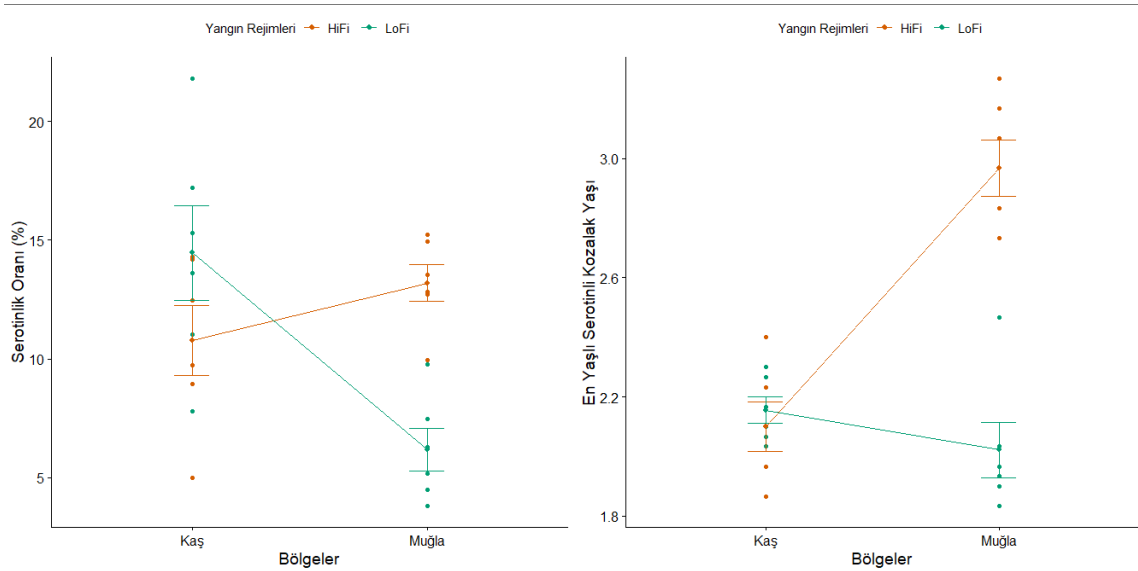
Şekil 3.5. Kızılcım’da en yaşlı serotimli kozalak yaşının farklı alansal ölçeklerdeki bireyler arası değışkenliği. Soldaki gri grafik genel veriler, renkli grafikler bölgesel ölçekteki (Muğla ve Kaş) veriler kullanılarak çizilmiştir.



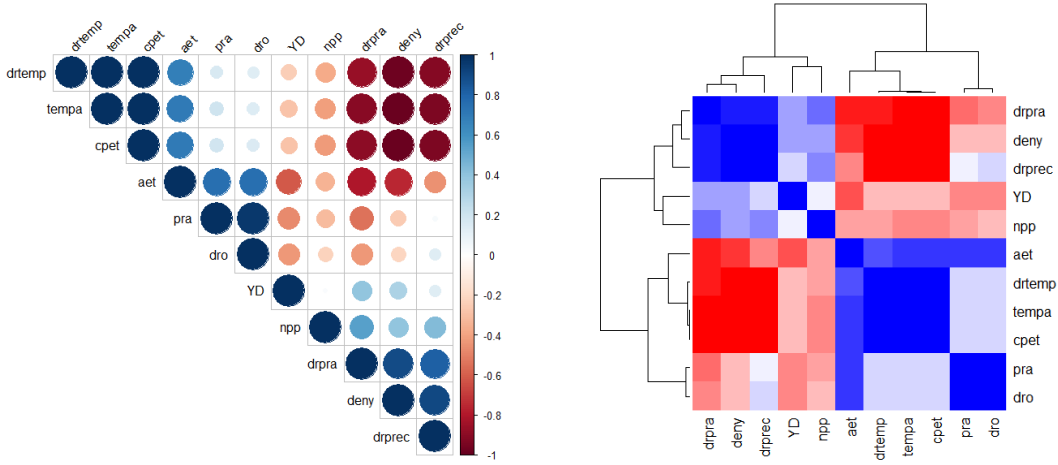
Şekil 3.6. Kızılçam'da en yaşlı serotinli kozalak yaşının farklı alansal ölçeklerdeki değişkenliği. Bölgesel (a), yangın rejimi kuşağı (b), alan (c) ve parsel (d) ölçeklerinde bireylerin en yaşlı serotinli kozalak yaş değerleri verilmiştir. Her nokta bir *P. brutia* bireyini temsil eder. Grafiklerde kategoriler, ortalama en yaşlı serotinli kozalak yaşına göre sıralanmıştır.



Şekil 3.7. Serotinitik oranı (%) ve en yaşlı serotinitik kozalak yaşı değişkenliğine farklı ölçeklerin nispi katkısını gösteren doğrusal modellerin varyans ayrışmasının özeti. Her renk, verilen özellik için varyansı açıklamak üzere bileşenlerin nispi katkısını gösterir. Açıklanamayan varyans da verilmiştir ("within").



Şekil 3.8. Bölge ve yangın rejimi kuşağının serotinitik oranı (%) ve en yaşlı serotinitik kozalak yaşına etkisinin iki yönlü analizinin grafiksel gösterimi.



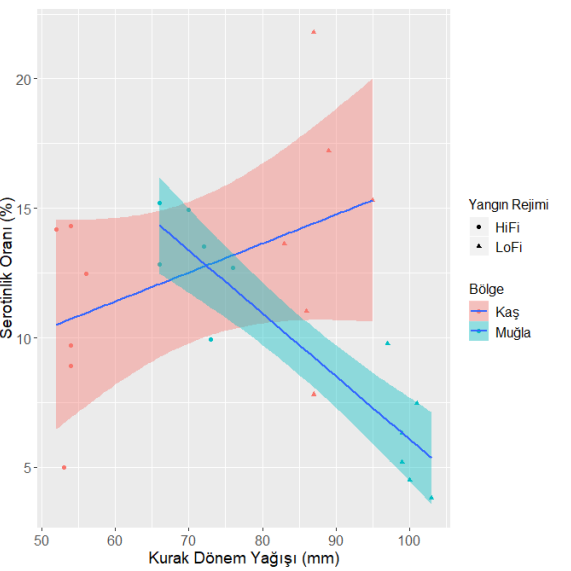
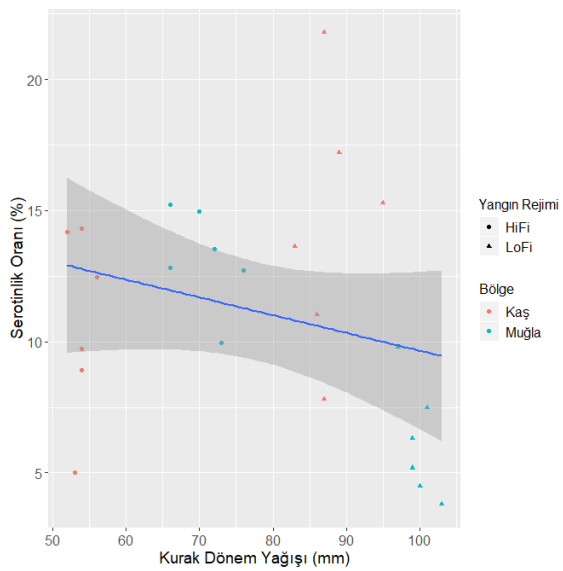
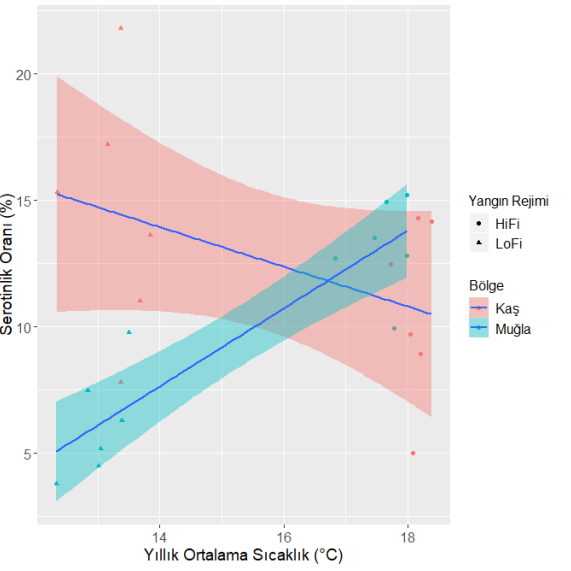
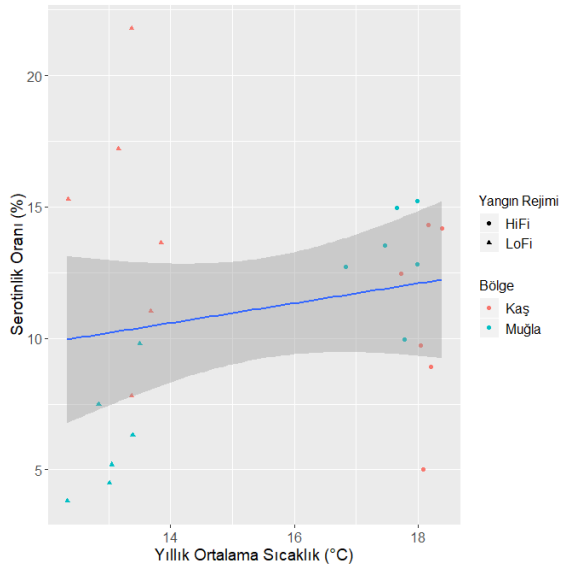
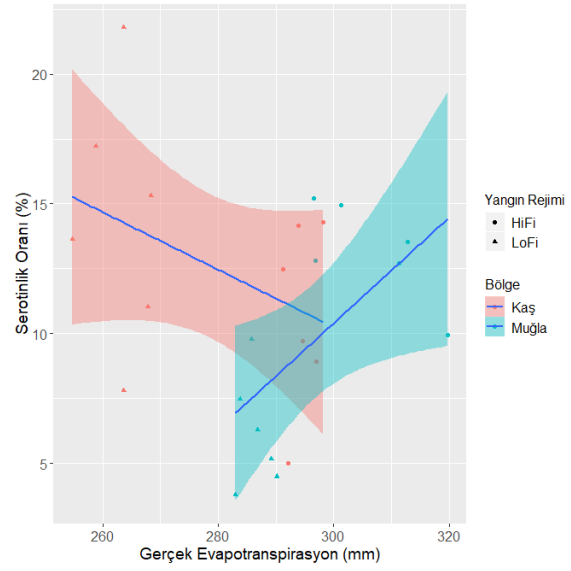
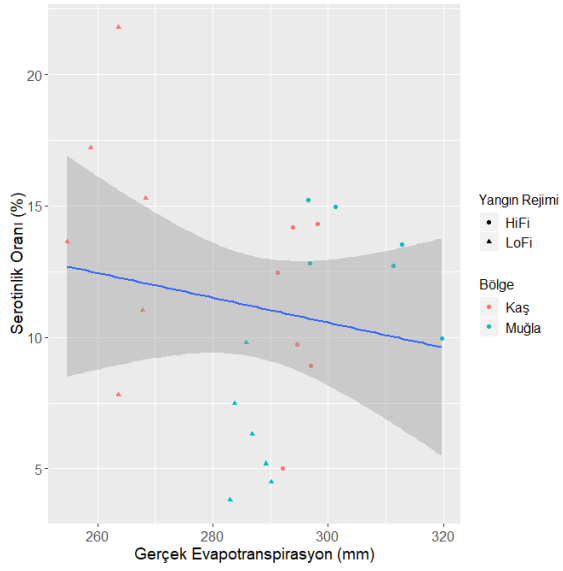
Şekil 3.9. Araştırmaya dâhil edilen bağımlı değişkenler arasındaki ilişkilerin korelogram ve ısı haritası ile gösterimi. Değişken çiftleri arasındaki negatif ve pozitif korelasyonlar sırasıyla kırmızı ve mavi olarak verilmiştir. Dairelerin boyutu ve renklerin koyuluğu, değişken çiftleri arasındaki korelasyonun derecesini göstermektedir (daha büyük ve daha koyu renkli daireler yüksek korelasyon, daha küçük ve daha açık olanları düşük korelasyon). drtemp: kurak dönem ortalama sıcaklık (°C), tempa: yıllık ortalama sıcaklık (°C), cpet: potansiyel evapotranspirasyon, aet: gerçek evapotranspirasyon, pra: yıllık toplam yağış (mm), dro: kuraklık indeksi, YD: yangın döngüsü (yıl), npp: net birincil verimlilik, drpra: kurak dönem yağışının yıllık yağışa oranı, deny: deniz seviyesinden yükseklik (mt), drprec: kuru dönem yağış (mm).

Çizelge 3.1. Bölge ve yangın rejimi kuşaklarının serotinitik oranı (%) ve maksimum kozalak yaşı üzerindeki etkisini test eden doğrusal model analizlerinin özeti. Analizde, her bir faktörün ya da faktör etkileşimlerinin yer aldığı model bir olabilirlik oran testi (likelihood ratio test) kullanılarak boş modelle karşılaştırılmıştır. Her bir modelin, AIC, R² ve P değerleri verilmiştir. Anlamlı P değerleri (< 0.05) koyu renkte verilmiştir. Ayrıntılı sonuçlar EK 2’de verilmiştir.

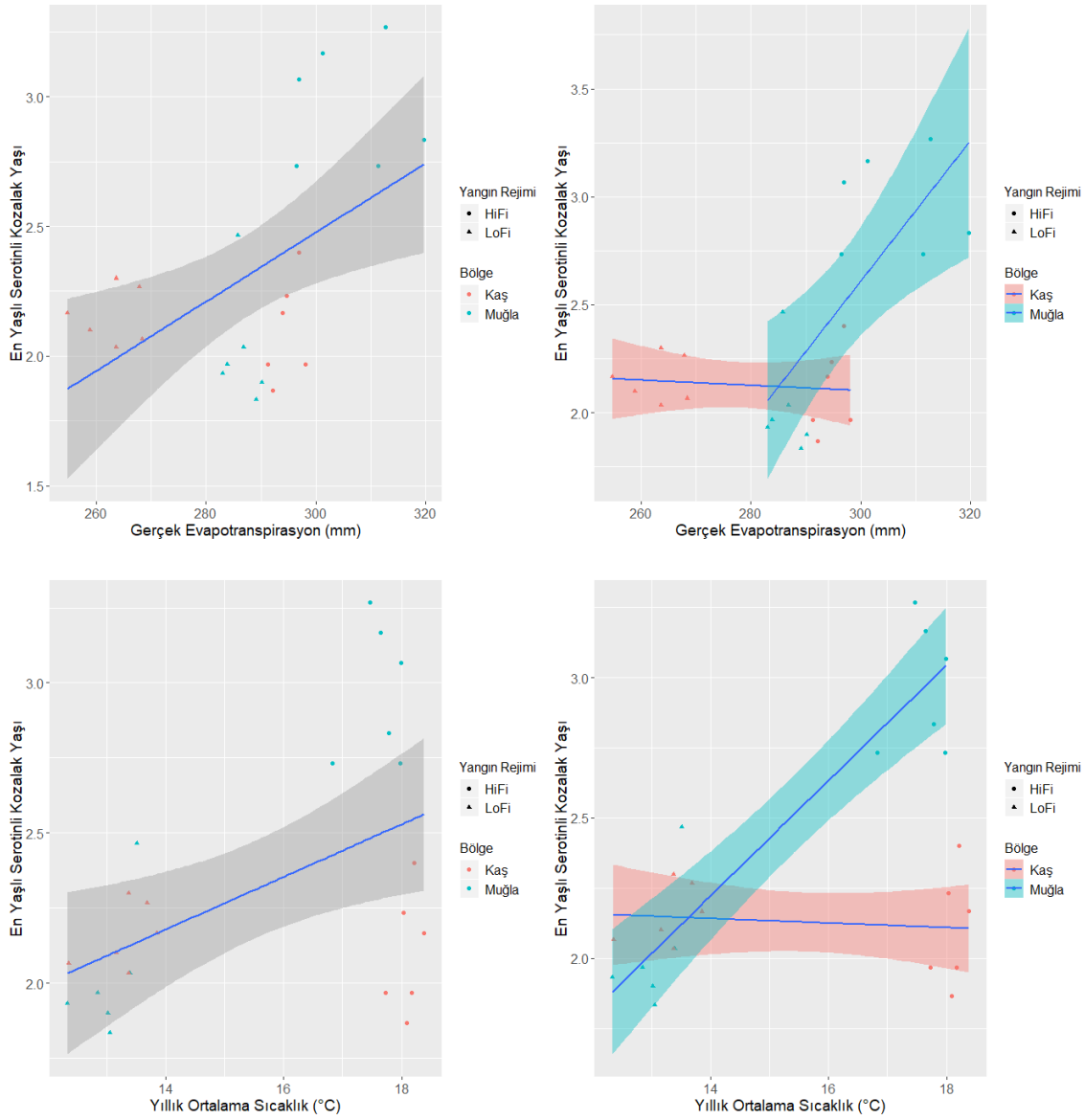
Serotinitik Oranı (%)	Kaş			Muğla			Tüm Çalışma Bölgesi		
	AIC	R ²	P	AIC	R ²	P	AIC	R ²	P
boş model	73.18			71.21			143.28		
Bölge	-	-	-	-	-	-	142.47	0.111	0.113
Yangın Rejimi	72.77	0.182	0.166	55.18	0.777	< 0.0001	144.41	0.036	0.377
Bölge*Yangın Rejimi	-	-	-	-	-	-	131.89	0.516	0.002
En Yaşlı Serotinitik Kozalak Yaşı	AIC	R²	P	AIC	R²	P	AIC	R²	P
boş model	-7.44			22.2			30.73		
Bölge	-	-	-	-	-	-	27.71	0.189	0.034
Yangın Rejimi	-5.86	0.034	0.565	2.52	0.836	< 0.0001	24.94	0.277	0.008
Bölge*Yangın Rejimi	-	-	-	-	-	-	-3.9	0.816	< 0.0001

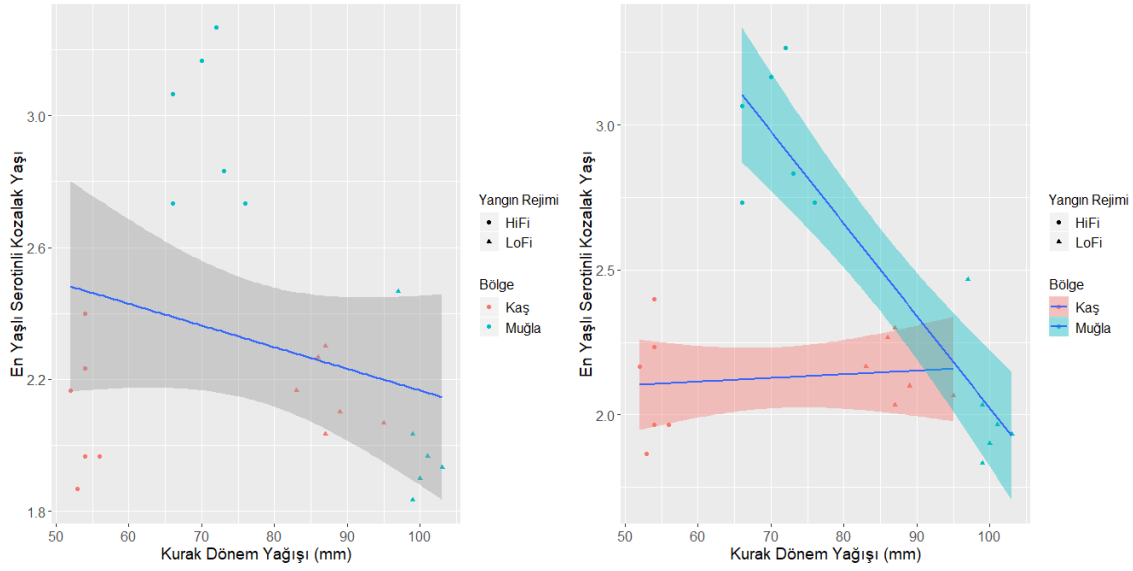
Çizelge 3.2. Bağımlı değişkenlerin serotinitik oranı (%) ve en yaşlı serotinitik kozalak yaşı üzerindeki etkisini test eden doğrusal model analizlerinin özeti. Analizde, her faktörün yer aldığı model bir olabilirlik oran testi (likelihood ratio test) kullanılarak boş modelle karşılaştırılmıştır. Her modelin AIC, R² ve P değerleri verilmiştir. Anlamlı P değerleri (<0.05) koyu renkte verilmiştir. 0,001'den küçük R2 değerleri “~ 0” olarak verilmiştir. T_{mean}: yıllık ortalama sıcaklık (°C), P_{ann}: yıllık toplam yağış (mm), AET: gerçek evapotranspirasyon (mm), YD: yangın döngüsü (yıl), NPP: net birincil verimlilik, P_{dry}: kurak dönem yağış (mm).

Serotinitik Oranı (%)	Kaş			Muğla			Tüm Çalışma Bölgesi		
	AIC	R ²	P	AIC	R ²	P	AIC	R ²	P
T _{mean}	72.59	0.194	0.151	53.06	0.814	< 0.0001	144.26	0.042	0.339
P _{ann}	72.78	0.182	0.167	67.44	0.382	0.032	135.83	0.326	0.004
AET	72.88	0.174	0.177	67.68	0.369	0.036	144.49	0.033	0.399
YD	73.68	0.118	0.275	70.7	0.189	0.158	142.95	0.093	0.148
NPP	75.17	~ 0	0.916	71.06	0.164	0.191	145.28	~ 0	0.968
P _{dry}	72.53	0.198	0.147	51.66	0.834	< 0.0001	143.45	0.074	0.2
En Yaşlı Serotinitik Kozalak Yaşı	AIC	R²	P	AIC	R²	P	AIC	R²	P
T _{mean}	-5.65	0.017	0.687	0.774	0.858	< 0.0001	25.98	0.245	0.014
P _{ann}	-6.36	0.073	0.395	21.06	0.23	0.114	32.58	0.006	0.722
AET	-5.65	0.017	0.684	14.37	0.559	0.005	24.8	0.281	0.008
YD	-5.66	0.018	0.679	22.15	0.157	0.203	31.77	0.039	0.354
NPP	-5.7	0.021	0.65	21.83	0.179	0.17	32.63	0.004	0.77
P _{dry}	-5.7	0.021	0.651	1.71	0.846	< 0.0001	30.84	0.076	0.193

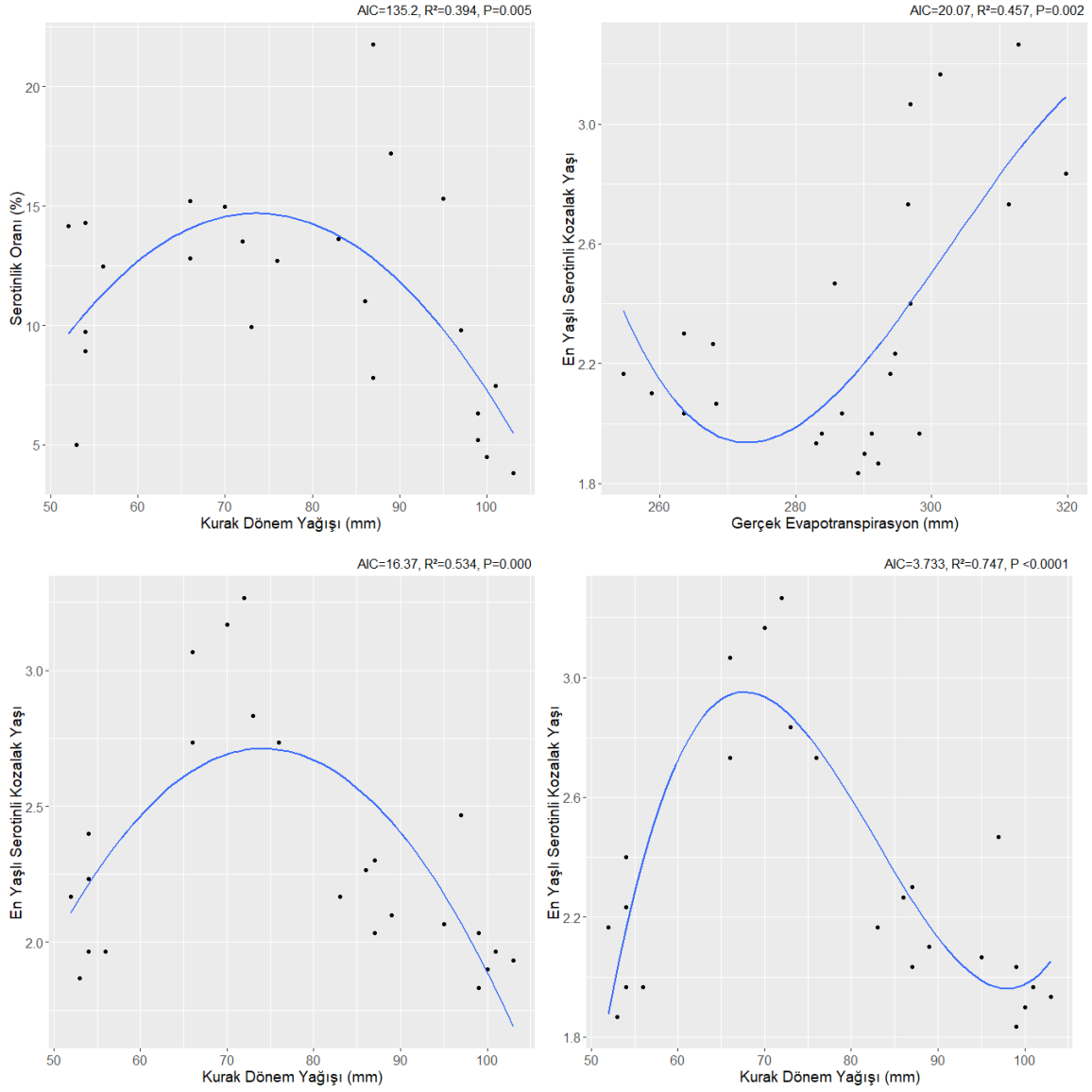


Şekil 3.10. Serotinitik oranı (%) ve bağımlı değişkenler arasındaki ilişkilerin özeti. Doğrusal çizgiler, tüm çalışma bölgesi ve bölge seviyelerinde doğrusal regresyon analizinin sonucunu temsil etmektedir. Yalnızca anlamlı modellerin grafikleri sunulmuştur. Her nokta, bir parselin ortalama değerini temsil etmektedir. Noktaların bölgeleri ve yangın rejim kuşakları sırasıyla ayrı renklerde (Kaş: kırmızı, Muğla: mavi) ve şekillerde (HiFi: daire, LoFi: üçgen) verilmiştir.

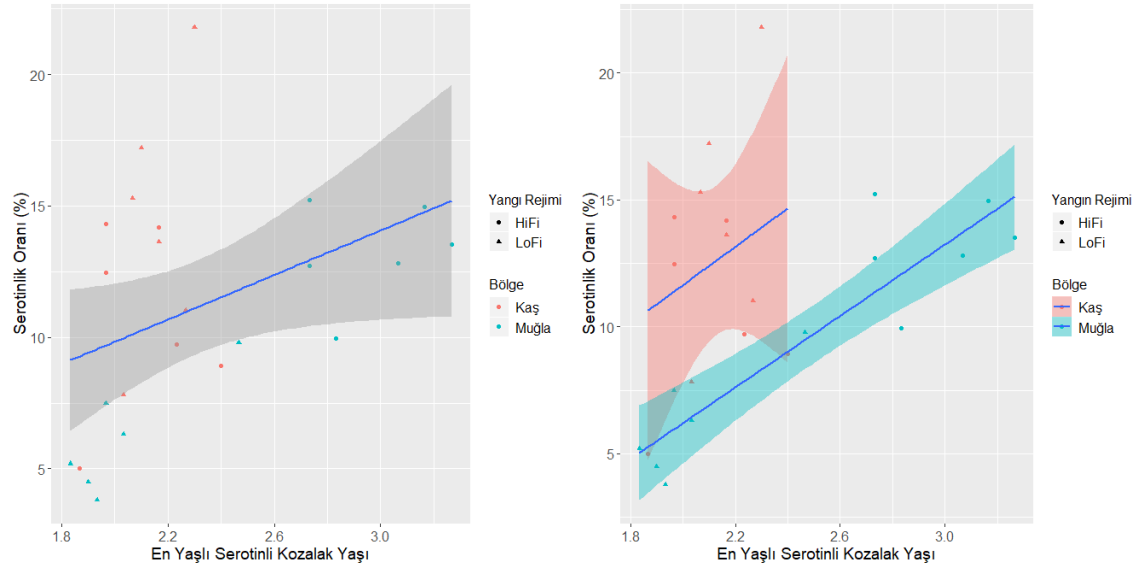




Şekil 3.11. En yaşlı serotinli kozalak yaşı ile bağımlı değişkenler arasındaki ilişkilerin özeti. Doğrusal çizgiler, tüm çalışma bölgesi ve bölge seviyelerinde doğrusal regresyon analizinin sonucunu temsil etmektedir. Yalnızca anlamlı modellerin grafikleri sunulmuştur. Her nokta, bir parselin ortalama değerini temsil etmektedir. Noktaların bölgeleri ve yangın rejim kuşakları sırasıyla ayrı renklerle (Kaş: kırmızı, Muğla: mavi) ve şekillerle (HiFi: daire, LoFi: üçgen) verilmiştir.



Şekil 3.12. Serotinitik oranı (%), en yaşlı serotinitik kozalak yaşı ve bağımlı değişkenler (Kurak dönem yağış ve Gerçek evapotranspirasyon) arasındaki ilişkilerin özet grafikleri. Mavi çizgiler, eğrisel regresyon analizinin sonucunu temsil etmektedir. Yalnızca eğrisel regresyon ihtimali bulunan modellerin grafikleri sunulmuştur. Her nokta, bir parselin ortalama değerini temsil etmektedir.



Şekil 3.13. Serotinitik oranı (%) ile en yaşlı serotinli kozalak yaşı arasındaki ilişkinin özet grafikleri. Doğrusal çizgiler, tüm çalışma bölgesi ve bölge seviyelerinde doğrusal regresyon analizinin sonucunu temsil etmektedir. Her nokta, bir parselin ortalama değerini temsil etmektedir. Noktaların bölgeleri ve yangın rejimi kuşakları sırasıyla ayrı renklerde (Kaş: kırmızı, Muğla: mavi) ve şekiller (HiFi: daire, LoFi: üçgen) olarak verilmiştir.

4. KIZILÇAM'DA KABUK KALINLIĞININ POPÜLASYONLAR ARASI DEĞİŞKENLİĞİ

4.1. Giriş

Kabuk, vasküler kambiyum dışındaki tüm dokuları ifade eden, bireyin dış etkenlerle ilk temasını sağlayan, türe bağlı olarak farklı doku tiplerini içeren, karmaşık anatomiye sahip önemli bir yapıdır. Genel olarak, korteks, ikincil floem ve fellodermi içeren iç kabuk, fellem ve ritidomdan oluşan dış kabuk olmak üzere ikiye ayrılmaktadır (Rosell vd., 2014). İç kabuk fotosentez ürünlerinin taşınımını, su ve diğer bileşiklerin depolanmasını ve yaraların kapanmasını (Romero ve Bolker, 2008; Jensen vd., 2012; Rosell ve Olsen, 2014), dış kabuk ise gövde için mekanik destek ve dış tehlikelerden (yangın , patojen, herbivor vb.) korunma (Rosell ve Olsen, 2014; Pausas 2015; Şekil 4.1) sağlamaktadır. Odunsu bitkiler arasında iç ve dış kabuk miktarı fonksiyonel etkilerine bağlı olarak değişebilmektedir (Rosell, 2016).



Şekil 4.1. Kızılçam dış kabuk yapısı (Fotoğraf: D. Deniz Kazancı)

Yangın sırasında ortaya çıkan yüksek sıcaklıkların ($> 60^{\circ}\text{C}$) vasküler kambiyumun ölümüne, ksilemde deformasyon sonucu hidrolik arızaların ortaya çıkmasına ve böylece birey için ölümcül etkiye sahip olabileceği bilinmektedir (Dickinson ve Johnson 2004; Michaletz ve Johnson 2007; Michaletz vd. 2012; Bär vd. 2018). Kalın kabuğun, yüksek sıcaklıktan etkilenebilecek bu dokularda zarar oluşması için gereken süreyi arttırdığı ve daha iyi koruma sağladığı tespit edilmiştir (Dickinson ve Johnson 2004, Pausas 2015).

Yangına dayanıklı türlerde bireyin, düşük yoğunluklu yangınlarda 5,9 mm'lik bir kabuğa, yüksek yoğunluklu yangınlarda ise en az 9,1 mm'lik bir kabuğa sahip olması, hayatta kalma ihtimalini %50 olmasını sağlamaktadır (Hoffmann vd., 2012). Buna ek olarak kabuk kalınlığı 15 mm'den büyük olan çamlarda kambiyumun, sıcaklığı 400 ° C'ye ulaşan örtü yangınlarında yaklaşık 3 dakikaya kadar korunabildiği belirlenmiştir (He vd., 2012). Kabuk kalınlığının bu koruyucu etkisinin gözlemlenebilmesi için bireyin belirli bir gövde boyutuna ve çapına ulaşması gerekmektedir (Hoffmann vd., 2012; Pausas, 2017).

Koruyucu etkisi nedeniyle kabuk kalınlığı yangınla ilişkili karakterlerden biri olarak kabul edilmektedir. Fakat türler ve biyomlar arasındaki kabuk kalınlık varyasyonunun yaklaşık %72'sinin gövde boyutu ile açıklanabildiği (Rosell, 2019), yangın da dahil olmak üzere çevresel faktörlerle açıklanacak çok az varyasyon kaldığını ileri süren çalışmalar da mevcuttur (Rosell, 2016). Ancak kalın kabuk, birçok açıdan maliyetli olması nedeni ile yalnızca kalınlıktaki küçük bir farkın sık ve düşük yoğunluklu yangınlara uyumluluğu sağlayabileceği ekosistemlerdeki bireylerde gelişmiş olma ihtimali yüksek görülmektedir (Pausas, 2015a). Ayrıca *Pinus* cinsinde kalın kabuğa (>15 mm) dair ilk bulguların düşük yoğunluklu örtü yangınlarının görüldüğü, yaklaşık 131 milyon yıl önceye tarihlenmesi (He vd., 2012), yangına eğilimli habitatlardaki kabuk kalınlığı varyasyonlarının farklı yangın rejimleriyle, özellikle örtü yangınları ile (Şekil 4.2) ilişkilendirilmesi, bu özelliğin önemli bir yangın uyarlanması olduğunu kanıtlamaktadır (Keeley ve Zedler, 1998; Pausas, 2015b).

Kabuk kalınlığı varyasyonunu tür içi değişkenliğini (*P. pinaster* - Tapias vd., 2004; *P. halepensis* - Martin-Sanz vd., 2019) ve bu değişkenliği etkileyen genetik ve çevresel faktörleri ile olası allometrik ilişkilerin tespiti için az sayıda çalışma yapılmıştır (Stephens ve Libby, 2006; Briand vd., 2014; Richardson vd., 2015). Fakat Kızılçam'da yangın ekolojisi perspektifi ile popülasyon içi ve popülasyonlar arası kabuk kalınlığı çeşitliliği üzerine yapılmış ayrıntılı bir çalışma bulunmamaktadır (ancak bakınız Arslan, 2013). Literatürdeki bu eksikliği gidermek amacı ile planlanan bu çalışmada bireylere ait ölçümlerin farklı alansal ölçeklerde iklimsel değişkenler ve diğer fenotipik karakteriler ile ilişkileri araştırılmıştır.



Şekil 4.2. Kızılcam’da örtü yangını etkisi (Fotoğraf: Çağatay Tavşanoğlu).

4.2. Yöntem

Bu çalışmada, örneklem tasarımı ve çalışma alanları ile bireylerinin seçimi, bu tezde yer alan Bölüm 2.2.’de belirtildiği şekilde gerçekleştirilmiştir. Örneklenen her bir bireyin kabuk kalınlığı ölçümleri, yerden 1,3 m yükseklikteki (standart göğüs hizası yüksekliği) gövde kısmından gerçekleştirilmiştir. Kızılcam kabuğunun girintili çıkıntılı bir yapıya sahip olması ve ince ve daha kalın iki kısmın birbiri ardına gelmesinden dolayı, kabuk kalınlığı ölçümleri ağaç gövde kabuğunun bir kalın (maksimum kabuk kalınlığı) bir de ince kısmından (minimum kabuk kalınlığı) olacak şekilde gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.3). Kabuk kalınlığı ölçümlerinin ilk yapılacağı nokta tesadüfi olarak belirlenmiş, bu noktanın 180° karşı noktasından da ikinci kabuk kalınlığı ölçümleri alınmıştır. Dolayısıyla, bir birey için toplam dört kabuk kalınlığı ölçümü gerçekleştirilmiştir (ikisi maksimum kabuk kalınlığı, ikisi minimum kabuk kalınlığı). Kabuk kalınlığı ölçümleri, uluslararası standartlarda bir kabuk kalınlığı ölçer yardımı ile gerçekleştirilmiştir.

Bu ölçümler sonucunda, her bir birey için ortalama kabuk kalınlığı ($n = 4$), ortalama maksimum kabuk kalınlığı ($n = 2$) ve ortalama minimum kabuk kalınlığı ($n = 2$) değişkenleri elde edilmiştir. Birey düzeyinde elde edilen kabuk kalınlığı değerleri, her bir parsel, alan ve tüm çalışma bölgesi için ortalama kabuk kalınlığı değerlerinin hesaplanmasında kullanılmıştır.



Şekil 4.3. Kabuk kalınlığı ölçer ve Kızılcam kabuk kalınlığının ölçülmesi (Fotoğraf: Çağatay Tavşanoğlu, D. Deniz Kazancı)

Analizlerde kullanılacak diğer ölçümlerden, göğüs hizası çapı, gövdenin yerden 1,3 m yükseklikteki çapı olarak kumpas yardımıyla ölçülmüştür. Ağaç boyu ise 10 m mesafeden klinometre kullanılarak hesaplanmıştır.

4.3. Veri Analizi

Tüm çalışma bölgesi, bölgeler, yangın rejimleri ve alanların kabuk kalınlığı üzerine etkisi doğrusal model ile test edilmiştir. Ön analiz sonuçlarında bireyler arasında minimum kabuk kalınlığı değişkenliği tespit edilmediği için, yapılan tüm analizlerde sadece maksimum kabuk kalınlığı incelenmiştir. Her bir örneklem alanında incelenmiş olan Kızılcam bireylerinin (n = 30) ortalama maksimum kabuk kalınlığı ile analiz normal dağılım temelinde yürütülmüştür. Bu modelde bölgeler, yangın rejimleri ve alanlar sabit faktör olarak ele alınmıştır

Aynı yaklaşım ile kabuk kalınlığı karakteri ile iklimsel koşullar, morfolojik özellikler, serotinitik oranı ve enyaşlı serotinitik kozalak yaşının olası ilişkileri de araştırılmıştır. Bu analizde kullanılacak iklimsel özellikler bu tezde Bölüm 3'te belirtildiği şekilde seçilmiş ve analize alınmıştır. (Şekil 3.9, EK 1). Kabuk kalınlığı bağımlı değişken, her bir iklimsel koşul, morfolojik özellik, serotinitik oranı (%) ve en yaşlı serotinitik kozalak yaşı sabit faktör olarak ele

alınarak normal dağılıma dayalı doğrusal model kullanılmıştır. Eğrisel regresyon modelleri doğrusal regresyon modelleri ve farklı seviyelerden eğrisel regresyon modelleri ile karşılaştırılmış ve daha karmaşık olan model daha basit modele göre verinin değişkenliğini önemli ölçüde daha iyi bir şekilde açıklıyorsa, daha karmaşık model veriyi açıklamada tercih edilmiştir. Bölge ve yangın rejiminin kabuk kalınlığı ile ilişkisinin tespiti için iki yönlü doğrusal model analizi kullanılmıştır. Analizler öncesi tüm ham veriler normal dağılım için Shapiro-Wilk testi ile sınanmıştır. Normal dağılım göstermeyen veriler uygun normal dağılım dönüşümleri ile olabildiğince normale yaklaştırılarak analize alınmıştır. Bu çalışmada kullanılan tüm istatistiksel analizler R istatistik programı ile yapılmıştır (R Core Team 2019).

4.4. Bulgular

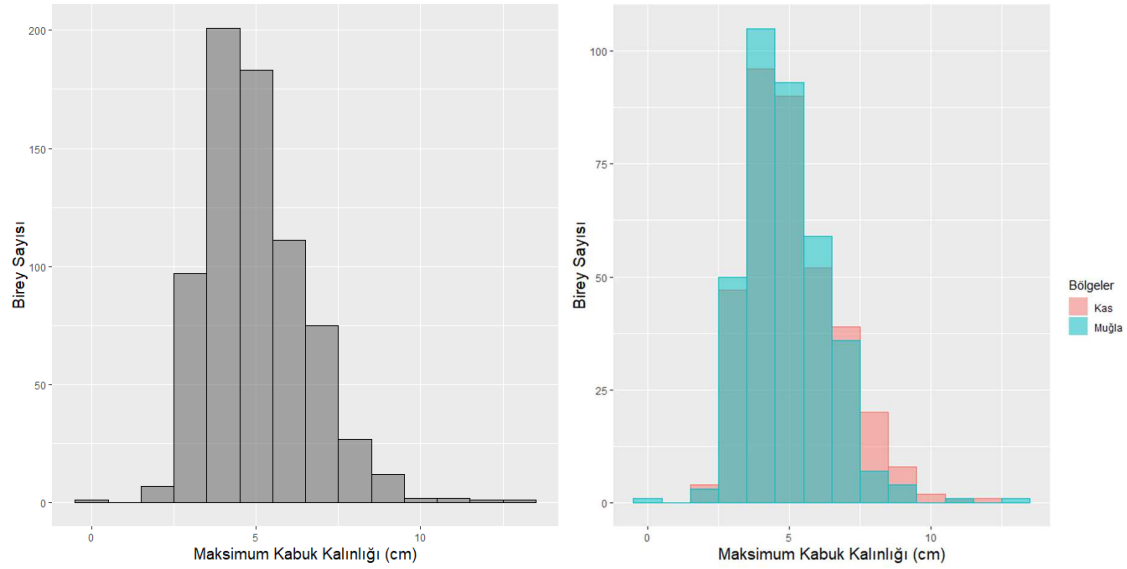
Çalışmada incelenen Kızılçam popülasyonlarında, kabuk kalınlığının birey düzeyinde değişkenlik gösterdiği (1.9 cm - 12.7 cm) ve ortalama 5.01 cm olduğu tespit edilmiştir. Kızılçam bireylerinde, sadece iki bireyin kabuk kalınlığının 2.0 cm'den küçük olduğu, bireylerin %60'ının ise 5.0 cm'den daha az kabuk kalınlığına sahip olduğu görülmüştür (Şekil 4.2). Dolayısıyla, Kızılçam'da kabuk kalınlığı sağdan çarpık bir dağılım (çarpıklık = 0.91) göstermektedir ve buna uyumlu şekilde Muğla bölgesindeki bireylerde kabuk kalınlığı dağılımı (çarpıklık = 0.97) ile Kaş bölgesindekiler (çarpıklık = 0.83) arasında anlamlı bir fark tespit edilmemiştir. (P = 0.98; Şekil 4.4). Kızılçam bireylerine ait ortalama maksimum kabuk kalınlığı değerlerinin dağılımında tüm çalışma bölgesi ve bölgeler ölçeğinde belirgin bir fark olmadığı görülmektedir (Şekil 4.4). Benzer şekilde yangın rejimleri, alan ve parsellerine göre değişkenlik incelendiğinde herhangi bir yönelim gözlenmemektedir (Şekil 4.5).

Kabuk kalınlığı çeşitlilik farkının Muğla ve Kaş bölgeleri arasında (P = 0.343), yangın rejimi kuşakları arasında (P = 0.506) ve bölge-yangın rejimi kuşağı etkileşimi açısından (P = 0.619) da istatistiksel olarak anlamlı olmadığı belirlenmiştir (Şekil 4.6).

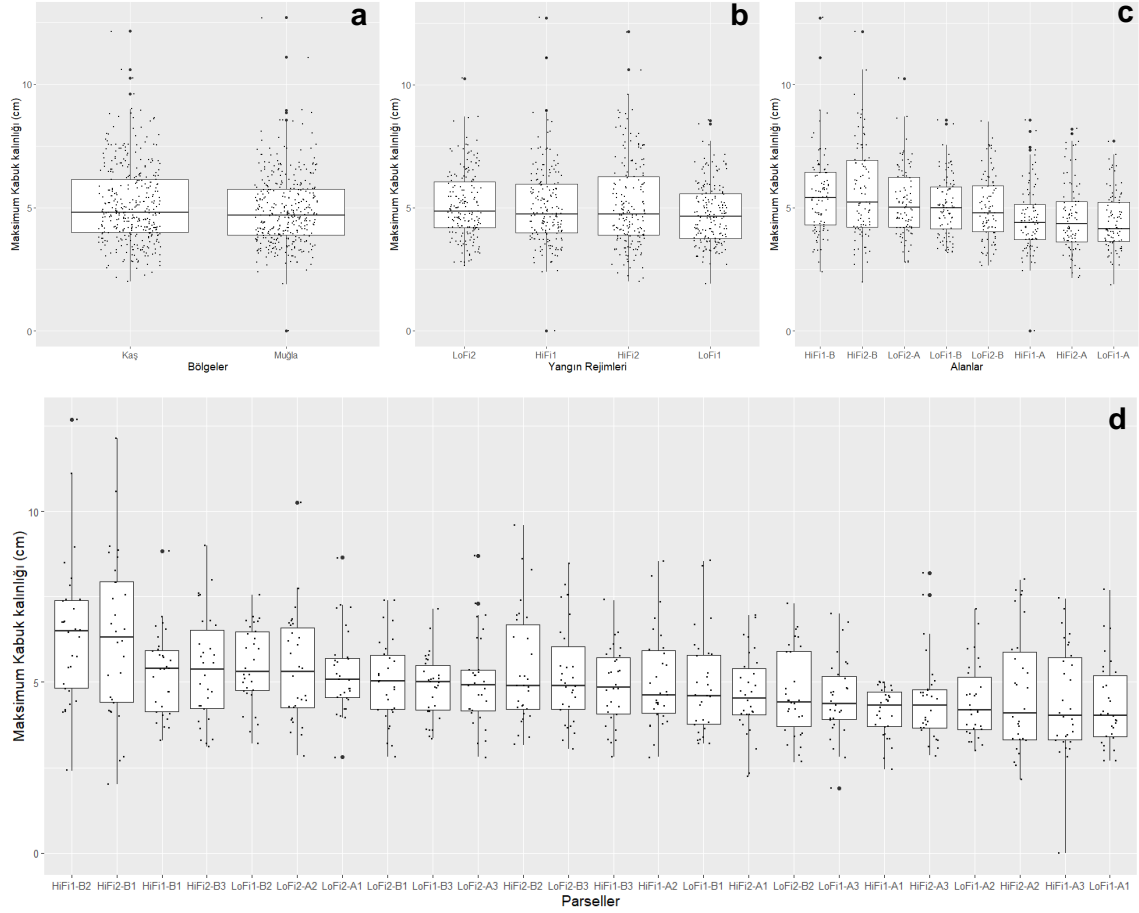
Ortalama maksimum kabuk kalınlığının ne tüm çalışma bölgesi ne de bölgesel ölçekte yangın rejimi kuşakları ile ilişkisine rastlanmamıştır (Çizelge 4.1). Tüm çalışma bölgesi ölçeğinde, sadece net birincil verimlilik ile ortalama maksimum kabuk kalınlığı arasında %20 açıklayıcılığa sahip negatif bir ilişki elde edilmiştir (Çizelge 4.2). Kaş bölgesinde net birincil verimliliğin ortalama maksimum kabuk kalınlığı üzerinde %46 açıklayıcılık seviyesinde negatif bir etkiye sahip olduğu tespit edilmiş, Muğla bölgesinde ise hiçbir iklimsel faktör etkisine rastlanmamıştır (Çizelge 4.2, Şekil 4.7).

Tüm çalışma bölgesinde, ortalama kabuk kalınlığı üzerinde yangın rejimim kuşağı etkileşimi ile beraber, yangın döngüsünde (%38), Kaş bölgesinde (%72) pozitif etkisi olduğu, yine kaş bölgesinde yangın rejimi kuşağı ile net birincil verimliliğin etkileşimin (%70) negatif etkisi olduğu tespit edilmiştir (EK 4). Tüm çalışma bölgesinde kabuk kalınlığı üzerine yangın döngüsünün bölge- yangın rejimim etkileşiminin %63 açıklayıcılığa sahip pozitif bir etkiye sahip olduğu belirlenmiştir.

Gerçek evapotranspirasyon ile maksimum kabuk kalınlığı arasında eğrisel bir ilişki olduğu tahmin edilmiş, fakat istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki tespit edilememiştir ($P = 0.242$, Şekil 4.7).



Şekil 4.4. Kızılcım'da maksimum kabuk kalınlığının farklı alansal ölçeklerde bireyler arası değişkenliği. Soldaki gri grafik tüm veriler, renkli grafikler ise bölgesel ölçekteki (Kaş ve Muğla) veriler kullanılarak çizilmiştir.



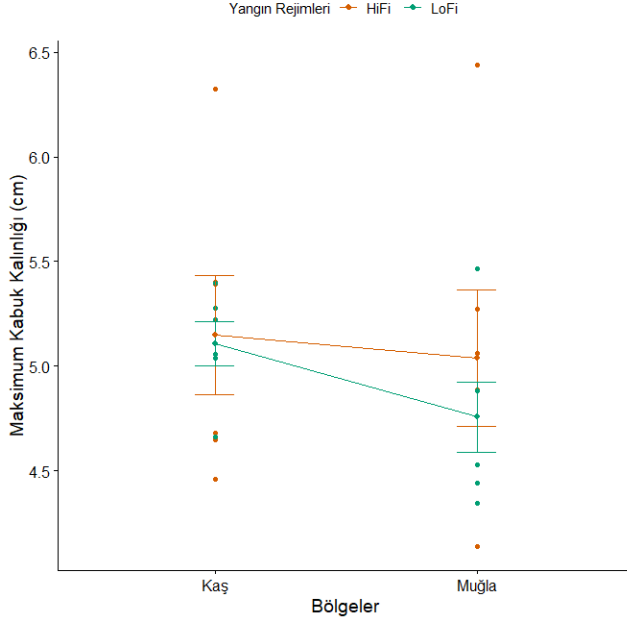
Şekil 4.5. Kızılcamda maksimum kabuk kalınlığının farklı alansal ölçeklerde değişkenliği. Grafikte bölge (a), yangın rejim kuşağı (b), alan (c) ve parsel (d) ölçeklerinde bireylerin maksimum kabuk kalınlığı değerlerinin dağılımı verilmiştir. Grafikteki her bir nokta bir Kızılcama bireyini temsil etmektedir. Grafiklerde kategoriler, medyan maksimum kabuk kalınlığı değerlerine göre sıralanmıştır.

Çizelge 4.1. Bölge ve yangın rejimi kuşaklarının maksimum kabuk kalınlığı üzerindeki etkisini test eden doğrusal model analizlerinin özeti. Analizde, her bir faktörün ya da faktör etkileşimlerinin yer aldığı model bir olabilirlik oran testi (*likelihood ratio test*) kullanılarak boş modelle karşılaştırılmıştır. Her bir modelin AIC, R² ve P değerleri verilmiştir. Anlamlı P değerleri (< 0.05) koyu renkte verilmiştir. Ayrıntılı sonuçlar EK 4’de verilmiştir.

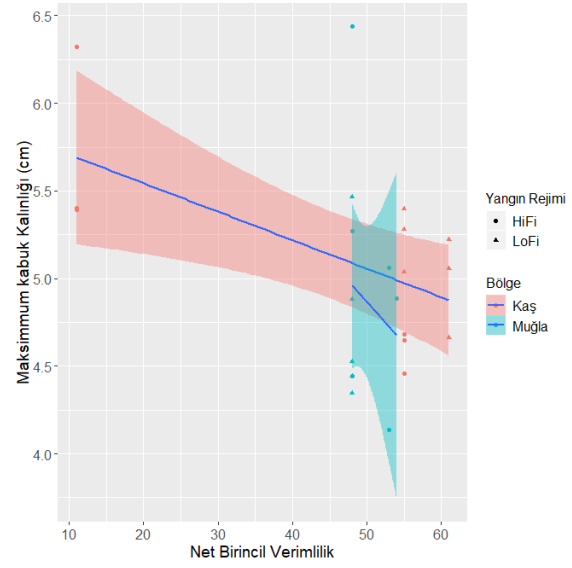
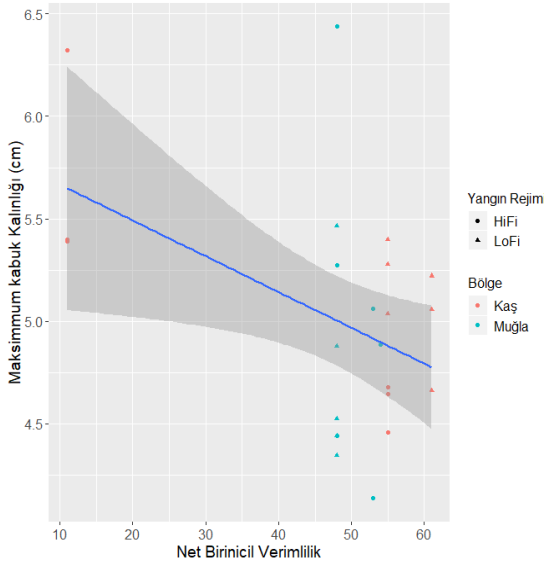
Maksimum Kabuk Kalınlığı (cm)	Kaş			Muğla			Tüm Çalışma Bölgesi		
	AIC	R ²	P	AIC	R ²	P	AIC	R ²	P
boş model	20.52	-	-	25.73	-	-	43.88	-	-
Bölge	-	-	-	-	-	-	44.81	0.044	0.328
Yangın Rejimi	22.5	0.002	0.896	27.04	0.05563	0.461	45.36	0.021	0.498
Bölge*Yangın Rejimi	-	-	-	-	-	-	47.96	0.077	0.652

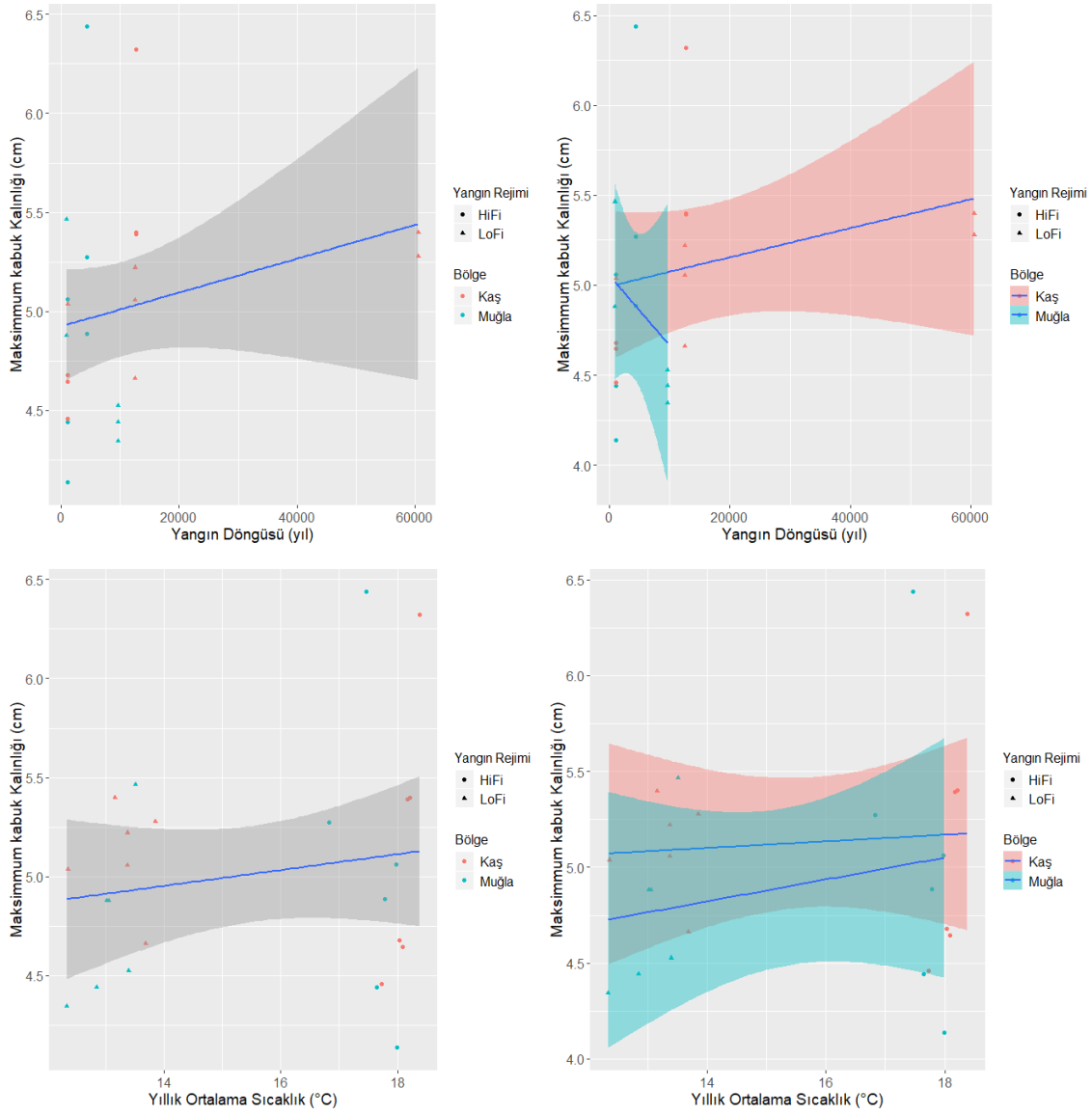
Çizelge 4.2. Bağımlı değişkenlerin maksimum kabuk kalınlığı üzerindeki etkisini test eden doğrusal model analizlerinin özeti. Analizde, her faktörün yer aldığı model bir olabilirlik oran testi (*likelihood ratio test*) kullanılarak boş modelle karşılaştırılmıştır. Her modelin AIC, R² ve P değerleri verilmiştir. Anlamlı P değerleri (<0.05) koyu renkte verilmiştir. T_{mean}: yıllık ortalama sıcaklık (°C), P_{ann}: yıllık toplam yağış (mm), AET: gerçek evapotranspirasyon (mm), YD: yangın döngüsü (yıl), NPP: net birincil verimlilik, P_{dry}: kurak dönem yağış (mm), Hei: ortalama birey boyu (m), Dia: ortalama birey çapı (cm).

Maksimum Kabuk Kalınlığı (cm)	Kaş			Muğla			Tüm Çalışma Bölgesi		
	AIC	R ²	P	AIC	R ²	P	AIC	R ²	P
T _{mean}	22.43	0.007	0.789	27.12	0.05	0.487	43.88	0.03	0.422
P _{ann}	22.45	0.006	0.816	25.99	0.135	0.241	45.87	0	0.981
AET	22.51	0.001	0.922	24.95	0.207	0.138	45.74	0.006	0.724
YD	21.05	0.115	0.281	27.08	0.053	0.473	44.4	0.06	0.25
NPP	15.14	0.459	0.015	27.31	0.034	0.567	40.37	0.205	0.026
P _{dry}	22.45	0.006	0.813	27.25	0.039	0.539	44.82	0.043	0.332
Hei	22.3	0.019	0.673	27.39	0.028	0.606	44.92	0.039	0.356
Dia	22.43	0.007	0.795	27.35	0.031	0.586	45.61	0.011	0.623



Şekil 4.6. Bölge ve yangın rejimi kuşağının maksimum kabuk kalınlığına etkisinin iki yönlü analizinin grafiksel gösterimi.





Şekil 4.7. Maksimum kabuk kalınlığı ve bağımlı değişkenler arasındaki ilişkilerin özeti. Doğrusal çizgiler, tüm çalışma bölgesi ve bölge seviyelerinde doğrusal regresyon analizinin sonucunu temsil etmektedir. Yalnızca anlamlı modellerin grafikleri sunulmuştur. Her nokta, bir parselin ortalama değerini temsil etmektedir. Noktaların bölgeleri ve yangın rejim kuşakları sırasıyla ayrı renklerde (Kaş: kırmızı, Muğla: mavi) ve şekillerde (HiFi: daire, LoFi: üçgen) verilmiştir.

5. KIZILÇAM'DA DOĞAL DAL BUDANMASI KARAKTERİNİN POPÜLASYONLAR ARASI DEĞİŞKENLİĞİ

5.1. Giriş

Doğal dal budanması (ing. *self-pruning*), ölü alt dal ve yapraklarının kendiliğinden dökülmesi, bir bitkinin yanıcılığını etkileyen en önemli bitki özelliklerinden biri olarak kabul edilmektedir (Keeley ve Zedler, 1998; Schwilk ve Ackery 2001). Ölü dallarını kendiliğinden budamayan çamların kendi tepelerine ve komşu bireylere yangını sıçratma ihtimalleri daha yüksek olmaktadır. Bu sayede örtü yangını budanmamış dallar aracılığı ile (merdiven etkisi, ing., *ladder effect*) tepe yangınına dönüşebilmektedir (Schwilk ve Ackery 2001). Doğal dal budanması, yangının tepe seviyesine ulaşmasındaki güçlü etkisi nedeniyle yer seviyesine yakın kabuk kalınlığının yangın etkisini azaltma ihtimali olmaksızın bireyin ölümüne sebep olabilmektedir.

Örtü yangın rejimlerine uyum sağlamış, yangını tölere eden /dayanan türlerde (örn., *P. nigra*) yaygın olarak doğal dal budanması ve kalın kabuk görülmektedir. Doğal dal budanması, yer ile tepe arasında yanıcı madde boşluğu oluşturarak yangının örtüde kalıp belirli bir şiddette seyretmesini sağlarken, kalın kabuk sayesinde birey yangından etkilenmeyerek yangın sonrası açılmış alanlara tohumlarını yayabilmektedir (Keeley vd., 2012). Çamlarda genellikle doğal dal budanmasıya, serotinli olmayan kozalaklar, kalın kabuk, yüksek birey boyu, uzun ömür, daha az yanıcı özellikli yapraklar, muhtemelen sürgün verme ve geniş menzilli dispersal yeteneğinin eşlik ettiği görülmektedir (Schwilk ve Ackery 2001; Keeley vd., 2012).

Pinus cinsinde yangın karakterlerinin ilişkileri incelendiğinde, doğal dal budanması ile kabuk kalınlığı, minimum reproduktif yaş ve ibre yoğunluğunun pozitif, serotinliğin negatif ilişkili olduğu gösterilmiştir (Schwilk ve Ackery 2001). *P. halepensis* ile yapılan çalışmalarda yangın rejimine bağlı (yangın olan ve olmayan alanlarda) olarak serotinlik seviyesi ve doğal dal budanması arasında anlamlı bir fark bulunmuştur (Romero vd., 2020).

Yangınla ilişkili karakterlerin tür düzeyinde evrimsel olarak korunduğu bilinmesine rağmen doğal dal budanmasının sadece yangın rejimleri ile olan ilişkisi tespit edilebilmiştir. Literatürde; tür ve popülasyon düzeyinde doğal dal budanması hakkında oldukça büyük bir boşluk bulunmaktadır. Bu çalışma, literatürdeki boşluğun giderilmesi amacı ile daha önce çalışılmamış bir tür olan Kızılçam ve popülasyonlarına ait varyasyonu tespit etmek amacı ile yapılmış ilk çalışmadır.

5.2.Yöntem

Bu çalışmada, örneklem tasarımı ve çalışma alanları ile bireylerinin seçimi, bu tezde yer alan Bölüm 2.2’de belirtildiği şekilde gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada kullanılan her bir bireyin boyu 10 m mesafeden elektronik klinometre kullanılarak hesaplanmıştır. Bireylere ait en alçakta bulunan, ölü/kuru dal ile canlı (yeşil yapraklara sahip) dallara ait distal ve proksimal kısımların yerden yüksekliği şerit metre ve gerekirse elektronik klinometre yardımı ile ölçülmüştür. Analizlerde kullanılacak diğer ölçümlerden, göğüs hizası çapı, gövdenin yerden 1,3 m yükseklikteki çapı olarak kumpas yardımıyla ölçülmüştür.

Bu ölçümler sonucunda, her bir birey için minimum ölü dal yüksekliği, minimum canlı dal yüksekliği elde edilmiş, değişkenliği kaybetmemek için bu değerler analizde ham şekilde kullanılmıştır. Birey düzeyinde elde edilen canlı ve ölü dal proksimal yükseklikleri, her bir parsel, alan ve tüm çalışma bölgesi için ortalama değerlere dönüştürülerek hesaplamalarda kullanılmıştır.



Şekil 5.1. Proksimal dal ve ağaç boyu ölçümü (Fotoğraf: Duygu Deniz Kazancı)

5.3. Veri Analizi

Canlı ve ölü dalların proksimal kısımlarının yerden yüksekliğinde, tüm çalışma bölgesi, bölgeler, yangın rejimleri ve alanların etkisi doğrusal model ile test edilmiştir. Normal dağılımın kullanıldığı bu modelde, bölgeler, yangın rejimleri ve alan sabit faktör olarak ele alınmıştır.

Benzer şekilde doğal dal budanması özelliğinin belirteci olarak seçilen proksimal yükseklikler ile iklimsel koşullar, morfolojik özellikler, serotinitik oranı (%) ve en yüksek serotinitik kozalak yaşının ilişkileri de araştırılmıştır. Kullanılması planlanan iklimsel özellikler bu tezde Bölüm 3'te belirtildiği şekilde seçilmiş ve analize alınmıştır. (Şekil 3.9, EK 1). Normal dağılımlı doğrusal modelde proksimal yerden yükseklikler (en alçak dal yükseklikleri) bağımlı değişken, her bir iklimsel koşul, morfolojik özellik ve serotinitik karakteri (serotinitik kozalak yaşı ve en yaşlı serotinitik kozalak yaşı) da sabit faktör olarak kullanılmıştır.

Görsel olarak incelendiğinde eğrisel bir eğrinin veriyi daha iyi açıklayabileceği düşünülen bağımlı ve sabit değişkenler için eğrisel regresyon analizi de yürütülmüştür. Gerçekleştirilen eğrisel regresyon modellerin sonuçları, basit doğrusal regresyon modelleri ve farklı seviyelerden eğrisel regresyon modelleri ile karşılaştırılmış ve daha karmaşık olan model daha basit modele göre verinin değişkenliğini önemli ölçüde daha iyi bir şekilde açıklıyorsa, daha karmaşık model veriyi açıklamada tercih edilmiştir. Bölge ve yangın rejiminin proksimal yükseklikler ile ilişkisinin tespiti için iki yönlü analiz kullanılmıştır.

Analizler öncesi tüm ham verilerin dağılımı normal dağılıma uyum için Shapiro-Wilk testi ile sınınmıştır. Normal dağılım göstermeyen veriler uygun dönüşümlere uğratılarak analize alınmıştır. Bu çalışmada kullanılan tüm istatistiksel analizler R istatistik programı ile yapılmıştır (R Core Team 2019).

5.4. Bulgular

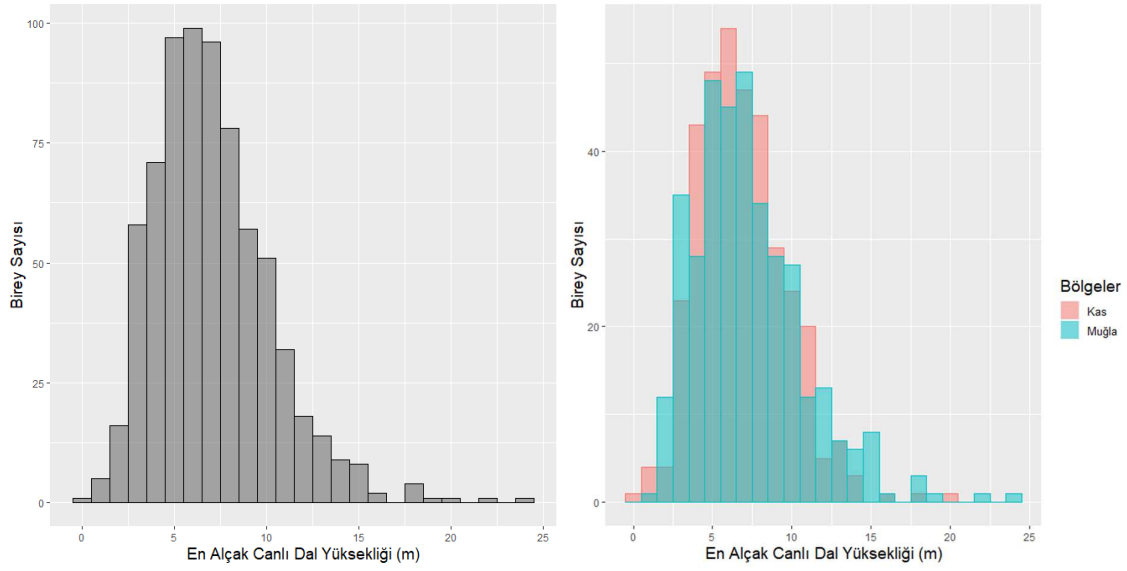
5.4.1 Doğal Dal Budanması- En Alçak Canlı Dal

Kızılcım popülasyonlarında, doğal dal budanmasının işaretlerinde biri olarak kullanılan en alçak canlı dalın yerden yüksekliğinin birey düzeyinde değişkenlik gösterdiği (0.3 m ile 23.6 m arasında) ve ortalama 7.11 m olduğu tespit edilmiştir. Kızılcım bireylerinin %54'ü 7 m'den daha alçak canlı proksimal dal yüksekliğine sahip olduğu görülmüştür (Şekil 5.2). Dolayısıyla, Kızılcım'da en alçak canlı dal yüksekliği sağdan çarpık bir dağılım göstermekle birlikte (çarpıklık = 1.05), Muğla bölgesindeki (çarpıklık = 1.11) bireylerde en alçak canlı dal yüksekliği dağılımı ile Kaş bölgesindeki (çarpıklık = 0.77) bireylerdeki dağılım arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark tespit edilmemiştir ($P = 0.058$; Şekil 5.2). En alçak canlı dal yüksekliğinin bölge, yangın rejimi, alan ve tüm çalışma bölgesi ölçeğindeki dağılımları belirgin bir eğilim göstermemekle beraber aynı sınıfta nitelendirilen parsellerin oldukça farklı değerlere sahip oluşu dikkat çekmektedir (Şekil 5.3).

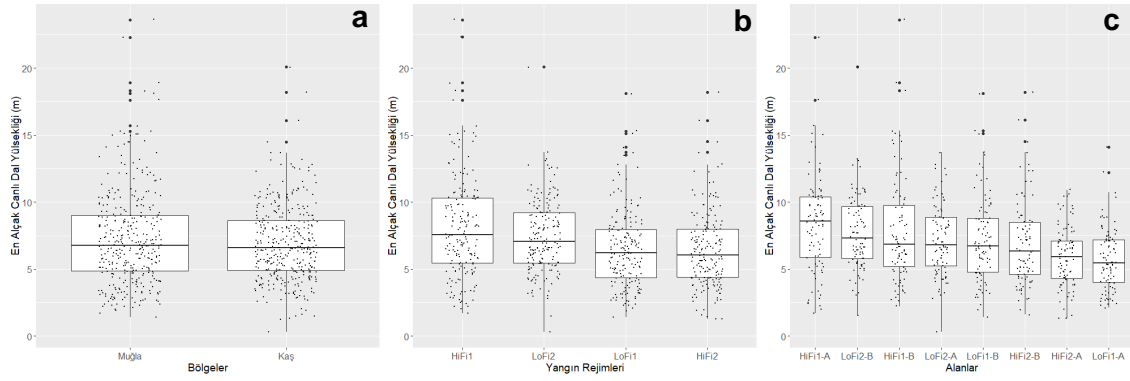
En alçak canlı dal yüksekliğine ait çeşitlilik farkının Muğla ve Kaş bölgeleri ($P = 0.110$) ve yangın rejimi kışakları arasında ($P = 0.158$) istatistiksel olarak anlamsız olduğu, fakat bölge- yangın rejimi kuşağı etkileşiminin istatistiksel olarak anlamlı olduğu belirlenmiştir ($P < 0.0001$; Şekil 5.4.).

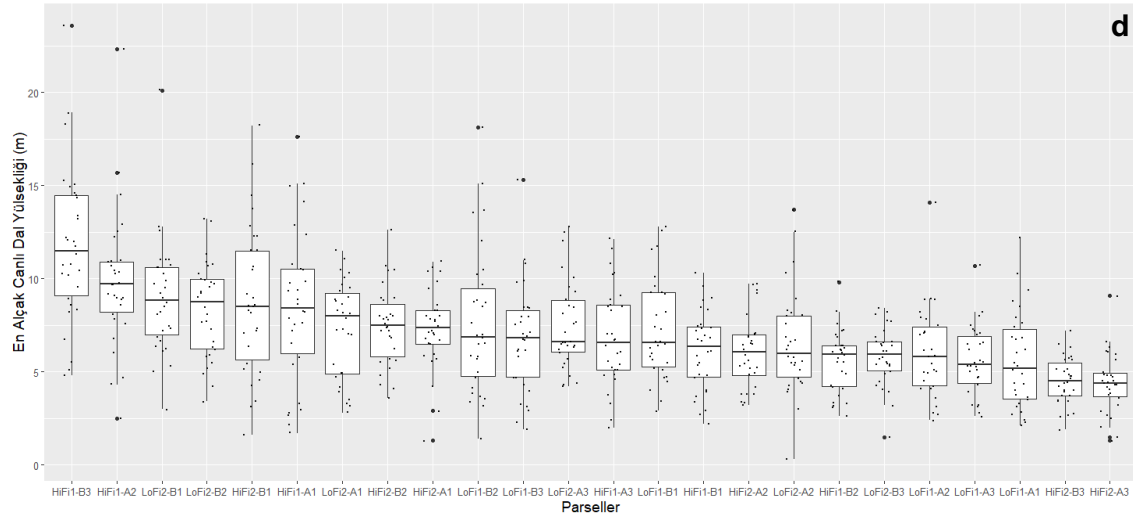
En alçak canlı dal yüksekliğinin bölge, yangın rejimi kuşakları ve bölge- yangın rejimi kuşaklarına ait etkileşimi ile istatistiksel olarak anlamlı bir ilişkiye rastlanmamıştır (Çizelge 5.1). Net birincil verimliliğin en alçak canlı dal yüksekliğine pozitif etkisinin varlığı tüm çalışma alanı ölçeğinde sadece yangın rejimi kuşaklarının etkisi (%50) ve bölge- yangın rejimi kuşağı etkileşimi etkisi (%58) görülürken, Muğla bölgesine ait hem tüm veride hem de yangın rejimi (her ikisi de %80 açıklayıcı) etkisinde görülmektedir. Tüm çalışma bölgesi ile Muğla ve Kaş bölgelerinde, ağaç boyunun en alçak dal yüksekliği ile pozitif ilişkisi olduğu ve bu ilişkinin bölge, yangın rejimi ve bu alansal iki ölçeğin etkileşiminin etkileri altında iken de görüldüğü tespit edilmiştir. Ağaç boyu ile beraber bölge- yangın rejimi kuşağı etkileşiminin en alçak canlı dal yüksekliği üzerine etkisine ait en yüksek açıklayıcılık %82 ile Muğla'da, %71 ile tüm çalışma bölgesinde görülürken, Kaş bölgesinde bu ilişkiye rastlanılmamıştır (Şekil, 5.5., EK 5).

Serotinitik oranı (%) ve en yaşlı serotinitik kozalak yaşı ile en alçak canlı dal yüksekliğinde, hiçbir alansal ölçek kapsamında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki tespit edilememiştir.



Şekil 5.2. Kızılcım’da en alçak canlı dal yüksekliğinin farklı alansal ölçeklerde bireyler arası değişkenliği. Soldaki gri grafik tüm veriler, renkli grafikler ise bölgesel ölçekteki (Kaş ve Muğla) veriler kullanılarak çizilmiştir.





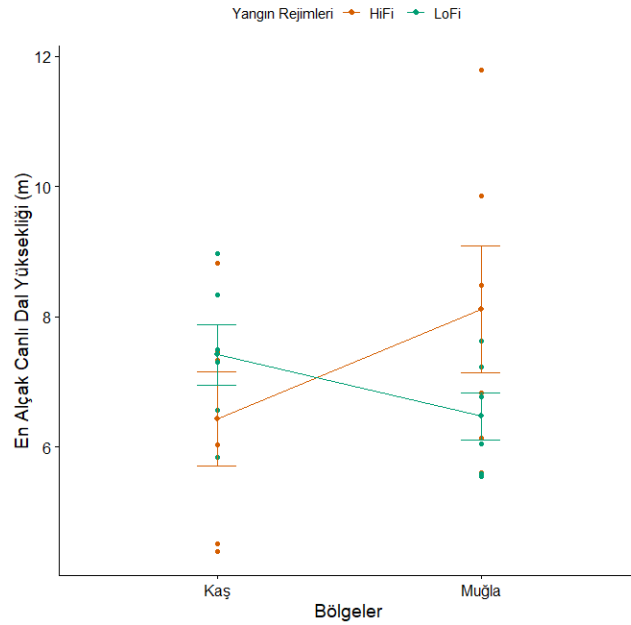
Şekil 5.3. Kızılcım'da en alçak canlı dal yüksekliğinin farklı alansal ölçeklerde değişkenliği. Grafikte bölge (a), yangın rejim kuşağı (b), alan (c) ve parsel (d) ölçeklerinde bireylerin en alçak canlı dal yüksekliği değerlerinin dağılımı verilmiştir. Grafikteki her bir nokta bir Kızılcım bireyini temsil etmektedir. Grafiklerde kategoriler, medyan en alçak canlı dal yüksekliği değerlerine göre sıralanmıştır.

Çizelge 5.1. Bölge ve yangın rejimi kuşaklarının en alçak canlı dal yüksekliği üzerindeki etkisini test eden doğrusal model analizlerinin özeti. Analizde, her bir faktörün ya da faktör etkileşimlerinin yer aldığı model bir olabirlik oran testi (*likelihood ratio test*) kullanılarak boş modelle karşılaştırılmıştır. Her bir modelin AIC, R² ve P değerleri verilmiştir. Anlamlı P değerleri (< 0.05) koyu renkte verilmiştir. Ayrıntılı sonuçlar EK 5'de verilmiştir.

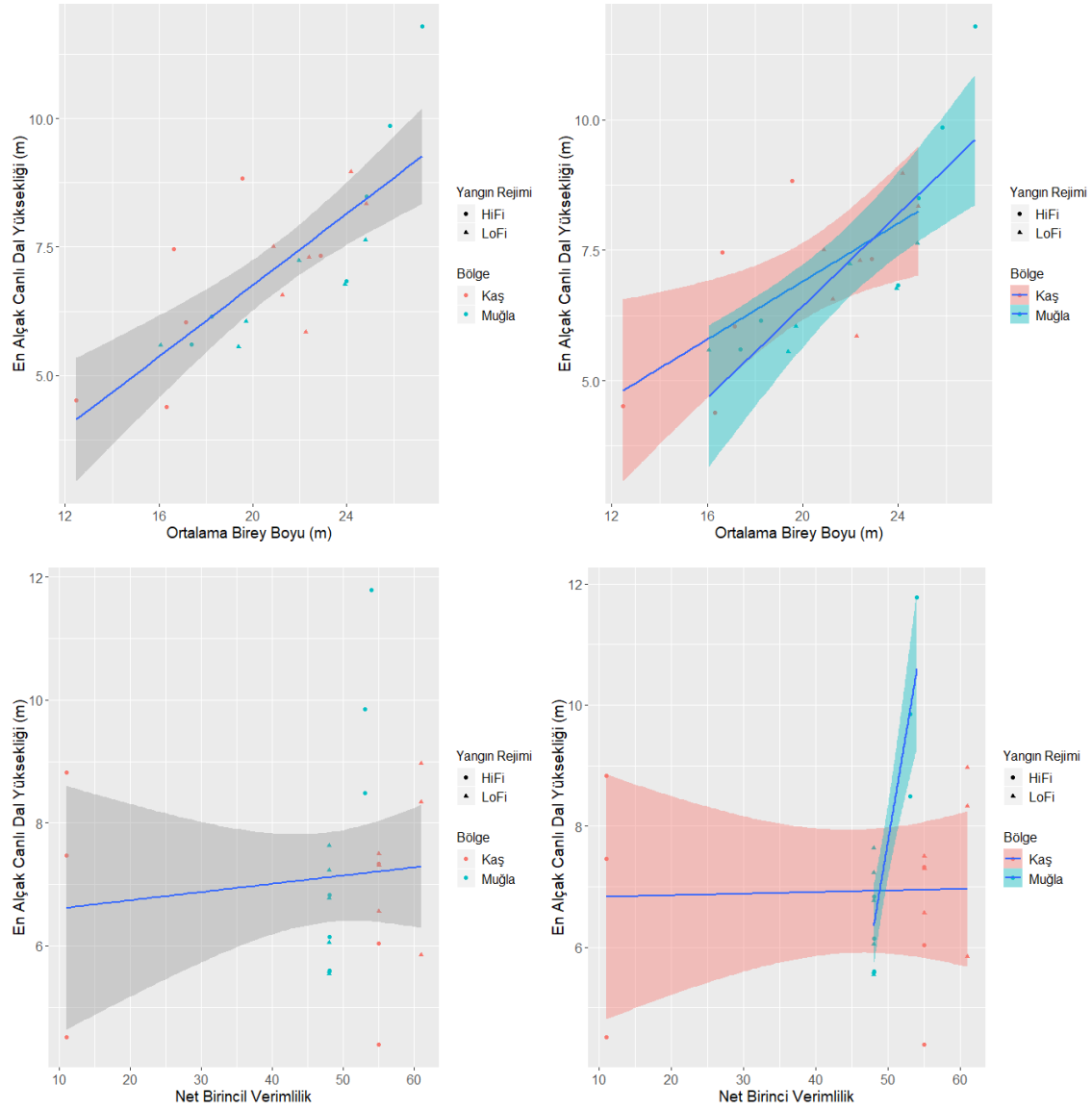
En Alçak Canlı Dal Yüksekliği (m)	Kaş			Muğla			Tüm Çalışma Bölgesi		
	AIC	R ²	P	AIC	R ²	P	AIC	R ²	P
boş model	46.86	-	-	52.63	-	-	96.48	-	-
Bölge	-	-	-	-	-	-	98.18	0.012	0.604
Yangın Rejimi	47.36	0.118	0.274	51.93	0.2011	0.144	98.24	0.01	0.647
Bölge*Yangın Rejimi	-	-	-	-	-	-	97.72	0.18	0.255

Çizelge 5.2. Bağımlı değişkenlerin en alçak canlı dal yüksekliği üzerindeki etkisini test eden doğrusal model analizlerinin özeti. Analizde, her faktörün yer aldığı model bir olabilirlik oran testi (likelihood ratio test) kullanılarak boş modelle karşılaştırılmıştır. Her modelin AIC, R² ve P değerleri verilmiştir. Anlamlı P değerleri (<0.05) koyu renkte verilmiştir. T_{mean}: yıllık ortalama sıcaklık (°C), P_{ann}: yıllık toplam yağış (mm), AET: gerçek evapotranspirasyon (mm), YD: yangın döngüsü (yıl), NPP: net birincil verimlilik, P_{dry}: kurak dönem yağış (mm), B_{tmax}: maksimum kabuk kalınlığı (cm), Hei: ortalama birey boyu (m), Dia: ortalama birey çapı (cm), Ser: serotinitik oranı (%), Seryaş: En yaşlı serotinitik kozalak yaşı (yıl).

En Alçak Canlı Dal Yüksekliği (m)	Kaş			Muğla			Tüm Çalışma Bölgesi		
	AIC	R ²	P	AIC	R ²	P	AIC	R ²	P
T _{mean}	47.75	0.088	0.348	50.78	0.274	0.081	97.99	0.02	0.508
P _{ann}	46.28	0.194	0.152	53.49	0.091	0.341	97.63	0.035	0.382
AET	47.69	0.093	0.334	52.09	0.19	0.156	98.23	0.01	0.64
YD	48.78	0.007	0.8	51.95	0.2	0.145	98.41	0.003	0.802
NPP	48.85	0.001	0.911	35.37	0.799	< 0.0001	98.15	0.014	0.588
P _{dry}	47.72	0.091	0.341	51.15	0.252	0.097	98.39	0.004	0.775
B _{tmax}	47.55	0.104	0.307	54.55	0.006	0.811	98.41	0.003	0.809
Hei	41.23	0.471	0.014	39.71	0.712	0.001	77.29	0.586	<0.0001
Dia	48.74	0.01	0.753	50.7	0.279	0.077	95.07	0.132	0.08
Ser	48.09	0.062	0.434	53.33	0.102	0.311	97.18	0.052	0.282
Seryaş	44.36	0.313	0.058	53.27	0.107	0.3	95.23	0.126	0.088



Şekil 5.4. Bölge ve yangın rejimi kuşağının en alçak canlı dal yüksekliğine etkisinin iki yönlü analizinin grafiksel gösterimi.



Şekil 5.5. En alçak canlı dal yüksekliği ve bağımlı değişkenler arasındaki ilişkilerin özeti. Doğrusal çizgiler, tüm çalışma bölgesi ve bölge seviyelerinde doğrusal regresyon analizinin sonucunu temsil etmektedir. Yalnızca anlamlı modellerin grafikleri sunulmuştur. Her nokta, bir parselin ortalama değerini temsil etmektedir. Noktaların bölgeleri ve yangın rejim kuşakları sırasıyla ayrı renklerde (Kaş: kırmızı, Muğla: mavi) ve şekillerde (HiFi: daire, LoFi: üçgen) verilmiştir..

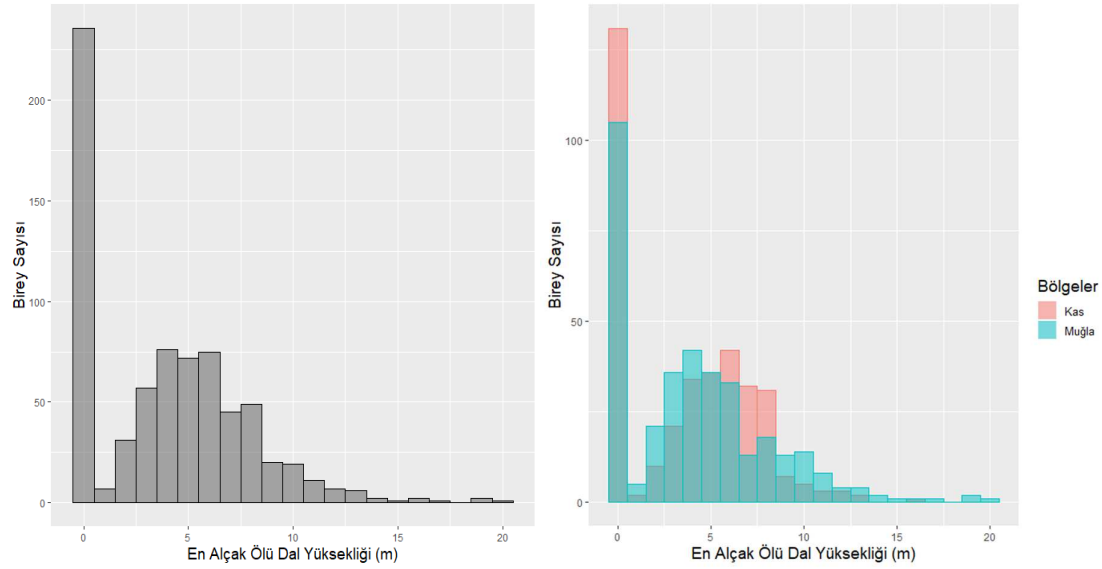
5.4.2 Doğal Dal Budanması - En Alçak Ölü Dal (Boole'sal veri)

Kızılcım popülasyonlarında, en alçak ölü dal yüksekliğine ait ham verinin birey düzeyinde değişkenlik gösterdiği (0.9 ile 20.4 m) ve ortalama 4 m olduğu tespit edilmiştir. Kızılcım bireylerinde %33'ünün en alçak ölü dala sahip olmadığı, bireylerin %28'sinin 5 m'den, %61'inin de 10 m'den daha alçak ölü dal yüksekliğine sahip olduğu görülmüştür (Şekil 5.6). Dolayısıyla, Kızılcım'da en alçak ölü dal yüksekliği sağdan çarpık bir dağılım gösterdiği (çarpıklık = 0.8), Muğla (çarpıklık = 1) ve Kaş (çarpıklık = 0.4) bölgelerindeki bireylerde en alçak ölü dal yüksekliği dağılımları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olduğu tespit edilmiştir ($P = 0.04$; Şekil 5.6).

Tüm çalışma bölgesindeki bireylerin en alçak ölü dallarının yerden yüksekliği verisinde oldukça fazla sayıda "0" değerinin varlığı nedeni ile bu değerlerin binomial dönüşümleri yapılarak analize alınmasına karar verilmiştir (Şekil 5.6). Muğla bireylerinde Kaş'dan daha fazla "1" değeri ve daha az "0" değeri belirlenmiştir (Şekil 5.6).

En alçak ölü dalların yerden yüksekliği değerlerindeki çeşitlilik farkının, Muğla ve Kaş bölgeleri ($P = 0.44$), yangı rejimi kuşakları ($P = 0.51$) ve bölgelere ait yangın rejimi kuşakları ($P = 0.63$) arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark tespit edilememiştir (Şekil 5.7). En alçak ölü dal yüksekliği ile bölge, yangın rejimi kuşakları ve bölge-yangın rejimi kuşaklarına ait etkileşimi aarasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişkiye rastlanmamıştır (Çizelge 5.3).

Muğla bölgesinde ağaç boyu (%36) ve ağaç çap kalınlığının (%37) en alçak ölü dal yüksekliğine pozitif etkisi olduğu belirlenmiştir (Şekil 5.8, Çizelge 5.4). Kaş'ta ise en yaşlı serotimli kozalak yaşı ve yangın rejimi kuşağının en alçak ölü dal yüksekliğini %67 açıklayıcılığa sahip negatif bir ilişki olduğu tespit edilmiştir (Şekil 5.8, EK 6). Bu ilişkiler dışında hiçbir iklimsel değişken ve bölgesel alan ölçeğinin en alçak ölü dal yüksekliği ile ilişkisine rastlanmamıştır (Şekil 5.8, EK 6).



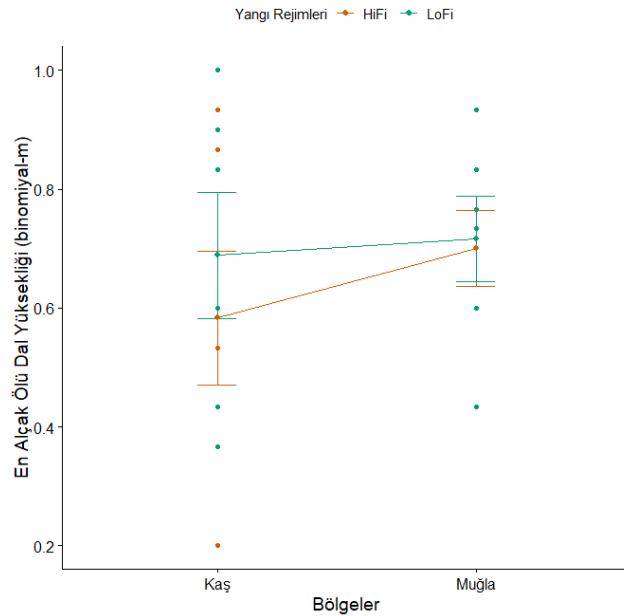
Şekil 5.6. Kızılcım'da en alçak ölü dal yüksekliğinin farklı alansal ölçeklerde bireyler arası değişkenliği. Soldaki gri grafik tüm veriler, renkli grafikler ise bölgesel ölçekteki (Kaş ve Muğla) veriler kullanılarak çizilmiştir.

Çizelge 5.3. Bölge ve yangın rejimi kuşaklarının en alçak ölü dal yüksekliği (Boole'sal) üzerindeki etkisini test eden doğrusal model analizlerinin özeti. Analizde, her bir faktörün ya da faktör etkileşimlerinin yer aldığı model bir olabilirlik oran testi (*likelihood ratio test*) kullanılarak boş modelle karşılaştırılmıştır. Her bir modelin AIC, R² ve P değerleri verilmiştir. Anlamlı P değerleri (< 0.05) koyu renkte verilmiştir. Ayrıntılı sonuçlar EK 6'de verilmiştir.

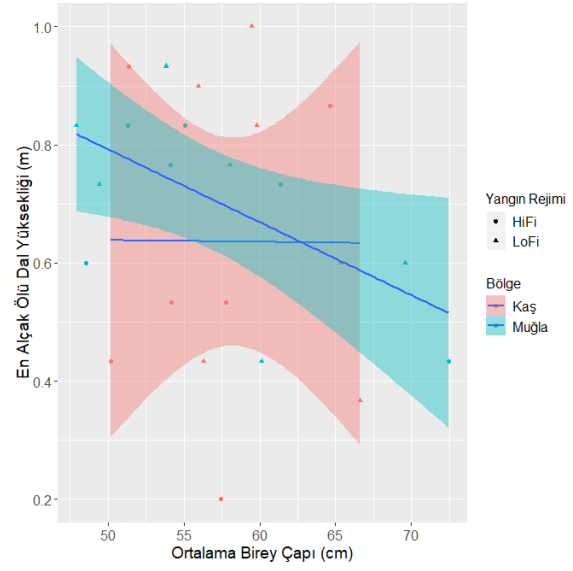
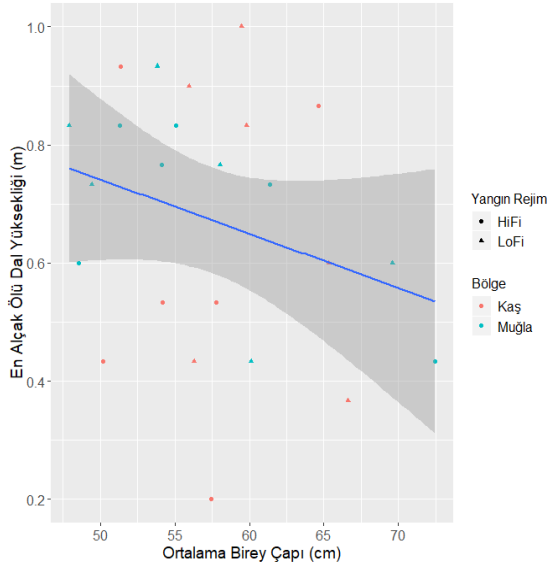
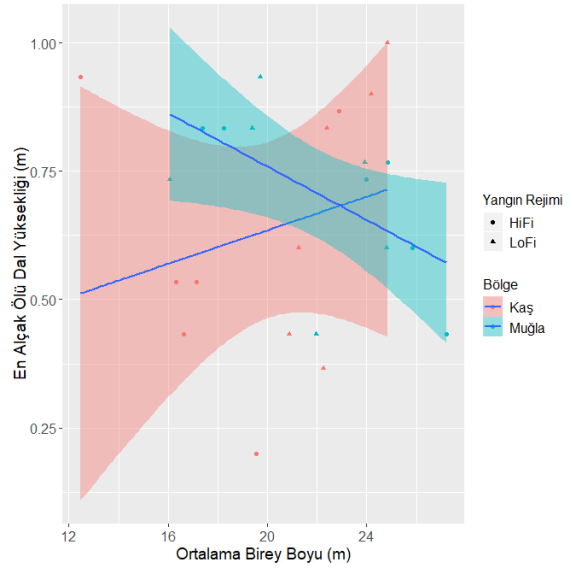
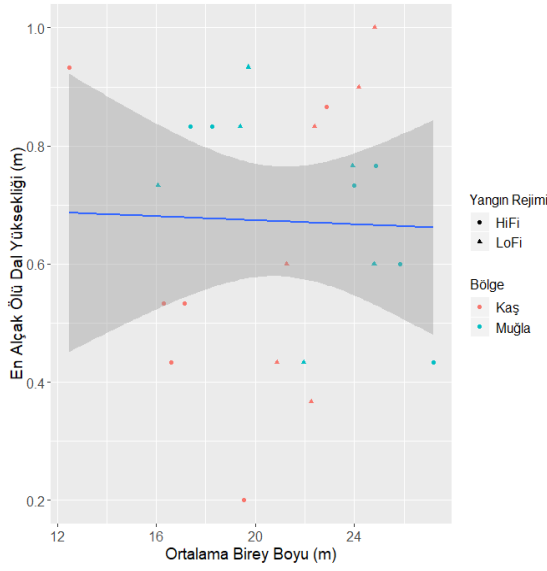
En Alçak Ölü Dal Yüksekliği (Boole'sal - m)	Kaş			Muğla			Tüm Çalışma Bölgesi		
	AIC	R ²	p	AIC	R ²	P	AIC	R ²	P
boş model	4.78	-	-	-7.03	-	-	-2.73	-	-
Bölge	-	-	-	-	-	-	-1.45	0.029	0.422
Yangın Rejimi	6.23	0.045	0.51	-5.06	0.003	0.866	-1.24	0.021	0.498
Bölge*Yangın Rejimi	-	-	-	-	-	-	1.74	0.062	0.728

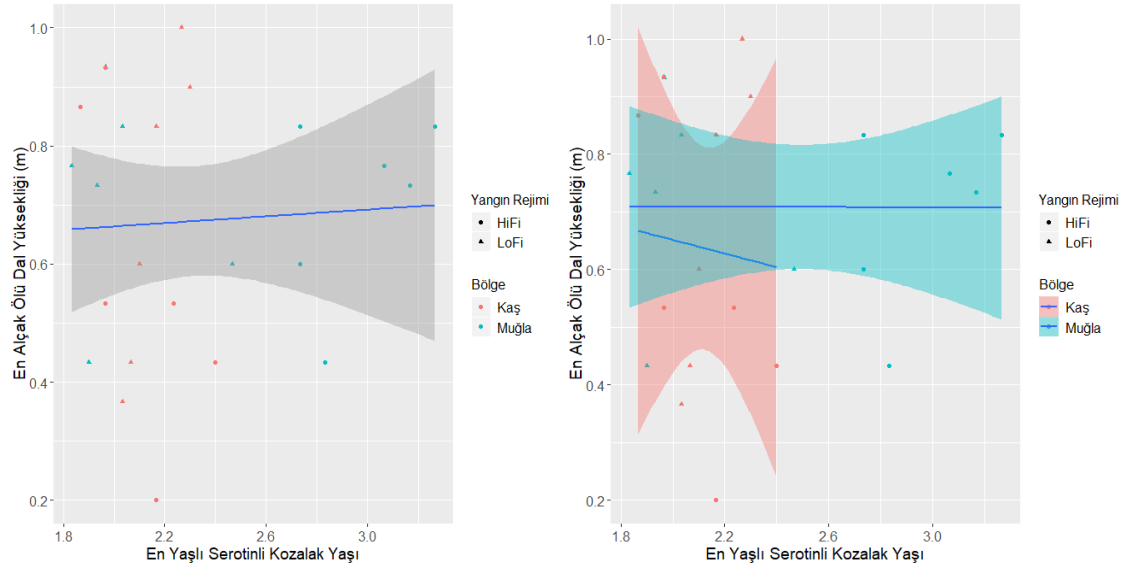
Çizelge 5.4. Bağımlı değişkenlerin en alçak ölü dal yüksekliği (Boole'sal) üzerindeki etkisini test eden doğrusal model analizlerinin özeti. Analizde, her faktörün yer aldığı model bir olabilirlik oran testi (*likelihood ratio test*) kullanılarak boş modelle karşılaştırılmıştır. Her modelin AIC, R² ve P değerleri verilmiştir. Anlamlı P değerleri (<0.05) koyu renkte verilmiştir. T_{mean}: yıllık ortalama sıcaklık (°C), P_{ann}: yıllık toplam yağış (mm), AET: gerçek evapotranspirasyon (mm), YD: yangın döngüsü (yıl), NPP: net birincil verimlilik, P_{dry}: kurak dönem yağış (mm), B_{tmax}: maksimum kabuk kalınlığı (cm), Hei: ortalama birey boyu (m), Dia: ortalama birey çapı (cm), Ser: serotinitik oranı (%), Seryaş: en yaşlı serotinitik kozalak yaşı (yıl).

En Alçak Ölü Dal Yüksekliği (Boole'sal - m)	Kaş			Muğla			Tüm Çalışma Bölgesi		
	AIC	R ²	P	AIC	R ²	P	AIC	R ²	P
T _{mean}	6.47	0.025	0.622	-5.17	0.012	0.733	-1.27	0.022	0.488
P _{ann}	6.18	0.049	0.489	-5.03	0	0.985	-0.73	0	0.977
AET	6.25	0.043	0.517	-5.5	0.039	0.541	-0.88	0.006	0.713
YD	6.47	0.026	0.62	-8.36	0.242	0.104	-0.94	0.008	0.67
NPP	5.76	0.081	0.369	-7.69	0.199	0.146	-2.07	0.054	0.273
P _{dry}	6.49	0.024	0.629	-5.11	0.007	0.794	-1.58	0.035	0.384
B _{tmax}	3.88	0.215	0.13	-5.05	0.002	0.886	-2.88	0.086	0.165
Hei	6.11	0.054	0.467	-10.32	0.357	0.040	-0.75	0.001	0.892
Dia	6.78	0	0.986	-10.7	0.377	0.034	-2.74	0.08	0.18
Ser	6.56	0.018	0.676	-5.11	0.006	0.804	-0.79	0.002	0.824
Seryaş	6.72	0.005	0.826	-5.03	0	0.987	-0.81	0.003	0.791



Şekil 5.7. Bölge ve yangın rejimi kuşağının en alçak ölü dal yüksekliğine etkisinin iki yönlü analizinin grafiksel gösterimi.





Şekil 5.8. En alçak ölü dal yüksekliği (Boole'sal) ve bağımlı değişkenler arasındaki ilişkilerin özeti. Doğrusal çizgiler, tüm çalışma bölgesi ve bölge seviyelerinde doğrusal regresyon analizinin sonucunu temsil etmektedir. Yalnızca anlamlı modellerin grafikleri sunulmuştur. Her nokta, bir parselin ortalama değerini temsil etmektedir. Noktaların bölgeleri ve yangın rejim kuşakları sırasıyla ayrı renklerde (Kaş: kırmızı, Muğla: mavi) ve şekillerde (HiFi: daire, LoFi: üçgen) verilmiştir.

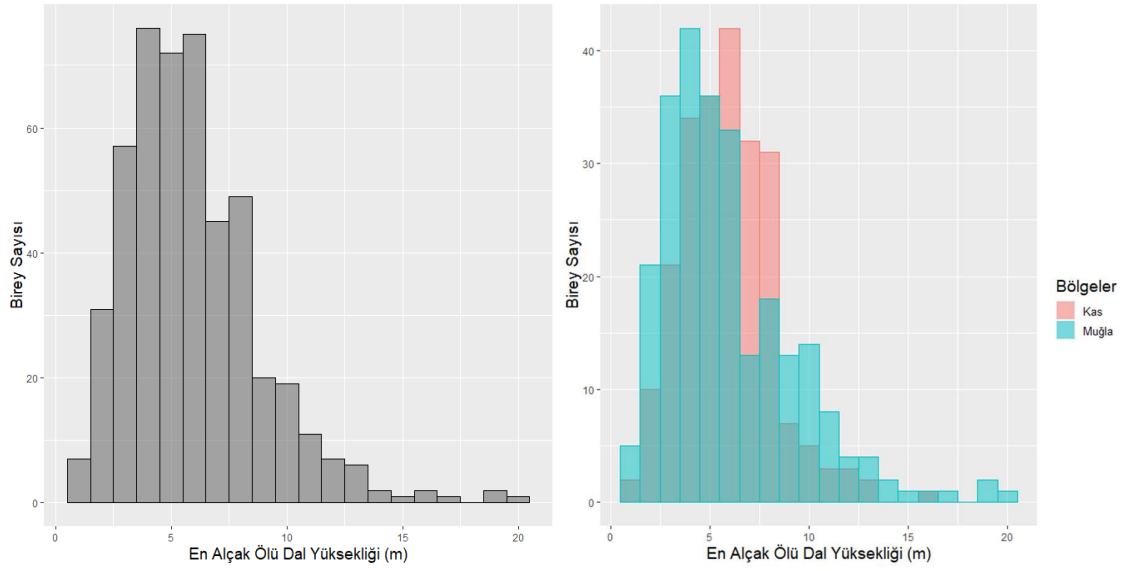
5.4.3 Doğal Dal Budanması- En Alçak Ölü Dal (ND_prox)

Tüm çalışma bölgesindeki bireylerin en alçak ölü dallarının yerden yüksekliği verisinde oldukça fazla sayıda “0” değeri olması nedeni ile bu değerlerin silinmesine ve geriye kalan verilerle analizin gerçekleştirilmesine karar verilmiştir (Şekil 5.9).

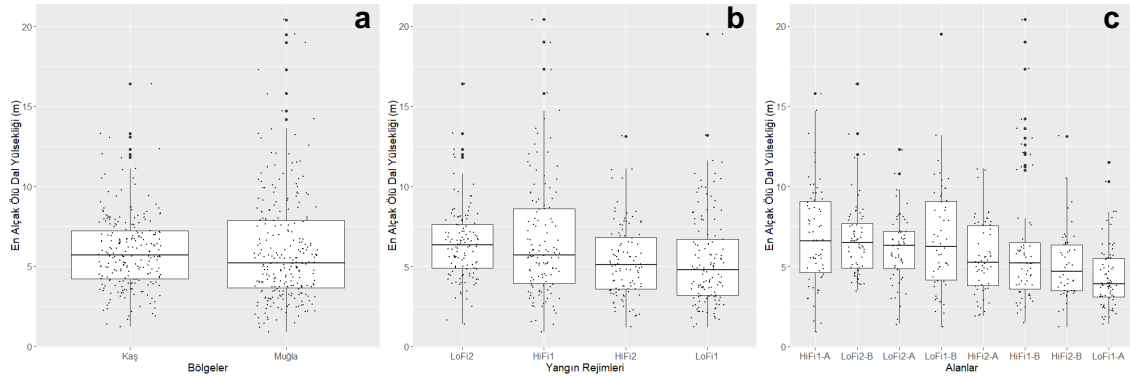
Kızılçam popülasyonlarında, en alçak ölü dal yüksekliğine ait “0” değerlerinin silinmesi ile elde edilen veride, birey düzeyinde değişkenlik gösterdiği (0.9 ile 20.4 m) ve ortalama 5.96 m olduğu tespit edilmiştir. Kızılçam bireylerinin %41’inin 5 m’den, %90.9’unun da 10 m’den daha alçak ölü dal yüksekliğine sahip olduğu görülmüştür (Şekil 5.9). Dolayısıyla, Kızılçam’da en alçak ölü dal yüksekliğinin sağdan çarpık bir dağılım gösterdiği (çarpıklık = 1.33), Muğla (çarpıklık = 1.37) ve Kaş (çarpıklık = 0.86) bölgelerindeki bireylerde en alçak ölü dal yüksekliği dağılımları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığı tespit edilmiştir (P = 0.41; Şekil 5.9).

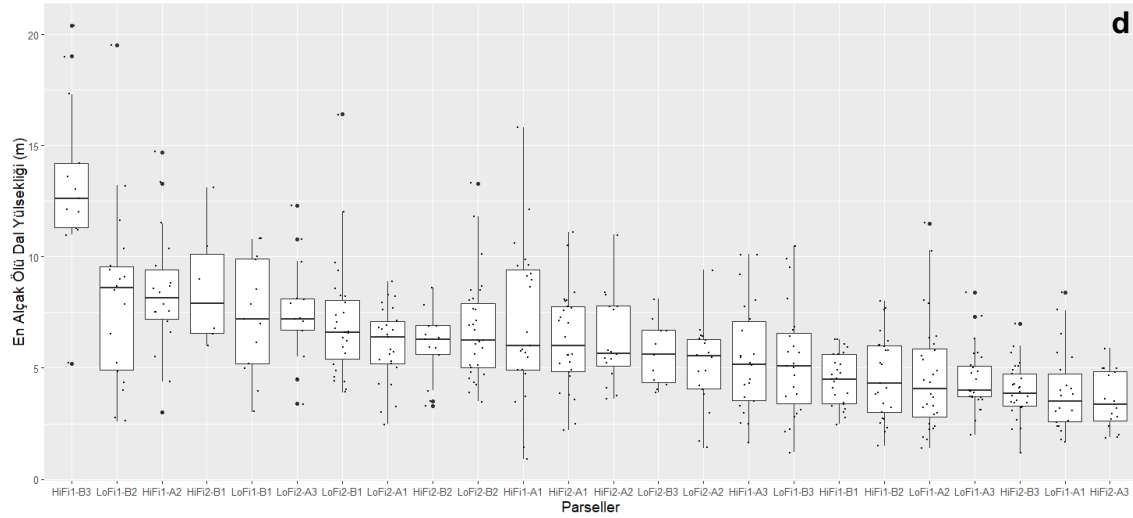
En alçak ölü dalların yerden yüksekliği değerlerindeki çeşitlilik değişkenliğinde, Muğla ve Kaş bölgeleri (P = 0.66), yangın rejimi kuşakları (P = 0.54) ve bölgelere ait yangın rejimi kuşakları (P = 0.22) arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark tespit edilememiştir (Şekil 5.11). En alçak ölü dal yüksekliği ile bölge, yangın rejimi kuşakları ve bölge-yangın rejimi kuşakları etkileşimi arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişkiye rastlanmamıştır (Çizelge 5.5).

Tüm çalışma bölgesi ve Muğla’da en alçak ölü dal yüksekliği ile, ağaç çapı (sırası ile %26 ve %46) ve ağaç boyu (sırası ile %52 ve %75) arasında, Kaş’ta ise sadece ağaç boyu arasında (%34) pozitif ilişkilere rastlanmıştır (Şekil 5.12, Çizelge 5.6, EK 7). Net birincil verimlilik yüm çalışma bölgesi ve Muğla’da en alçak ölü dal yüksekliği ile pozitif bir ilişkiye sahip olduğu belirlenmiştir (Şekil 5.12). Bu ilişki tüm çalışma bölgesinde bölgesel etki ile beraber görülüp %41, Muğla bölgesinde yangın rejimi kuşağı etkisi ile beraber görülüp %63 açıklayıcılığa sahiptir (Şekil 5.12, Ek 7). Kaş bölgesinde ise kurak dönem yağışın en alçak ölü dal yüksekliği ile pozitif ilişkili olduğu ve bu ilişkinin yangın rejimi kuşakları etkisi ile %67 açıklayıcılık gösterdiği belirlenmiştir (EK 7).



Şekil 5.9. Kızılcım’da en alçak ölü dal yüksekliğinin farklı alansal ölçeklerde bireyler arası değişkenliği. Soldaki gri grafik tüm veriler, renkli grafikler ise bölgesel ölçekteki (Kaş ve Muğla) veriler kullanılarak çizilmiştir.





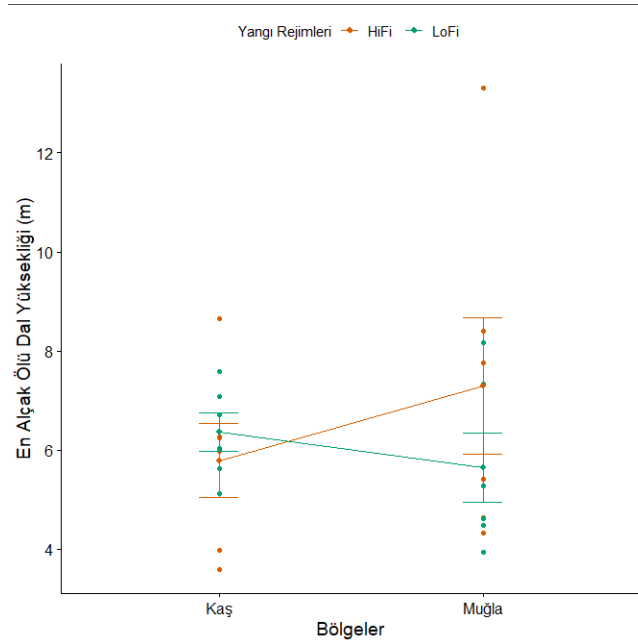
Şekil 5.10. Kızılcım'da en alçak ölü dal yüksekliğinin farklı alansal ölçeklerde değişkenliği. Grafikte bölge (a), yangın rejim kuşağı (b), alan (c) ve parsel (d) ölçeklerinde bireylerin serotiniclik oranı (%) değerlerinin dağılımı verilmiştir. Grafikteki her bir nokta bir Kızılcım bireyini temsil etmektedir. Grafiklerde kategoriler, medyan serotiniclik oranı (%) değerlerine göre sıralanmıştır.

Çizelge 5.5. Bölge ve yangın rejimi kuşaklarının en alçak ölü dal yüksekliği üzerindeki etkisini test eden doğrusal model analizlerinin özeti. Analizde, her bir faktörün ya da faktör etkileşimlerinin yer aldığı model bir olabilirlik oran testi (*likelihood ratio test*) kullanılarak boş modelle karşılaştırılmıştır. Her bir modelin AIC, R² ve P değerleri verilmiştir. Anlamlı P değerleri (< 0.05) koyu renkte verilmiştir. Ayrıntılı sonuçlar EK 7'de verilmiştir.

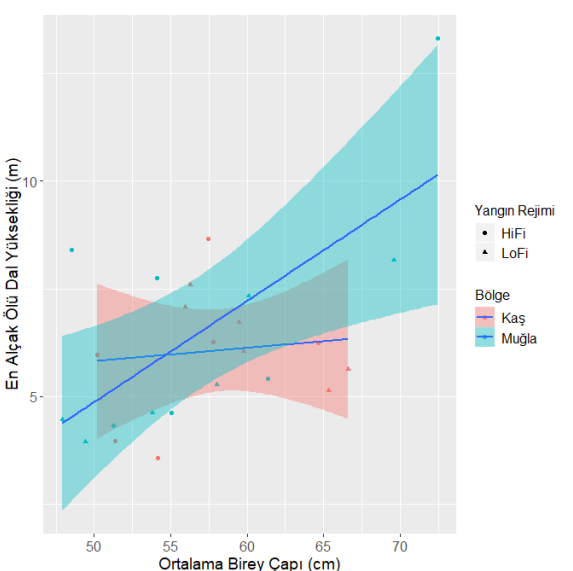
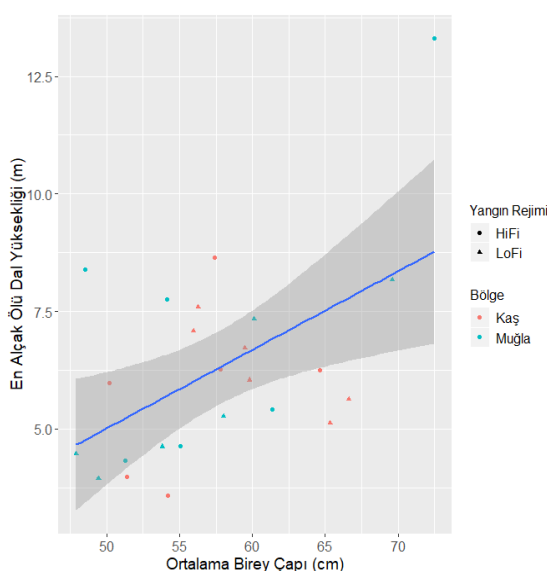
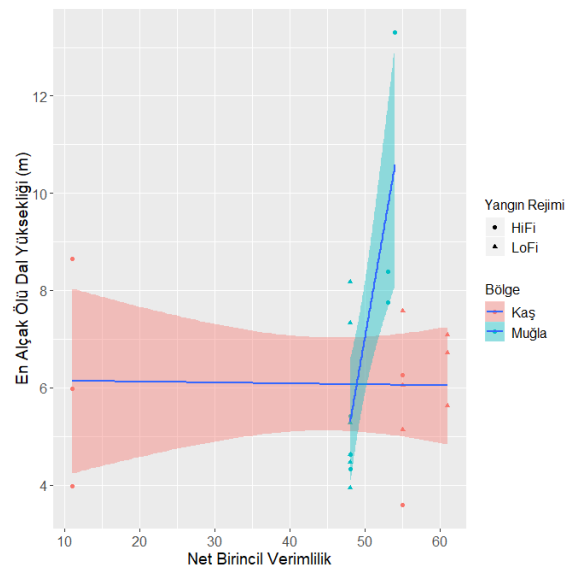
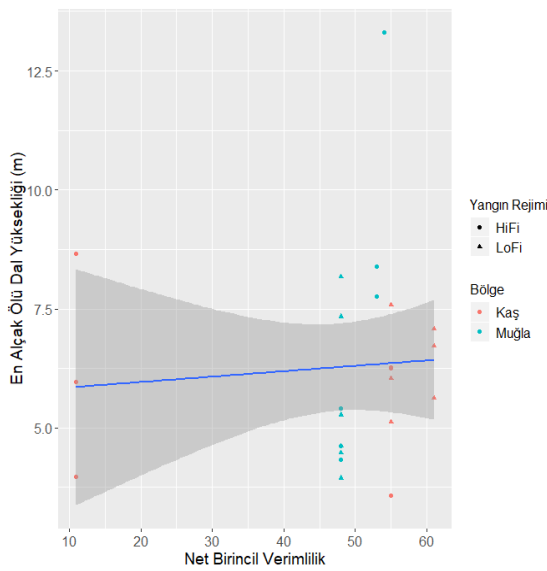
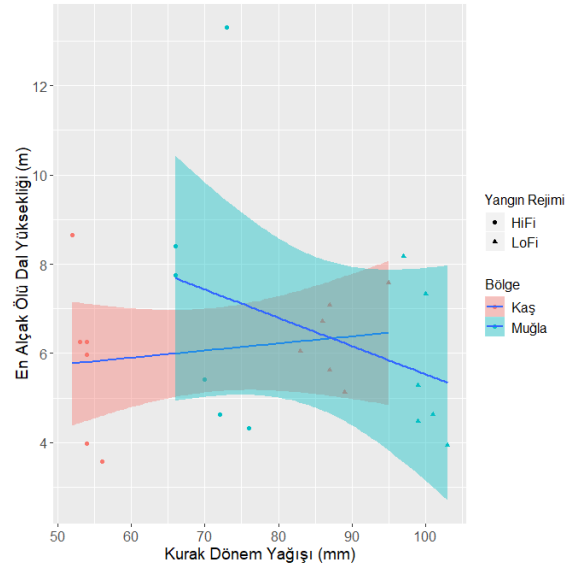
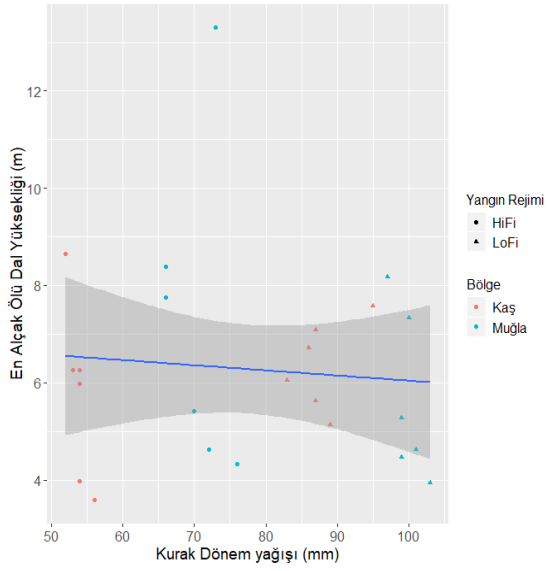
En Alçak Ölü Dal Yüksekliği ("0"sız - m)	Kaş			Muğla			Tüm Çalışma Bölgesi		
	AIC	R ²	P	AIC	R ²	P	AIC	R ²	P
boş model	-16.16	-	-	-7.09	-	-	-25.54	-	-
Bölge	-	-	-	-	-	-	-23.58	0.002	0.851
Yangın Rejimi	-15.07	0.073	0.395	-6.27	0.094	0.333	-23.66	0.005	0.743
Bölge*Yangın Rejimi	-	-	-	-	-	-	-21.77	0.089	0.592

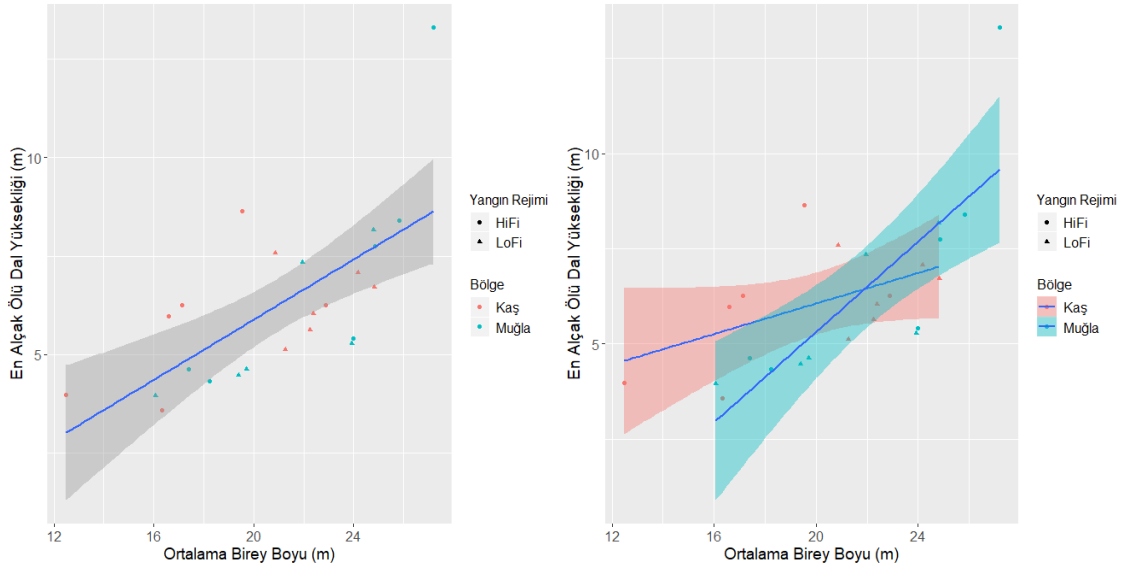
Çizelge 5.6. Bağımlı değişkenlerin en alçak ölü dal yüksekliği üzerindeki etkisini test eden doğrusal model analizlerinin özeti. Analizde, her faktörün yer aldığı model bir olabilirlik oran testi (*likelihood ratio test*) kullanılarak boş modelle karşılaştırılmıştır. Her modelin AIC, R² ve P değerleri verilmiştir. Anlamlı P değerleri (<0.05) koyu renkte verilmiştir. Tmean: yıllık ortalama sıcaklık(°C), Pann: yıllık toplam yağış (mm), AET: gerçek evapotranspirasyon (mm), YD: yangın döngüsü (yıl), NPP: net birincil verimlilik, Pdry: kurak dönem yağış (mm). Btmax: maksimum kabuk kalınlığı (cm), Hei: ortalama birey boyu (m), Dia: ortalama birey çapı (cm), Ser: serotinitik oranı (%), Seryaş: En yaşlı serotinitik kozalak yaşı (yıl).

En Alçak Ölü Dal Yüksekliği ("0"sız - m)	Kaş			Muğla			Tüm Çalışma Bölgesi		
	AIC	R ²	P	AIC	R ²	P	AIC	R ²	P
T _{mean}	-14.94	0.063	0.433	-7.25	0.165	0.191	-23.92	0.016	0.558
P _{ann}	-15.63	0.115	0.281	-5.67	0.047	0.499	-24.19	0.027	0.445
AET	-14.71	0.045	0.508	-6.6	0.118	0.275	-23.69	0.007	0.708
YD	-14.22	0.005	0.825	-9.22	0.291	0.07	-23.9	0.015	0.568
NPP	-14.17	0.001	0.925	-16.18	0.603	0.003	-23.76	0.009	0.658
P _{dry}	-14.95	0.064	0.428	-6.95	0.144	0.224	-23.66	0.005	0.737
Btmax	-15.83	0.13	0.25	-5.09	0	0.992	-23.88	0.014	0.582
Hei	-19.1	0.337	0.048	-21.91	0.754	<0.0001	-41.19	0.521	<0.0001
Dia	-14.54	0.031	0.581	-12.5	0.461	0.015	-30.9	0.264	0.01
Ser	-14.25	0.008	0.788	-5.78	0.055	0.461	-24.05	0.021	0.5
Seryaş	-16.92	0.205	0.139	-6.09	0.08	0.374	-25.54	0.08	0.18



Şekil 5.11. Bölge ve yangın rejimi kuşağının en alçak ölü dal yüksekliğine etkisinin iki yönlü analizinin grafiksel gösterimi.





Şekil 5.12. En alçak ölü dal yüksekliği ve bağımlı değişkenler arasındaki ilişkilerin özeti. Doğrusal çizgiler, tüm çalışma bölgesi ve bölge seviyelerinde doğrusal regresyon analizinin sonucunu temsil etmektedir. Yalnızca anlamlı modellerin grafikleri sunulmuştur. Her nokta, bir parselin ortalama değerini temsil etmektedir. Noktaların bölgeleri ve yangın rejim kuşakları sırasıyla ayrı renklerde (Kaş: kırmızı, Muğla: mavi) ve şekillerde (HiFi: daire, LoFi: üçgen) verilmiştir

6. GÜNEYBATI ANADOLU'DA DOĞAL YAYILIM GÖSTEREN KIZILÇAM POPÜLASYONLARINA AİT GENETİK YAPININ BELİRLENMESİ

6.1. Giriş

Bir türün özelliklerini tanımlamak ve anlamak için doğal popülasyonlarına ait ekolojik ve morfolojik karakterlerinin incelenmesi önemli olduğu kadar bu popülasyonların demografik yapılarını ve genetik çeşitliliklerini anlamak da gerekmektedir.

Kızılçam'ın da içinde bulunduğu Akdeniz çamı türlerinin, diğer tüm kozalaklı ağaçlara göre, popülasyon içinde daha yüksek genetik farklılaşmaya, daha az genetik çeşitliliğe sahip olduğu ve bu çeşitliliğin büyük bir biyocoğrafik deseni gösterdiği bilinmektedir. (Fady, 2012). Genetik çalışmaların ilerlemesi ile daha yüksek çözünürlüklü veri sağlayan farklı markör sistemlerinin geliştirilmesi sayesinde, Akdeniz çam türlerindeki bu evrimsel olarak nötr olan, seçilimden ziyade mutasyon, göç, genetik sürüklenme ve üreme sistemleri ürünü olarak ortaya çıkan çeşitlilik (Kimura, 1968; nötral genetik çeşitlilik) eğilimlerinin ve uyarlanabilirliği sağlayan genetik varyasyon kalıplarının rastgele olmadığı doğrulanmıştır (Fady ve Conord 2010; Soto vd., 2010; Grivet vd., 2011).

Akdeniz havzası ve Kaliforniya'da, alçak rakımda bulunan çam türlerinin yüksek rakımda bulunan çamlardan daha az genetik çeşitliliğe sahip olduğu belirlenmiştir (Fady, 2005). Ayrıca, İber Yarımadasında, soğuğa dayanıklı dağ çamlarının (*P. uncinata*, *P. nigra* ve *P. sylvestris*), alçak rakımlarda yayılım gösteren kserotermik çamlardan (*P. halepensis* ve *P. pinea*) önemli ölçüde daha yüksek genetik çeşitliliğe sahip olduğu, *P. pinaster*'in ise ortalama değerler gösterdiği ortaya çıkarılmıştır (Soto vd., 2010). Ek olarak, geniş alanlara yayılım gösteren Akdeniz çamlarında (*P. halepensis* ve *P. brutia*) genetik çeşitliliğin batıdan doğuya artan bir eğilime sahip olduğu da bilinmektedir (Fady, 2005). Bu batı-doğu genetik çeşitlilik değişiminin güçlü bir şekilde *P. halepensis* ve *P. brutia* (Fady, 2005), zayıf olarak *P. nigra* ve *P. sylvestris* (Fady ve Conord, 2010) ve en düşük *P. uncinata* ve *P. mugo* popülasyonlarında (Heuertz vd., 2010) bulunduğu gösterilmiştir.

Popülasyon demografisini şekillendiren göç, genetik sürüklenme ve doğal seçilimden etkilendikleri için genetik çeşitlilik ve tür çeşitliliği arasında bir korelasyon olduğu ileri sürülmektedir (Vellend ve Geber, 2005). Genetik çeşitlilik gibi, tür çeşitliliğinin de Akdeniz Havzasında yüksek oluşu ("biyolojik çeşitlilik sıcak noktası" Myers vd., 2000), buradaki

taksonlara ait popülasyonların, Pleistosen öncesi tektonik ve iklimsel faktörlerin heterojen bir coğrafya oluşturması ve Pleistosen boyunca da on binlerce yıl birbirlerinden izole kalmaları nedeni ile sınırlı gen akışına bağlı olarak birbirinden oldukça farklılaşmaları ile açıklanmaktadır (Petit vd., 2005; Rodriguez-Sanchez vd., 2010).

Pinus alt cinsinin, filogenetik analizlerle de desteklenen, yangın rejimlerine uyum sağlayan fenotipik ve fonksiyonel özelliklere sahip olduğu bilinmektedir (Schwilk ve Ackerly 2001; Keeley, 2012; Pausas vd., 2004). Alçak rakımlı popülasyonlarda, yangın rejimlerinin sık ve şiddetli olmaları sonucunda etkili popülasyon büyüklüğü ve popülasyon içi genetik çeşitlilikte azalma beklenmektedir. Bu durum düşük ve yüksek rakımlardaki popülasyonlar arası genetik çeşitlilik farkını açıklayabilmektedir (Fady, 2012). Fakat, bu tip popülasyonlara sahip türlerde, büyük düzeylerde nötral genetik çeşitliliğin tespit edilmesi, yangın rejimlerine uyumu sağlayan karakterler nedeni ile çeşitliliğin korunduğuna işaret etmektedir (Gómez vd., 2003; Santos-del-Blanco vd., 2010).

Akdeniz çamlarında genetik çeşitliliğin batıdan doğuya artışı açıklayan iki hipotez mevcuttur. Bunlardan birincisi; Son Buzul Maksimum sırasında iklimin Akdeniz'in batısında çok sert olması nedeni ile doğuya yayılmanın elverişli olması (van Andel, 2002) ve Güney Buzul Sığınağının Holosen'de tekrar kolonizasyon başlayana kadar Avrupa'nın başlıca orman türlerine ev sahipliği yapmasına (Magri vd., 2006; Liepelt vd., 2009) dayanmaktadır. Son Buzul Maksimumu'nun sert iklimsel şartları altında hayatta kalmayı başarabilen yerel popülasyonlar ile Güney Buzul Sığınağından yayılarak Avrupayı kolonize eden popülasyonlarda kurucu ve dar boğaz etkileri nedeni ile genetik çeşitlilikte düşüş olması, Akdeniz Havzasındaki batıdan doğuya genetik çeşitliliğin yüksek oluşunu açıklayabilmektedir (Gomez vd., 2005; Grivet vd., 2009).

İkinci hipotez ise; Son Buzul Maksimumu sırasında yerel popülasyonların hayatta kalmasına dayanmaktadır (Fady ve Conord, 2010). Son Buzul Maksimumu'nda Halep çamının dağılım gösterdiği alanların sadece batı kesiminde güçlü bir demografik darboğaz yaşadığına dair veri elde edilmesi ve benzer bir desenin *P. pinea*'da da görülmesinin, batıdan doğuya genetik çeşitlilikteki artışa bir kanıt olduğu ileri sürülmüştür (Fady ve Conord, 2010; Vendramin vd., 2008a). Ayrıca bu hipotez batı Akdeniz ve Kaliforniya'daki tüm sıcak seven düşük rakımlı çamların düşük çeşitliliğini ve etkili popülasyon büyüklüğünü yerel popülasyonların etkisi ile açıklamaktadır (Fady ve Conord, 2010).

Yerel ve bölgesel çevre koşullarına uyum nedeni ile genetik çeşitliliğin etkilenmesi sonucunda Akdeniz çamlarının yapısını değişmesi, doğal popülasyonlarda yerel uyumun yaygın oluşu ile desteklenmektedir (Savolainen vd., 2007).

Akdeniz çamlarından biri olan Kızılcım'ın, yangın rejimleri ve ekolojik değişkenlere sağladıkları uyumun ve yüksek varyasyona sahip olan fenotipik özelliklerinin genetik çeşitlilik ve popülasyon demografisi ışığında araştırılması amacı ile bu çalışma yapılmıştır.

6.2.Yöntem

6.2.1 Yaprak Örneklerinin Eldesi

Bu çalışmada, örneklem tasarımı ve çalışma alanları ile bireylerinin seçimi, bu tezde yer alan Bölüm 2.2.'de belirtildiği şekilde gerçekleştirilmiştir.

Genetik analizlerde kullanılması planlanan yaprak örneklerinin toplanacağı bireyler, incelenen grupları temsil etmesi amacı ile karakter ölçümleri yapılan bireyler arasından tesadüfi olarak seçilmiştir. Örneklem sistemi planlanırken, alanlar arası bırakılan yaklaşık 20 km nin aynı bölgelerdeki popülasyonları temsil etmeye yeteceği düşünülmüştür. Bu nedenle her parselden en az 5 birey alınması sonucu popülasyon düzeyinde minimum 15 birey örneklenmiş olacaktır. Fakat arazi ölçümleri sırasında yangınla ilişkili karakterlerdeki çeşitliliğin parsellerde daha belirgin olduğunun farkedilmesi üzerine, olası genetik çeşitliliği kaydedebilmek için, her parselde örneklenen birey sayısı, ağaca ve yapraklarına ulaşım durumuna bağlı olarak arttırılmıştır. Bu nedenle parsel başı örneklenen birey sayısı minimum 5 maksimum 17 olarak (toplam 309 birey) ayarlanabilmiştir (Çizelge 6.1).

Arazide rastgele seçilen bireylere ait iğne yaprakların bulunduğu dallar, uzun kollu budama makası ile kesilerek alınmıştır. Çam bireylerinden örnekler, maksimum 20 m'ye kadar olan kesimden alınmıştır, bu yükseklikten daha aşağıda canlı dala sahip olmayan bireyler örneklemden hariç bırakılmıştır. Yaprakları içeren dal örnekleri kesildikten sonra, aralarında kontaminasyon belirtisi görülmeyen ibre yaprakların seçilmesine dikkat edilmiştir. Toplanan yapraklar kese kâğıtları içinde, silika jel bulunan şeffaf kilitli poşetlere yerleştirilmiştir (Şekil 6.1). Araziden laboratuvara getirilen yaprak örneklerinin tamamen kuruması için önce 2 günde bir daha sonra haftada bir silika jelleri değiştirilmiştir. Kuruduğu tespit edilen örnekler çay filtrelerine geçirilerek tekrar silika jel içeren kilitli poşetlere alınmıştır.



Şekil 6.1. Yaprak örneği toplanması (Fotoğraf: D. Deniz Kazancı)

Çizelge 6.1. Çalışmada kullanılan bireylerin farklı parsellerdeki sayısı.

Bölge	Yangın Rejimi	Alan	Parsel	Örnek Sayısı
Muğla	HiFi	A	Site1	11
Muğla	HiFi	A	Site2	9
Muğla	HiFi	A	Site3	19
Muğla	HiFi	B	Site1	12
Muğla	HiFi	B	Site2	12
Muğla	HiFi	B	Site3	6
Muğla	LoFi	A	Site1	11
Muğla	LoFi	A	Site2	13
Muğla	LoFi	A	Site3	14
Muğla	LoFi	B	Site1	17
Muğla	LoFi	B	Site2	15
Muğla	LoFi	B	Site3	17
Kas	HiFi	A	Site1	11
Kas	HiFi	A	Site2	15
Kas	HiFi	A	Site3	15
Kas	HiFi	B	Site1	11
Kas	HiFi	B	Site2	12
Kas	HiFi	B	Site3	13
Kas	LoFi	A	Site1	14
Kas	LoFi	A	Site2	17
Kas	LoFi	A	Site3	14
Kas	LoFi	B	Site1	8
Kas	LoFi	B	Site2	10
Kas	LoFi	B	Site3	12

6.2.2. Laboratuvar Çalışmaları

Toplanan yaprak örneklerinden DNeasy Plant Mini Kit (Qiagen) kullanılarak ve üretici firmaya ait protokol takip edilerek DNA izolasyonu gerçekleştirilmiştir. DNA kalite ve miktarı %1'lik agaroz jel elektroforezi ve Thermo Fisher Scientific Qubit 3.0 Fluorometer aracılığıyla ölçülmüştür.

Proje için seçilmiş olan 11 adet kloroplast mikrosatellit lokusuna ait primerler, bütçede oluşan kısıtlamalar nedeni ile 8 adet olacak şekilde azaltılmıştır (Çizelge 6.2 ve Çizelge 6.3). Bu lokuslara ait primerler mültipleks PCR yapılmak üzere iki gruba ayrılarak ABI Kapiller Elektroforez'e uygun boyalar (FAM, HEX, TAMRA) ile boyalı şekilde sipariş edilmiştir (Çizelge 6.3).

DNeasy Plant Mini Kit kullanılarak, PCR mix ve PCR program optimizasyonu üretici firma (Qiagen) protokolü takip edilerek gerçekleştirilmiştir (Şekil 6.2). DNA örnekleri; floresan işaretli forward ve reverse primerler, Taq DNA polimeraz, dNTP, MgCl₂ (magnezyum klorür) ve tampon içeren PCR mixi eklenerek, PCR reaksiyonuna alınmıştır. Elde edilen tüm PCR ürünleri %2'lik agaroz jel elektroforezi ile kontrol edilmiştir (Şekil 6.3).

Amplifikasyonu başarılı olan örnekler kapiller elektroforezde koşturulmak üzere hizmet alımı yapılacak laboratuvara gönderilmiştir. Hizmet alımı sonucu elde edilen fragment verileri "Peak Scanner" adlı ücretsiz program yardımı ile dışa aktarılmıştır. (Şekil 6.4).

Çizelge 6.2. Çalışmada incelenen mikrosatellit lokusları, primer kodları ve sekansları.

Primer kodu	Primer Seq. (5'-3') (sens ve antisens)	Lokasyon	Kullanıldığı Yayınlar
Pt9383	AGAATAAACTGACGTAGATGCCA AATTTTCAATTCCTTTCTTTCTCC	trnG(UCC) intron	Vendramin vd., 1996; Bucci vd., 1998
Pt1254	CAATTGGAATGAGAACAGATAGG TGCGTTGCACTTCGTTATAG	psbA - trnK (UUU) spacer	Vendramin vd., 1996; Kurt vd., 2012; Bilgen ve Kaya, 2014
Pt26081	CCCGTATCCAGATATACTTCCA TGGTTTGATTCATTCGTTTCAT	rboB	Vendramin vd., 1996; Bucci vd., 1998; Grivet vd., 2009
Pt30204	TCATAGCGGAAGATCCTCTTT CGGATTGATCCTAACCATACC	clpP	Vendramin vd., 1996; Bucci vd., 1998; Kurt vd., 2012; Bilgen ve Kaya, 2014
Pt36480	TTTTGGCTTACAAAATAAAAGAGG AAATTCCTAAAGAAGGAAGAGCA	psbj - petA spacer	Vendramin vd., 1996; Bucci vd., 1998; Grivet vd., 2009; Kurt vd., 2012
Pt15169	CTTGGATGGAATAGCAGCC GGAAGGGCATTAAAGGTCATTA	rps2	Vendramin vd., 1996; Bucci vd., 1998; Grivet vd., 2009; Kurt vd., 2012; Bilgen ve Kaya, 2014
Pt71936	TTCATTGGAAATACACTAGCCC AAAACCGTACATGAGATTCCC	IRF169	Vendramin vd., 1996; Bucci vd., 1998; Grivet vd., 2009; Kurt vd., 2012; Bilgen ve Kaya, 2014
Pt87268	GCCAGGGAAAATCGTAGG AGACGATTAGACATCCAACCC	hnl(GAU)-tmA(UGC) spacer	Vendramin vd., 1996; Bucci vd., 1998; Grivet vd., 2009; Kurt vd., 2012; Bilgen ve Kaya, 2014

Çizelge 6.3. Multipleks PRC’da kullanılmak üzere seçilen primerler ve kullanım şekilleri. FAM ile boyalılar mavi, HEX ile boyalılar yeşil, TAMRA ile boyalılar sarı renk ile gösterilmiştir.

Set no	Lokus Kodu	Primer sequences (5'-3') Sense / antisense	PCR ürün büyüklüğü	TM	Bağlanma Sıcaklığı
1	Pt9383	AGAATAAACTGACGTAGATGCCA	87	54.6	45.6
		AATTTTCAATTCCTTTCTTTCTCC	84	50.6	
1	Pt26081	CCCGTATCCAGATATACTTCCA	112	54.4	45.9
		TGGTTTGATTCATTCGTTTCAT	109	50.9	
1	Pt71936	TTCATTGGAAATACACTAGCCC	148	53.8	48.8
		AAAACCGTACATGAGATTCCC	146	53.8	
1	Pt36480	TTTTGGCTTACAAAATAAAAGAGG	147	50.7	45.7
		AAATTCCTAAAGAAGGAAGAGCA	145	52.9	
2	Pt1254	CAATTGGAATGAGAACAGATAGG	74	52.1	47.1
		TGCGTTGCACTTCGTTATAG	72	54.2	
2	Pt30204	TCATAGCGGAAGATCCTCTTT	145	54.4	49
		CGGATTGATCCTAACCATACC	140	54	
2	Pt15169	CTTGGATGGAATAGCAGCC	118	55	48.6
		GGAAGGGCATTAAAGGTCATTA	115	53.6	
2	Pt87268	GCCAGGGAAAATCGTAGG	165	54.9	49.9
		AGACGATTAGACATCCAACCC	167	55.5	

4-plex PCR (enter the numbers of targets to be amplified simultaneously, please)

PCR mastermix setup

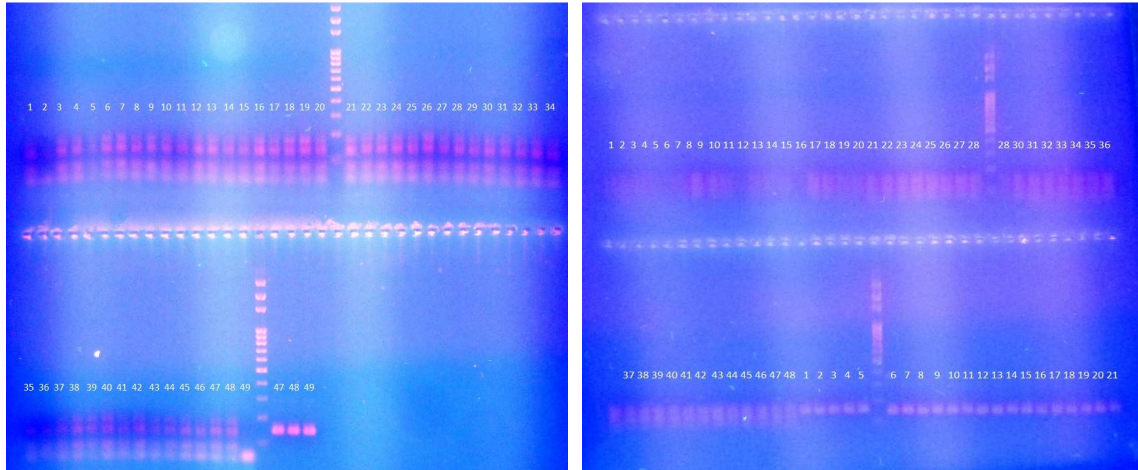
No. of reactions: 48 rxn
 Reaction volume per rxn: 30 µl
 Pipetting error: 1 %

Biometra - your source for Biometra products in Germany.
 An Analytik Jena Company You're located elsewhere? Find your local distributor at www.biometra.com

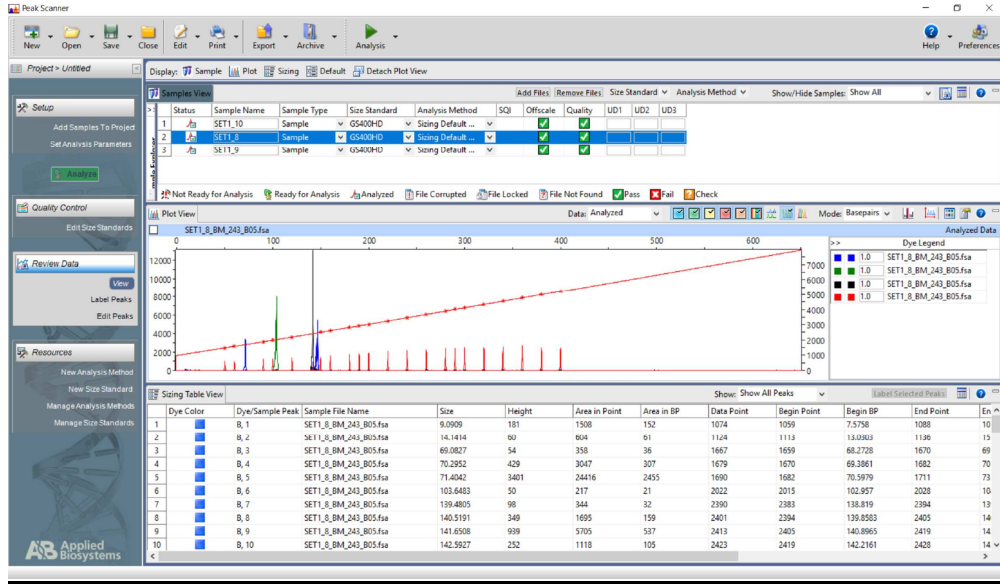
Reagent	Stock conc.	Final conc. in reaction	Masternix setup (µl)
Additive 1			Additive 1
Additive 2			Additive 2
Buffer	10 X	1,0 X	145,44 µl Buffer
Mg conc. of buffer	0 mM	4,0 mM Mg total	232,70 µl separate Mg solution
separate Mg solution	25 mM		21,82 µl dNTPs
dNTPs	20 mM each	0,3 mM each	68,18 µl 54-F
54-F	10 µM	0,4 µM	68,18 µl 54-R
54-R	10 µM	0,4 µM	68,18 µl 204-F
204-F	10 µM	0,4 µM	68,18 µl 204-R
204-R	10 µM	0,4 µM	68,18 µl 69-F
69-F	10 µM	0,4 µM	68,18 µl 69-R
69-R	10 µM	0,4 µM	68,18 µl 68-F
68-F	10 µM	0,4 µM	68,18 µl 68-R
68-R	10 µM	0,4 µM	
Forward-primer-5			
Reverse-primer-5			
Forward-primer-6			
Reverse-primer-6			
Forward-primer-7			
Reverse-primer-7			
Forward-primer-8			
Reverse-primer-8			
Forward-primer-9			
Reverse-primer-9			
Forward-primer-10			
Reverse-primer-10			
Polymerase	5,0 U/µl	3,0 U	29,09 µl Polymerase
Template	100 ng/µl	300 ng	414,60 µl PCR grade water
PCR grade water			
			1,308,96 µl TOTAL MASTERMIX

Aliquot per single rxn 27 µl of Mastermix per tube and add 3 µl of Template

Şekil 6.2. PCR mix ve PCR program optimizasyon örneği.



Şekil 6.3. PCR ürünlerinin %2'lik agaroz jel elektroforez örneği.



Şekil 6.4. Fragment verilerinin kontrol edildiği program “Peak Scanner”

6.3. Veri Analizleri

Çalışmaya ait tanımlayıcı analizler “adegenet” (Jombart, 2008) paketi ile R programında ve GenAIEx programı (Peakall, 2006) ile hesaplanmıştır.

Tüm çalışma bölgesi, bölgeler, yangın rejimi kuşakları, alanlar ve parseller arasındaki genetik farklılaşmayı tespit etmek amacı ile populasyonlar arası ikili genetik uzaklık, F_{ST} değerleri, farklı yaklaşımlara ait genetik uzaklıklar (G_{ST} , G_{prime_st} ve D), temel bileşenlerin ayrıştırıcı analizi (Discriminant Analysis of Principal Components - DAPC), hiyerarşik kümeleme analizleri (UPGMA dendrogramları) ve mesafeye bağlı izolasyon (Isolation by Distance –IBD) analizi “pegas” ve “adegenet” paketleri ile R programı kullanılarak elde edilmiştir (Jombart, 2008; Paradis, 2010).

Shannon Çeşitlilik İndeksi, moleküler varyans ve her lokus için konumsal yapı analizi hesaplamaları GenAIEx programı ile yapılmıştır (Peakall, 2006).

Çalışmada kullanılan tüm ölçeklerdeki genetik ilişkiyi açıklamak, grupların birbirlerine olan genetik katkıları belirlemek için STRUCTURE ve STRUCTURE HARVESTER programları kullanılmıştır (Pritchard, 2000; Earl ve von Holdt, 2012). STRUCTURE analizi sırasında, örneklere katkı yapan doğru populasyon sayısını tahmin edebilmek için program manuelinde önerilen tüm analiz parametreleri denenmiştir. Bunların arasından çalışma grubumuza en uygun

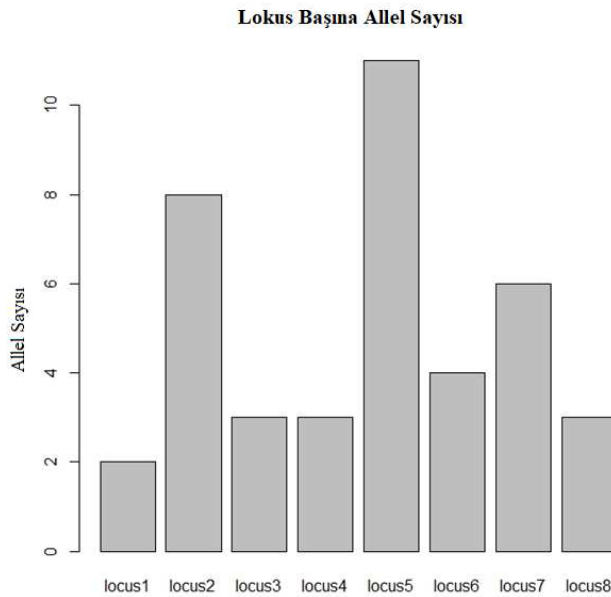
olduğunu düşündüğümüz, admixture modeli, allel frekansları ilişkili, 5 tekrarlı, 10 popülasyonluk, 200.000 burnin periyod ve 200.000 MCMC tekrarı olan parametre seçilmiştir.

6.4. Bulgular

6.4.1. Tanımlayıcı Analizler

Muğla (P1) ve Kaş (P2)'ta yayılım gösteren Kızılçam'a ait 24 adet parselde, 309 bireyin oluşturduğu örneklem grubunun 8 lokusa ait mikrosatellit verisi incelendiğinde toplam 40 adet allel tespit edilmiştir. Lokus başı toplam allel dağılımı Şekil 6.5'de görüldüğü şekildedir.

Yüksek allel sayısına sahip olan lokusların (lokus 2, 5, 6 ve 7) daha yüksek Shannon İndeksi, Haplotipik Çeşitlilik ve Tarafsız Çeşitlilik değerlerine sahip olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 6.4). Alanlara ait çeşitlilik belirteçleri incelendiğinde Muğla bölgesindeki alanların Kaş bölgesindekilerden daha yüksek çeşitliliğe sahip olduğu gösterilmiştir (Çizelge 6.5). Kaş'ta yüksek rakım alanları alçak rakımdaki alanlardan daha yüksek çeşitliliğe sahip iken, bu trendi Muğla'da alçak rakıma ait ikinci alan (PIHi2) bozmaktadır. Alanların tamamında genel olarak yüksek polimorfik lokus oranları belirlenmişken, Muğla alçak rakım ikinci alanda en yüksek oran elde edilmiştir (Çizelge 6.6).



Şekil 6.5. Lokuslara göre tespit edilen allel sayıları.

Çizelge 6.4. Lokuslara ait tanımlayıcı analiz sonuçları.

		Lokus 1	Lokus 2	Lokus 3	Lokus 4	Lokus 5	Lokus 6	Lokus 7	Lokus 8
Birey Sayısı (N)	Mean	38.375	38.125	38.250	38.500	38.000	38.375	38.000	38.500
	SE	2.556	2.423	2.484	2.493	2.420	2.492	2.420	2.493
Farklı allel sayısı (Na)	Mean	1.500	4.500	1.750	1.250	4.500	2.625	3.375	1.750
	SE	0.189	0.598	0.250	0.164	0.378	0.183	0.420	0.250
Etken allel sayısı (Ne)	Mean	1.257	1.606	1.320	1.018	2.015	1.594	2.140	1.080
	SE	0.158	0.132	0.151	0.011	0.108	0.120	0.118	0.031
Shannon İndeksi (I)	Mean	0.200	0.726	0.288	0.037	0.932	0.580	0.878	0.141
	SE	0.108	0.104	0.102	0.024	0.044	0.066	0.068	0.049
Haplotipik Çeşitlilik (h)	Mean	0.135	0.350	0.184	0.016	0.493	0.346	0.524	0.069
	SE	0.079	0.048	0.074	0.011	0.030	0.050	0.023	0.025
Tarafsız Çeşitlilik (uh)	Mean	0.139	0.360	0.189	0.017	0.506	0.356	0.538	0.071
	SE	0.081	0.050	0.076	0.011	0.031	0.052	0.023	0.026

Çizelge 6.5. Alanlara ait tanımlayıcı analiz sonuçları.

		Birey Sayısı (N)	Farklı allel sayısı (Na)	Etken allel sayısı (Ne)	Shannon İndeksi (I)	Haplotipik Çeşitlilik (h)	Tarafsız Çeşitlilik (uh)
P1Hi1	Mean	38.625	2.375	1.446	0.411	0.234	0.241
	SE	0.183	0.46	0.178	0.147	0.087	0.089
P1Hi2	Mean	29.75	2.5	1.694	0.573	0.356	0.368
	SE	0.164	0.189	0.178	0.104	0.074	0.077
P1Lo1	Mean	38.5	2.625	1.532	0.504	0.294	0.302
	SE	0.327	0.498	0.153	0.123	0.076	0.078
P1Lo2	Mean	48.375	3.375	1.584	0.552	0.287	0.293
	SE	0.263	0.778	0.222	0.167	0.087	0.089
P2Hi1	Mean	41	2.25	1.435	0.379	0.226	0.232
	SE	0	0.453	0.185	0.139	0.087	0.089
P2Hi2	Mean	35	2	1.357	0.341	0.199	0.205
	SE	0	0.423	0.158	0.138	0.08	0.083
P2Lo1	Mean	46	3.375	1.589	0.574	0.289	0.295
	SE	0	0.885	0.22	0.178	0.086	0.088
P2Lo2	Mean	28.875	2.75	1.394	0.447	0.232	0.241
	SE	0.125	0.366	0.145	0.124	0.07	0.073

Çizelge 6.6. Alanlara ait polimorfik lokus oranları.

Alanlar	Polimorfik Lokus
P1Hi1	62.50%
P1Hi2	100.00%
P1Lo1	75.00%
P1Lo2	87.50%
P2Hi1	62.50%
P2Hi2	50.00%
P2Lo1	75.00%
P2Lo2	87.50%
Mean	75.00%
SE	5.79%

6.4.2. Popülasyon Analizleri

Çalışmada kullandığımız ölçeklere ait genetik uzaklıklar incelendiğinde sadece alan ve parsel ölçeğinde tüm çalışma alanında ve Muğla bölgesinde oldukça düşük bir ayırım belirlenmiştir (Çizelge 6.7). Yangın rejimi, çalışma alanı ve parseller arası ikili genetik uzaklık (pairwised F_{ST}) hesaplandığında Şekil 6.6 elde edilmiştir. Muğla alçak rakımlarda bulunan P1Hi1, P1Hi2 ve yüksek rakımlarda bulunan P1Lo1 alanları ve bunların parselleri diğer gruplara genetik uzaklık açısından benzer örüntülere sahip oldukları belirlenmiştir. Buna ek olarak, Muğla yüksek kesimde bulunan P1Lo2 ve parsellerinin özellikle Kaş gruplarına daha çok benzediği ve benzer genetik uzaklık özelliklerine sahip olduğu görülmüştür (Şekil 6.6).

Parsellere ait lokus başı allel çeşitliliği ele alındığında, en yüksek çeşitliliğe sahip olanların sırası ile P1Lo6, P2Lo2, P2Lo3, P1Lo3 ve P1Lo4 olduğu tespit edilmiştir. Daha geniş kapsamda yangın rejimi kuşağı ölçeğinde lokus başı allel çeşitliliği incelendiğinde ise P1Lo (Muğla bölgesine ait yüksek kesim) en yüksek allel çeşitliliğine sahip iken, P2Hi (Kaş alçak kesim) en düşük çeşitliliğe (allel çeşitlilik sırası: P1Lo > P2Lo > P1Hi > P2Hi) sahip olduğu belirlenmiştir. Lokuslara ait allel çeşitliliğinin yanı sıra ölçeklerdeki grupların birbirlerine göre genetik açıdan ne kadar farklılaştığı incelendiğinde, istisnalar olmakla beraber, alçak kesimlerde bulunan grupların yüksek kesimlerde bulunanlara göre daha yüksek F_{ST} değerlerine sahip olduğu görülmektedir (Şekil 6.7).

Çizelge 6.7. Yangın rejimi, alan ve parsel ölçeklerinde tüm çalışma bölgesi ve bölgelere ait ortalama F_{ST} değerleri.

Ölçek	Ortalama F_{ST}		
	Muğla	Kaş	Tüm alan
Yangın Rejimi	0.013	0.009	0.012
Alan	0.035	0.01	0.023
Parsel	0.035	0.02	0.029

Elde edilen genetik uzaklık değerlerine göre grupların benzerlik/farklılık durumlarını görselleştirmek amacı ile sıcaklık haritası ve küme dendrogramları çizilmektedir (Şekil 6.8 ve Şekil 6.9). Sıcaklık haritalarına dayanılarak, yangın rejiminde P1Hi ve P2Lo alanda, P1Hi1 ve P1Lo1 parsellerde ise hem yangın rejimini hem de bölgeleri kapsayan farklılaşma desenlerinin olduğu belirlenmiştir (Şekil 6.8). Fakat daha önce de bahsedildiği üzere sözü geçen bu farklılaşmalar oldukça düşük değerlerdedir.

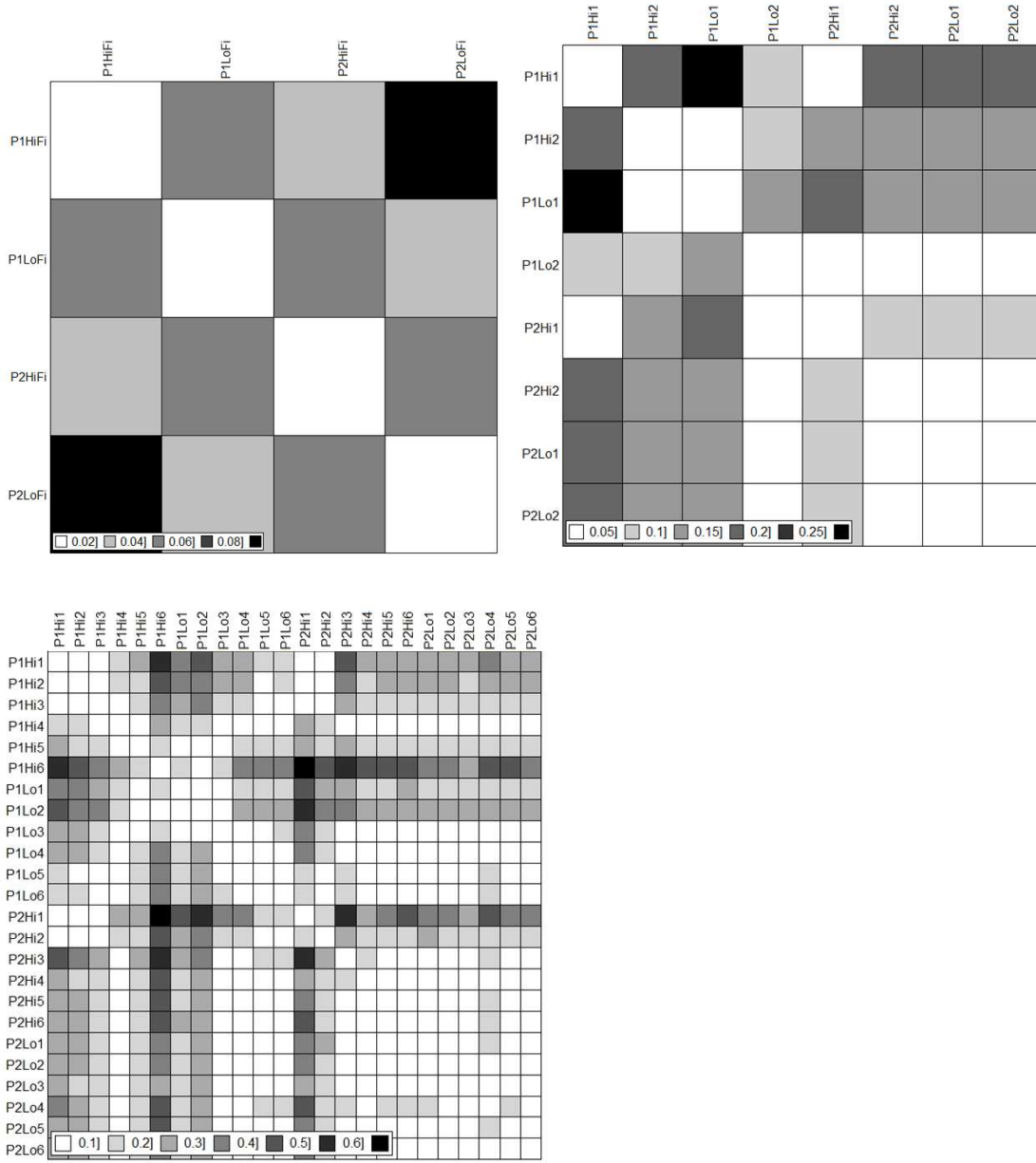
Küme dendrogramları incelendiğinde, yangın rejimi ve alanlar ölçeğinde yüksek ve alçak kesimlerin kümelenmeleri gözlemlenirken, veri çözünürlüğü arttıkça (parseller) bu ayrımın kaybolması dikkat çekmektedir (Şekil 6.9).

Çalışma bölgesine ait tüm ölçekleri kapsayacak şekilde Temel Bileşenlerin Ayrıştırıcı Analiz grafikleri çizildiğinde, birçok ölçek bileşeninin aynı yerde kümelendiği, sadece bir kaçının görece kümelenen gruptan ayrıldığı görülmektedir (EK 8). Bu durumun parsel düzeyinde var olduğu tespit edilen küçük farklılaşmaların bir sonucu olduğu tahmin edilmektedir.

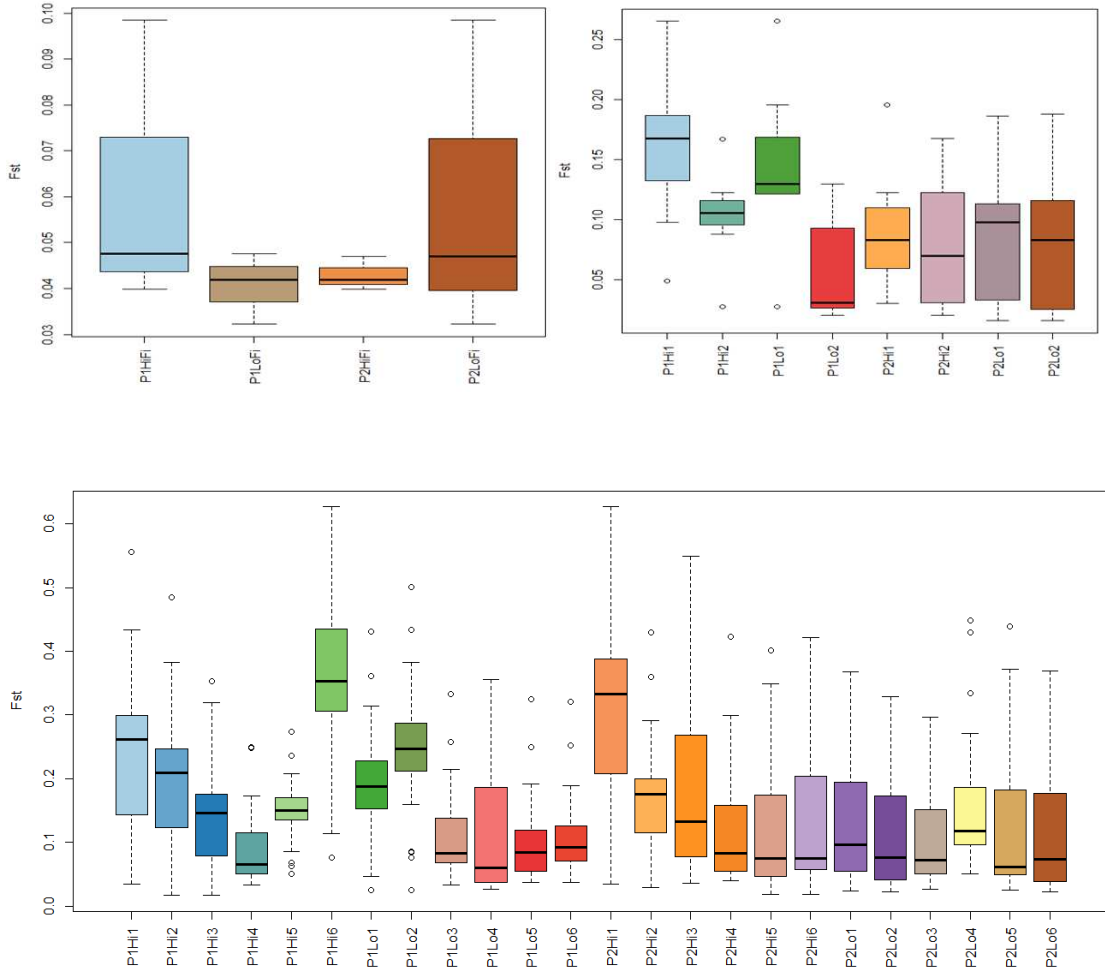
Bölge, yangın rejimi, alan ve parsellere göre farklı yaklaşımlara ait genetik uzaklıklar (Gst, Gprime_st ve D) hesaplandığında sadece yangın rejimine göre yapılan hesaplamalarda çok güçlü olmamak ile beraber bir farklılaşma belirlenebilmiştir (EK 9).

Shannon çeşitlilik indeksi sonuçları gözlemlenen çeşitliliğin %77 oranını alan içi bireyler, %17 oranında alanlar ve sadece %16 oranında bölgeler arasındaki farklılıktan kaynaklandığını göstermektedir (Şekil 6.10). Alan içi, alanlar arası ve bölgeler arası moleküler varyans incelendiğinde ise bu oranların sıra ile %83 %16 ve %1 olduğu görülmektedir (Şekil 6.11)

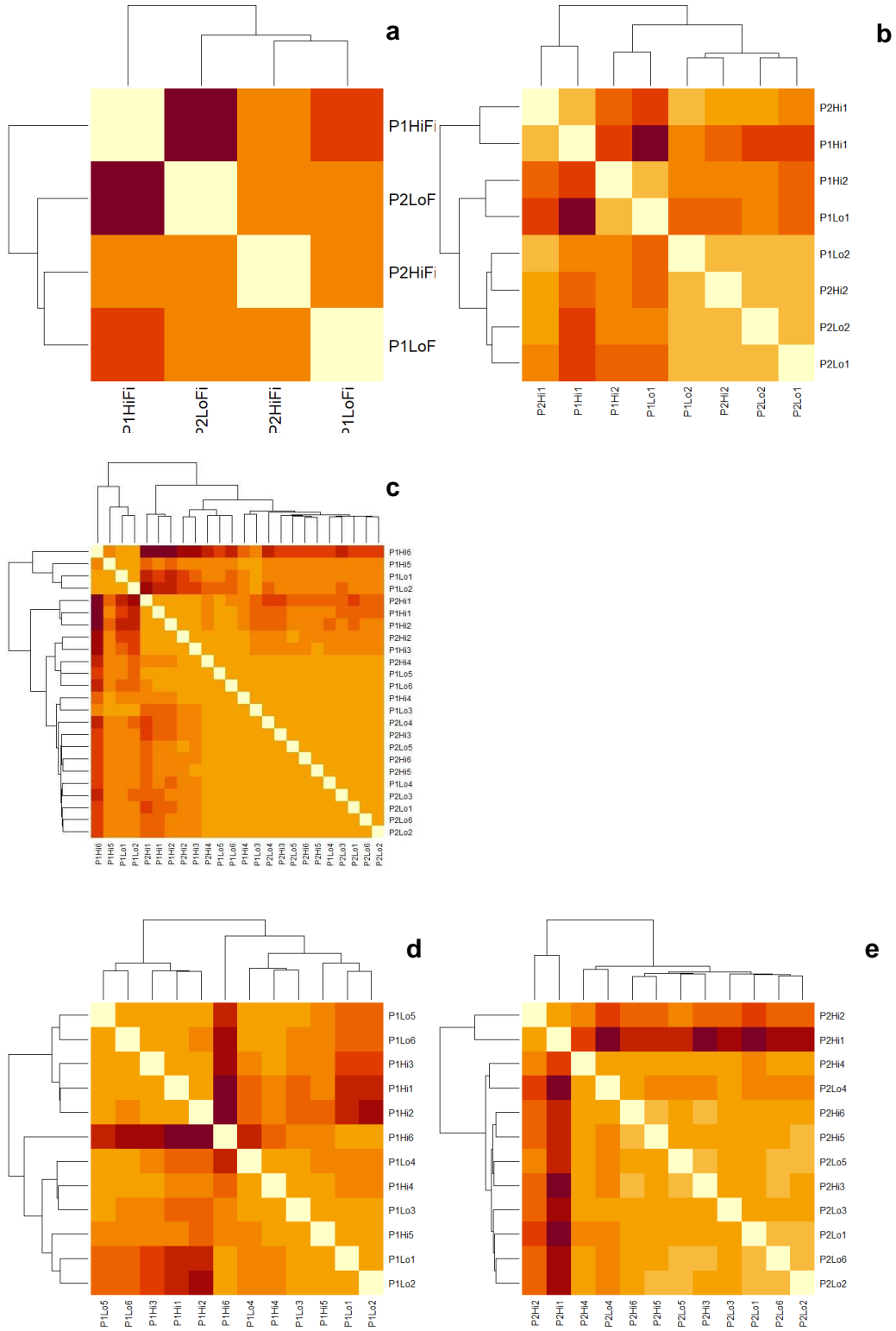
Genetik uzaklığın mesafeye bağlı değişkenliği incelendiğinde, yangın rejiminde ($P = 0,33$), alanlarda ($P = 0,25$), bölgelere göre alanlarda (Muğla $P = 0,640$, Kaş $P = 0,900$) ve Kaş bölgesi parsellerinde ($P = 0,74$) anlamlı bir ilişkiye rastalanamamıştır (EK 10). Fakat tüm parsellerde ve Muğla bölgesinde (parsel $P = 0,015$, Muğla $P = 0,003$) mesafe artışına bağlı genetik uzaklık ilişkisi belirlenmiştir (Şekil 6.12).



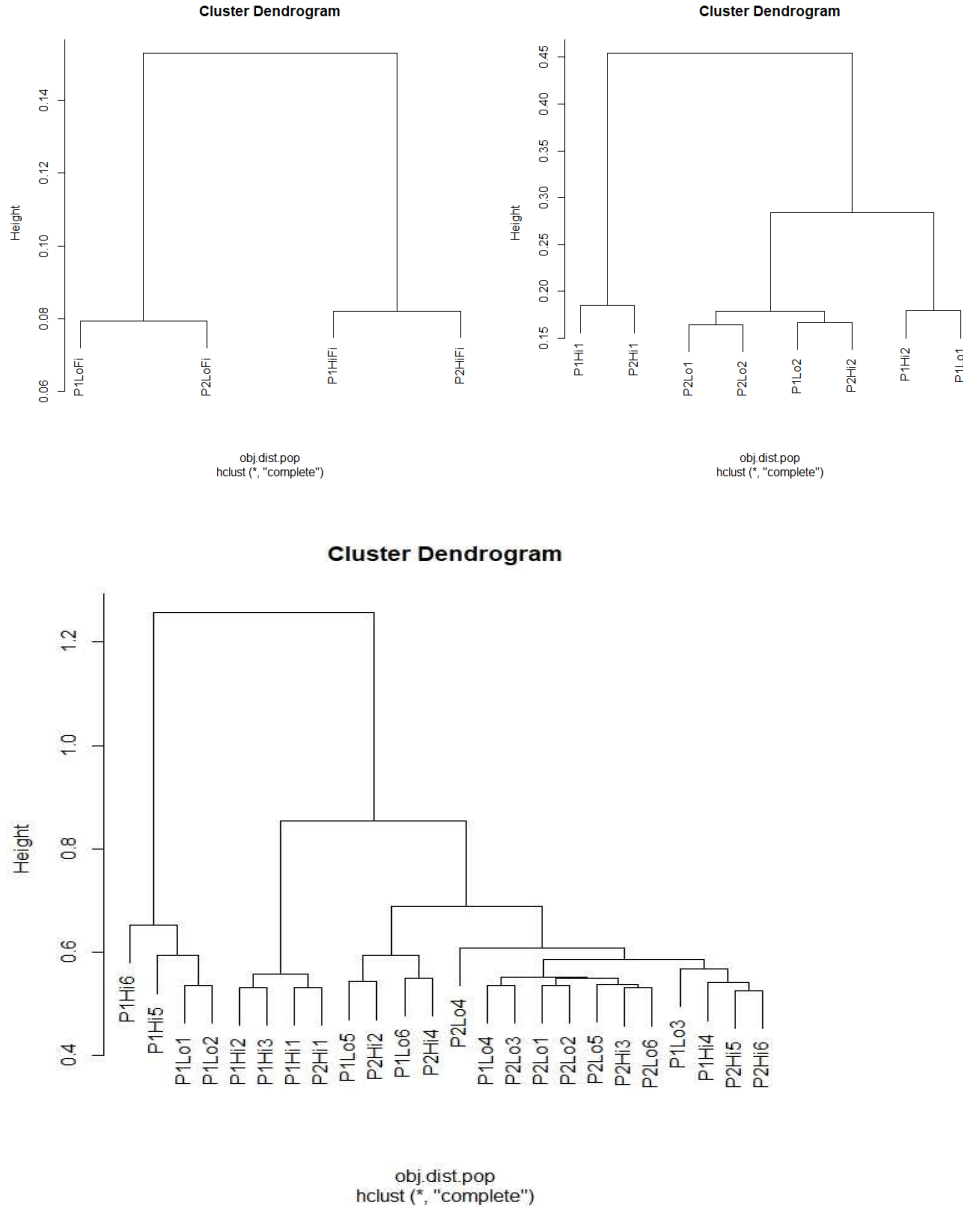
Şekil 6.6. Yangın rejimi, çalışma alanı ve parseller arası ikili genetik uzaklık. Renk koyulaştıkça benzerlik azalmaktadır. Beyaz=aynı, Siyah=daha yüksek farklılaşma



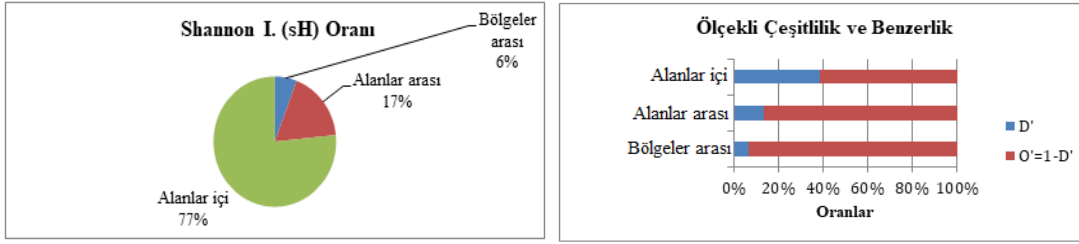
Şekil 6.7. Yangın rejimleri, alanlar ve parsellere ait F_{ST} değerleri



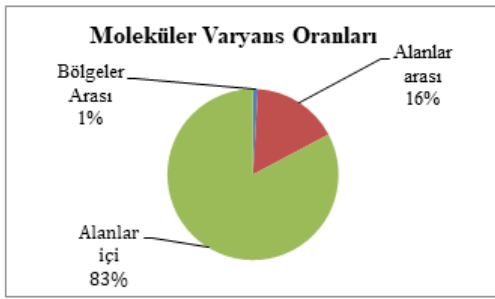
Şekil 6.8. Yangın rejimi (a), alan (b), parsel (c) ve bölgeler göre parsel (d-Muğla, e-Kaş) genetik uzaklıkları gösterir sıcaklık haritası. Sıcaklık haritasında renk koyulaştıkça genetik farklılık artmaktadır.



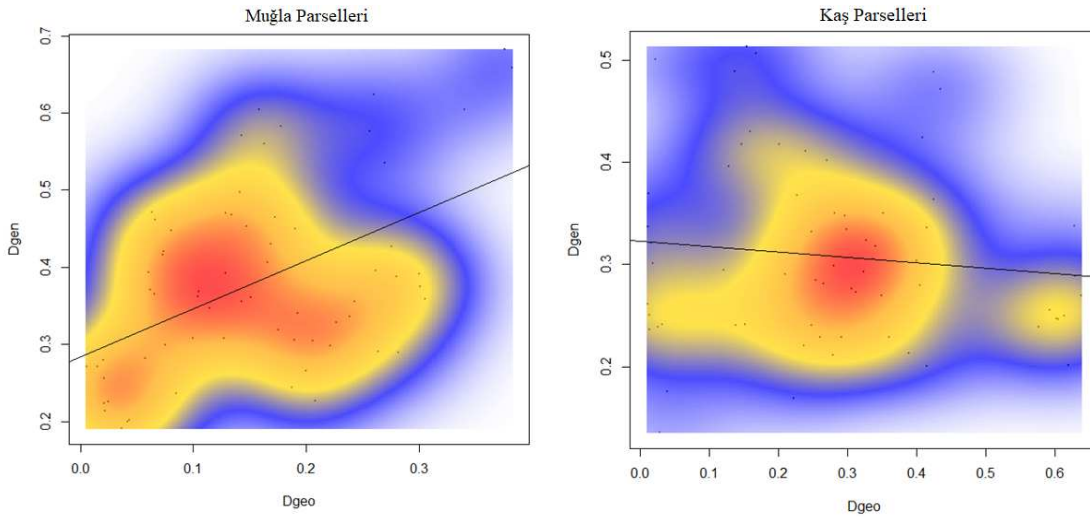
Şekil 6.9. Yangın rejimi, alan ve parseller arası genetik uzaklıkları gösterir küme dendrogramı.

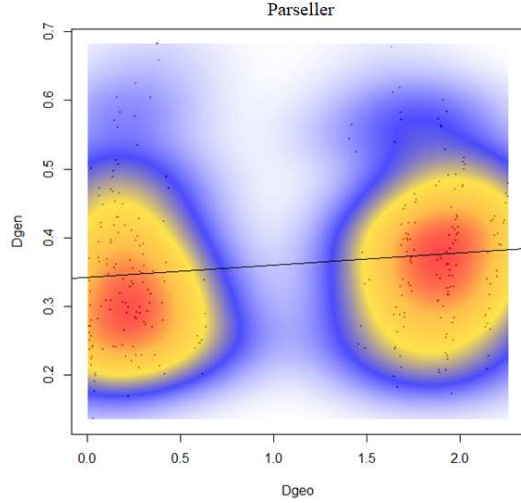


Şekil 6.10. Bölge, alan ve birey ölçeğinde Shannon çeşitlilik indeksi oranları



Şekil 6.11. Moleküler Varyans grafiği.



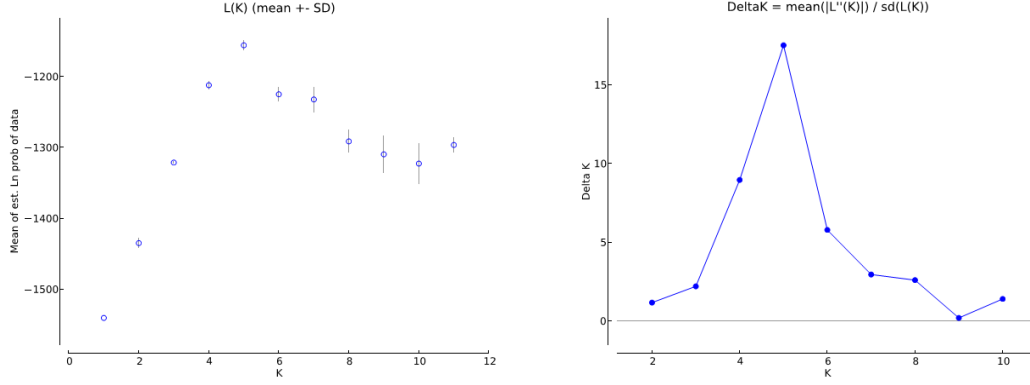


Şekil 6.12. Yangın rejimi, alan, parsel ve bölge ölçeğinde mesafeye bağlı izolasyon (Isolation by Distance, IBD).

6.4.3. İleri Populasyon Analizleri

STRUCTURE HARVESTER analizi, çalışmada yer alan Kızılçam'ların 5 popülasyonun karışımını işaret eden elementlere sahip olduğunu göstermiştir (Şekil 6.13 ve 6.14). Bilinmeyen bu 5 RPP'lerin (ing. Reconstructed Panmictic Population - yeniden yapılandırılmış panmiktik popülasyon) genetik uzaklıklarına göre sıralanışı Şekil 6.15'te görüldüğü şekildedir.

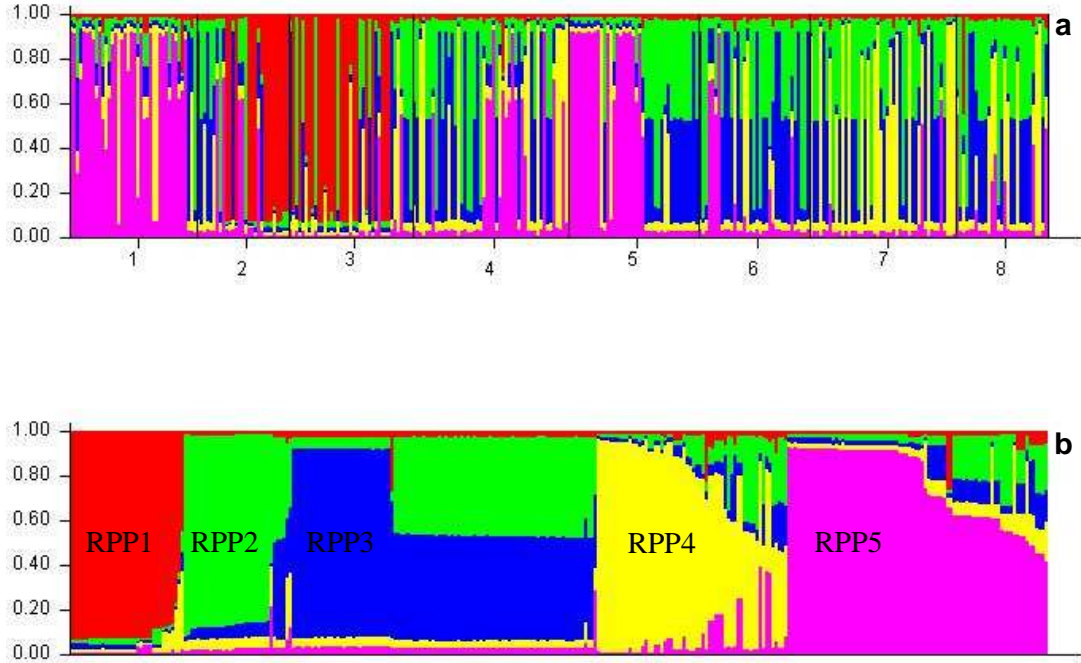
Tüm çalışma bölgesinde bulunan toplam 8 alana ait tahmin edilen 5 popülasyonlu karışma, tespit ettiğimiz genetik yakınlık - uzaklık ilişkilerini destekler niteliktedir (Şekil 6.15, 6.16, EK 11). Özellikle Muğla ve Kaş alçak birinci alanlarının (Şekil 6.15, a-1 ve 5. grup), Muğla alçak ikinci alan ile yüksek birinci alanın (Şekil 6.15, a-2 ve 3. grup), ve diğer tüm alanların benzer katkı desenine sahip olduğu ve kümeleme grafiğinde de beraber gruplandığı tespit edilmiştir. Aynı şekilde parsel ölçeğinde de kümeleme grafiği ile tutarlı sonuçlar elde edilmiştir (Şekil 6.15, 6.16).



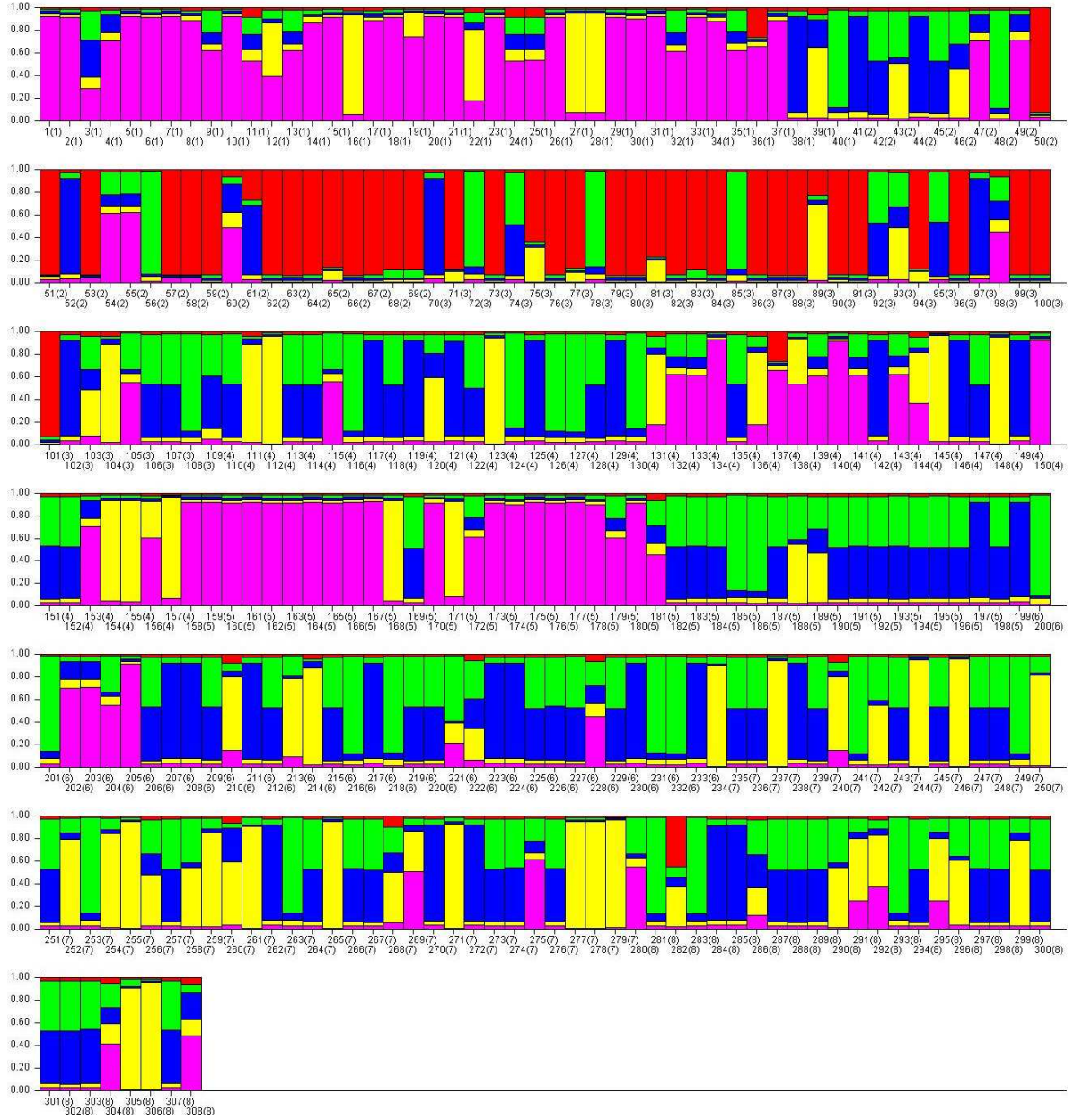
Şekil 6.13. Her bir K değeri için tahmin edilen olasılık değerini gösterir grafikler. Admixture modeli, alel frekansları ilişkili, her K değeri 5 tekrarlıdır. Soldaki grafik, her bir K değeri için tahmin edilen olasılık değerinin medyanı ve varyansını göstermektedir. Sağdaki ise, Evanno vd., (2005) tarafından hesaplanan delta K. yöntemini göstermektedir. Maksimum K değeri K = 5'te gözlenmektedir.

K	Reps	Mean LnP(K)	Stdev LnP(K)	Ln'(K)	Ln''(K)	Delta K
1	5	-1540.460000	0.054772	—	—	—
2	5	-1434.860000	6.827738	105.600000	8.000000	1.171691
3	5	-1321.260000	1.989472	113.600000	4.380000	2.201589
4	5	-1212.040000	5.904913	109.220000	52.920000	8.962028
5	5	-1155.740000	7.162611	56.300000	125.460000	17.515958
6	5	-1224.900000	10.695326	-69.160000	61.860000	5.783835
7	5	-1232.200000	17.559897	-7.300000	51.840000	2.952181
8	5	-1291.340000	15.741760	-59.140000	40.900000	2.598185
9	5	-1309.580000	26.482107	-18.240000	5.160000	0.194849
10	5	-1322.660000	28.092312	-13.080000	39.380000	1.401807
11	5	-1296.360000	10.447392	26.300000	—	—

Şekil 6.14. Evanno vd., (2005) tarafından hesaplanan delta K. yöntemine ait tablo. Maksimum K değeri K= 5'te gözlenmektedir.



Şekil 6.15. Doğrudan STRUCTURE ile elde edilen alanlar ve bireylerine ait ayrıntılı tahmini karışım durumu. Üstteki grafik (a); her bir renkli bar, örneklenen bir bireyi ve bireyin temsil ettiği atasal popülasyonlara ait elemente atanmış rengini temsil etmektedir. Alttaki grafik (b); örneklenmiş tüm gen havuzundaki 5 ayrı atasal popülasyon elementini temsil eden RPP'ler ve karışım motifleri gösterilmektedir. Admixture modeli, alel frekansları ilişkili, $K=5$, $200K/200K$.



Şekil 6.16. Doğrudan STRUCTURE ile elde edilen bireylere ait ayrıntılı tahmini karışım durumu. Her bir bar bireyleri, her bar içindeki renkler ise bireylerin taşıdığı atasal elementleri (RPP) temsil etmektedir. Admixture modeli, alel frekansları ilişkili, $K=5$, 200K/200K.

7. KIZILÇAM'DA YANGIN İLE İLİŞKİLİ KARAKTERLERİN KALITILABİLİRLİĞİ VE FENOTİPİK VARYANSLARI (PST)

7.1. Giriş

Yangına eğilimli alanlarda, farklı yangın rejimlerine uyumu sağlayan bitki karakterlerinin (serotinlik, kabuk kalınlığı, doğal dal budanması vb.) seçilim baskısı altında olduğu kabul edilmektedir (Keeley ve Zedler 1998; Schwilk ve Ackerly 2001; Keeley vd., 2011; Hernandez-Serrano vd., 2014; Pausas, 2015b; Castellanos, 2015). Türlerle, popülasyonlara hatta bireylere göre değişiklik gösteren bu karakterlerin bir seçilim etkisi altında olup olmadığını öğrenmek için karakterlere ait kalıtılabilirlik değerlerinin, fenotipik ve genotipik varyans ilişkilerini incelemesi gerekmektedir.

7.1.1. Kalıtılabilirlik

En temel tanımı ile kalıtılabilirlik (İng.; *heritability*); belirli bir çevreden belirli bir zamanda seçilen popülasyondaki genetik varyasyona ait fenotipik varyasyonun oranıdır. Kısaca kalıtılabilirlik fenotipik çeşitliliğe olan genetik katkıyı temsil etmektedir. Yüksek uyum değeri sağlayan biyolojik özelliklerin çoğu zaman düşük kalıtılabilirliğe sahip olduğu bilinmektedir (Mousseau ve Roff, 1987). Bu düşük kalıtılabilirlik bir seçilim baskısı olduğuna işaret etmektedir.

Kalıtılabilirliğin hesaplanabilmesi için öncelikle incelenen karaktere ait fenotipik varyans (σ^2_P), fenotipik varyansa etki eden genotipik varyans (σ^2_G), fenotipik varyansa etki eden çevresel varyans (σ^2_E) ve bu son iki varyansın etkileşimi ($\sigma^2_{G \times E}$) bilinmesi gerekmektedir.

$$\sigma^2_P = \sigma^2_G + \sigma^2_E + \sigma^2_{G \times E}$$

Diğer önemli bileşen olan genotipik varyans (σ^2_G), eklemeli genetik varyans (σ^2_A), dominant genetik varyans (σ^2_D) ve etkileşim varyansını (σ^2_I) içermektedir. Bu varyanslar, alellerin, lokusların ve diğer genetik bileşenlerin bir özelliğe katkıda bulunması ile değişmektedir.

$$\sigma^2_G = \sigma^2_A + \sigma^2_D + \sigma^2_I$$

Kalıtılabilirlik, fenotipik ve genotipik varyansın ilişkilerini ele alışına bağlı olarak iki tipe sahiptir. Bunlardan birincisi geniş anlamalı kalıtılabilirlik (H^2): genotipik varyansın toplam fenotipik varyansa katkısını ölçmektedir.

$$H^2 = \sigma^2_G / \sigma^2_P$$

Dar anlamlı kalıtılabilirlik (h^2) ise: sadece eklemeli genotipik varyanstan kaynaklanan fenotipik varyans oranıdır. Eklemeli genetik varyans, belirli bir lokustaki aleller arasındaki etkileşim ve lokusların bir özelliğin gelişimine katkıları anlamına gelmektedir.

$$h^2 = \sigma^2_A / \sigma^2_P = \sigma^2_A / (\sigma^2_E + \sigma^2_A + \sigma^2_D)$$

Her iki kalıtılabilirlik çeşidi de 0 ile 1 arasında değer vermektedir. Elde edilebilecek uç sonuçları yorumlamak istersek; 1'e yakınlık fenotipik varyasyondan genotipik değişkenlerin sorumlu olduğunu, 0'a yakınlık ise çevresel değişkenlerin sorumlu olduğunu göstermektedir.

Dar anlamlı kalıtılabilirlik, eğer bir popülasyondaki olası seçim baskısı test edilmek isteniyor ise; geniş-anlamlı kalıtılabilirliğe göre belirli bir lokusun etkisini incelediği için daha doğru bir yaklaşım sağlamakta ve daha yaygın kullanılmaktadır. Fakat dar anlamlı kalıtılabilirlikte genetik veri ile beraber çalışılan bireylere ait soyağacı ve akrabalık verilerine de ihtiyaç duyulmaktadır (Villemereuil, 2012; Castellanos vd., 2015). Bu nedenle doğal popülasyonlarla yapılan çalışmalarda bir fenotipik karakterin kalıtılabilirliği incelenirken dar-anlamlı kalıtılabilirliğin kullanımı için oldukça yüksek çözünürlüğe sahip genetik veri eldesi yüksek önem taşımaktadır.

7.1.2. F_{ST} ve P_{ST} Değerleri

Wright'ın F_{ST} değeri; popülasyonlar arası allelik farklılaşmanın standardize edilmiş bir derecesi olarak, toplam genetik varyasyonun (σ^2_{GT}) içerdiği popülasyon içi (σ^2_{GW}) ve popülasyon arası (σ^2_{GB}) genetik varyasyonun ayrı olarak ele alınması ile hesaplanmaktadır (Leinonen ve ark., 2013). Aslında F_{ST} , popülasyonlar arası genetik uzaklığın (varyasyon - farklılaşma) bir ölçüsüdür.

$$F_{ST} = \sigma^2_{GB} / (\sigma^2_{GB} + \sigma^2_{GW})$$

Popülasyon içi ve popülasyonlar arası fenotipik varyasyona doğal seçim ve nötral süreçlerin göreceli katkısı, yaygın olarak, niceliksel özellik (Q_{ST}) ve nötral genetik (F_{ST}) varyasyonun karşılaştırılmasıyla incelenmektedir (Leinonen vd., 2013). F_{ST} 'nin analogu olan ve hesaplanmasında sadece popülasyon içi ve popülasyon arası eklemeli genetik varyasyonların kullanıldığı Q_{ST} 'nin doğal popülasyonlarda incelenmesi genellikle mümkün olmamaktadır. Bu nedenle nesil ve akrabalık bilgisi elde edilemeyen popülasyonlarda Q_{ST} 'ye alternatif olarak sadece fenotipik varyansa dayalı P_{ST} kullanılabilmektedir (Leinonen vd., 2006; Raeymaekers

vd., 2007; Sæther vd., 2007; Brommer, 2011; Kaeuffer vd., 2012; Leinonen vd., 2013; Da Silva ve Da Silva, 2018).

$$Q_{ST} = \sigma^2_{GB} / \sigma^2_{GT} = 2 F_{ST} / (1 + F_{ST}) = \sigma^2_{GB} / (\sigma^2_{GB} + 2 \sigma^2_{GW})$$

$$P_{ST} = c \sigma^2_{PA} / (c \sigma^2_{PA} + 2 h^2 \sigma^2_{Pi})$$

P_{ST} hesabında kullanılan bileşenler; örneklem alanları arası varyasyon (σ^2_{PA}), örneklem alanları içi varyasyon (σ^2_{Pi}), dar anlamli kalıtılabilirlik (h^2) ve populasyonlar arasındaki eklemeli genetik etkilere bağlı toplam varyans oranı (c) dır (Brommer, 2011; Gür, 2016; Da Silva ve Da Silva, 2018).

P_{ST} ve F_{ST} değerleri karşılaştırılırken; $P_{ST} > F_{ST}$ ise, doğal seçilimin fenotipik farklılaşmada etkisi olduğu (heterojen seçilim), $P_{ST} = F_{ST}$ ise, doğal seçilimin katkısı tahmin edilemez olup, genetik sürüklenmenin birincil rol oynadığı, $P_{ST} < F_{ST}$ doğal seçilimin etkisi aynı optimumda olduğu (homojen seçilim) varsayılmaktadır (Brommer, 2011; Leinonen vd., 2013; Da Silva ve Da Silva, 2018).

7.2. Veri Analizleri

Geniş-anlamli kalıtılabilirlik, tüm çalışma alanı ve bölgeler için farklı genetik yapıyı temsil ettiği tahmin edilen parsel, alan ve yangın kuşağı seviyeleri için “Sommer” paketi (Covarrubias-Pazaran, 2016) ile R programında hesaplanmıştır.

Parsel, alan, yangın rejimi kuşağı ve tüm çalışma bölgeleri ölçeklerine ait ikili (pairwise) F_{ST} değerleri “*adegenet*” paketi (Jombart, 2008), ikili (pairwise) P_{ST} değerleri ise “*Pst*” paketi (Da Silva ve Da Silva, 2018) ile R programında hesaplanmıştır. P_{ST} değerlerinin eldesinde, birçok Q_{ST} ve P_{ST} çalışmasında varsayımsal olarak kullanıldığı bilinen 0,5'lik kalıtım derecesi ve 1 skalar değeri (eklemeli genetik değeri) kullanılmıştır (Brommer, 2011; Leinonen vd., 2013). Fakat kalıtılabilirlik ve skalar değerlerin tüm kombinasyonları (0,1'den 1'e 0,1'lik artışlarla) ölçülerek sonuca etkileri de incelenmiştir (Seymour vd., 2019).

Elde edilen ikili F_{ST} ve P_{ST} değerlerini farklı ölçeklerde karşılaştırmak için doğrusal regresyon modeli (linear regression) kullanılmıştır. Doğrusal bir regresyon için F_{ST} cevap, P_{ST} açıklayıcı değişken olarak ele alınmıştır.

7.3. Bulgular

7.3.1. Kalıtılabilirlik Bulguları

Tüm çalışma bölgesi, Kaş ve Muğla ölçeğinde, incelenen fenotipik karakterlerin kalıtılabilirlik ölçümü ve değerlendirilmesinde genetik çeşitliliği en iyi temsil eden grubun tespiti için parsel, alan ve yangın rejimi (alçak ve yüksek rakım) incelenmiştir (Çizelge 7.1). Yapılan incelemeler sırasında bazı gruplarda fenotipik karakterlere ait değerlerin kalıtılabilirlik ölçümü için yeterli çeşitliliğe sahip olmadıkları (örn; Kaş'ta kozalak yaşı, kabuk kalınlığı, canlı ve ölü dal yükseklikleri ile Muğla'da boy, çap, kabuk kalınlığı ve ölü dal yüksekliği) belirlenmiştir (Çizelge 7.1).

Fenotipik özelliklerin kalıtılabilirliği için, en yüksek genetik çeşitlilik çözünürlüğünü veren parselin genetik çeşitlilik temsilcisi olduğu modellerin sonuçlarının açıklayıcı olacağı kabul edilmiştir. Diğer ölçümler de alan ve yangın rejimi kuşakları seviyesinde incelenen fenotipik özelliğin kalıtılabilirliğini temsil etmektedir. Fakat fenotipik varyasyonun çevresel değişkenlerden dolayı mı var olduğu yoksa genetik varyasyon ile mi ilişkili olduğunu anlamak için genetik çeşitliliğin en iyi temsil edildiği grubun kullanımı esas alınmaktadır. İncelediğimiz değerlerin geniş anlamli kalıtılabilirliği temsil ettiği, dar anlamli kalıtılabilirliğin bu değerlerden yüksek olamayacağı için, değer 0'a ne kadar yakın ise çevresel etkenler kaynaklı seçim potansiyeli o kadar yüksek olacaktır. Geniş anlamli kalıtılabilirlik değeri 1'e yakın olan karakterlerin de eklemeli genetik varyansının etkisine bağlı olarak hala 0'a yakın dar anlamli kalıtılabilirlikleri olabilir, fakat elimizdeki veriler ile bunu tespit etmemiz mümkün değildir.

Parsel, alan ve yangın rejimi kuşağı seviyesinde elde edilen kalıtılabilirlik değerleri incelendiğinde birçoğunun 0.30'dan yüksek olduğu görülmektedir. Tüm çalışma bölgesine ait ölçümler arasından birey çapına ait alan ölçekli ve maksimum kabuk kalınlığına ait parsel ölçekli analizler hariç hepsinin yüksek değerlere sahip olduğu görülmektedir (Çizelge 7.1). Buradaki yüksek değerler bu karakterlerin kalıtılabilirliğinin de yüksek olduğunu, incelendiği seviyelerdeki bireylerin sonraki nesillerinde de çevre şartlarındaki değişkenliğe bakmaksızın aynı karakterlerin gözlenebileceğini belirtmektedir. Düşük iki değer (0.29) ise çap ve maksimum kabuk kalınlığının sırası ile alan ve parsel seviyesindeki bireylerin çevresel etkenlere uyumunda öneme sahip olduklarını göstermektedir.

Muğla'da serotinitik oranının parsel seviyesinde, en alçak canlı dal yüksekliğinin de alan seviyesinde kalıtılabilirlik (sırası ile 0.197 ve 0.14) değerleri çevresel etkenlerin etkisi altında olduklarını göstermektedir. Kaş'ta ise alan seviyesinde serotinitik oranı ve çapta (sırası ile 0.044

ve 0.264), parsel seviyesinde ise çap ve maksimum kabuk kalınlığındaki (0.363 ve 0.078) değerler, bu karakterlerin çevresel etkenler nedeni ile ekillendiklerini işaret etmektedir. Bu evresel etkenler iklimsel değişkenler, yangın rejimleri, hayvan müdahaleleri ya da antropolojik kökenli olabilmektedir.

Parsel ve alan seviyesinde yakalanabilen etkilerin yangın rejimi kuşaklarında görülememesi, yangın rejimi kuşaklarının genetik çeşitliliği temsil etmek için yetersiz olduğunu açık bir şekilde göstermektedir. Muğla ve Kaş bölgelerinden kalıtılabilirlik değeri 0.30'dan büyük olan fenotipik karakterlere sahip bireyler bir sonraki nesle bu karakterlerini aktarma oranları değer 1'e yaklaştığa artmaktadır.

Çizelge 7.1. Genetik çeşitlilik temsili için kullanılanlabilecek farklı gruplara göre tüm fenotipik karakterlerin kalıtılabilirliği. Genetik çeşitlilik temsilcisi olarak kullanılan parsel, alan ve yangın rejimi gruplarına ait geniş anlamli kalıtılabilirlik değerleri listelenmiştir. $H^2 < 0.40$ olanlar koyu renkte verilmiştir.

Serotinitik Oran (%)	Kaş		Muğla		Overall	
	Estimate	SE	estimate	SE	Estimate	SE
Parsel	0.532	0.13	0.197	0.159	0.448	0.103
Alan	0.044	0.827	0.791	0.148	0.604	0.193
Yangın rejimi	0.608	0.62	0.945	0.076	0.857	0.117
En Yaşlı Serotinitik Kozak Yaşı						
Parsel	-	-	0.419	0.15	0.409	0.107
Alan	-	-	0.893	0.085	0.864	0.07
Yangın rejimi	-	-	0.976	0.034	0.959	0.033
Ortalama Birey Boyu						
Parsel	0.698	0.082	0.659	0.095	0.675	0.064
Alan	0.858	0.131	0.697	0.295	0.776	0.141
Yangın rejimi	0.962	0.057	-	-	0.861	0.144
Ortalama Birey Çapı						
Parsel	0.363	0.156	0.637	0.102	0.535	0.091
Alan	0.264	0.43	0.442	0.584	0.286	0.401
Yangın rejimi	0.587	0.549	-	-	-	-
Maksimum Kabuk Kalınlığı						
Parsel	0.078	0.148	0.443	0.146	0.287	0.113
Alan	0.549	0.243	0.59	0.302	0.541	0.187
Yangın rejimi	-	-	-	-	-	-
En Alçak Canlı Dal Yüksekliği						
Parsel	-	-	0.678	0.089	-	-
Alan	-	-	0.145	1.171	-	-
Yangın rejimi	0.427	1.419	0.765	0.429	0.5	0.677
En Alçak Ölü Dal Yüksekliği						
Parsel	-	-	-	-	-	-
Alan	-	-	-	-	-	-
Yangın rejimi	0.623	0.73	0.389	0.522	0.391	0.517

7.3.2. F_{ST} ve P_{ST} Karşılaştırma Bulguları

Kızılçam'ın doğal yayılış gösteren meşcerelerinden örneklenmesi nedeni ile dar anlamlı kalıtılabilirlik ve skalar değerlerinin ölçümleri gerçekleştirilememiştir. P_{ST} değerlerinin hesaplanabilmesi için varsayımsal olarak kullanmayı planladığımız kalıtılabilirlik ve skalar değerlerin sonuçlarda bir sapmaya neden olup olmayacağını görmek amacı ile tüm olası kalıtılabilirlik ve skalar değerlerin permütasyonlarını kullanarak ortalama F_{ST} ' ye göre P_{ST} tahminlerinin hassasiyeti incelenmiştir (Şekil 7.1). Bu inceleme sonucunda tüm olası kalıtılabilirlik ve skalar değerlerin permütasyonları ile elde edilen P_{ST} değerlerinin F_{ST} değerlerinden daima büyük olduğu ($P_{ST} > F_{ST}$ tespit edilmiştir. Bu durum varsayımsal olarak kullandığımız kalıtılabilirlik ve skalar değerlerin analizlerimizde bir sapmaya neden olmayacağını açıkça göstermektedir.

Tüm çalışma bölgesi ölçeğinde, bazı istisnalar olmakla beraber, fenotipik karakterlere ait ortalama P_{ST} değerlerinin ortalama F_{ST} değerinden büyük olduğu da tespit edilmiştir (Şekil 7.2). Bu durum bir seçim baskısı nedeni ile doğal seçim ya da fenotipik esneklik süreçlerinin fenotipik farklılaşmaya neden olduğunu göstermektedir. Tespit edilen istisnalara, en alçak canlı dal yüksekliği ve ağaç boyu karakterlerinde birer birey neden olmaktadır ve etkileri göz ardı edilebilecek boyuttadır.

Tüm çalışma bölgesinde, yangın rejimi kuşakları ölçeğinde F_{ST} ve P_{ST} değerlerinin ilişkileri incelendiğinde serotinitik, ağaç boyu ve en alçak ölü dal yüksekliği karakterlerinde ters yönlü anlamlı bir ilişkiye rastlanmıştır (Çizelge 7.2. ve Şekil 7.3).

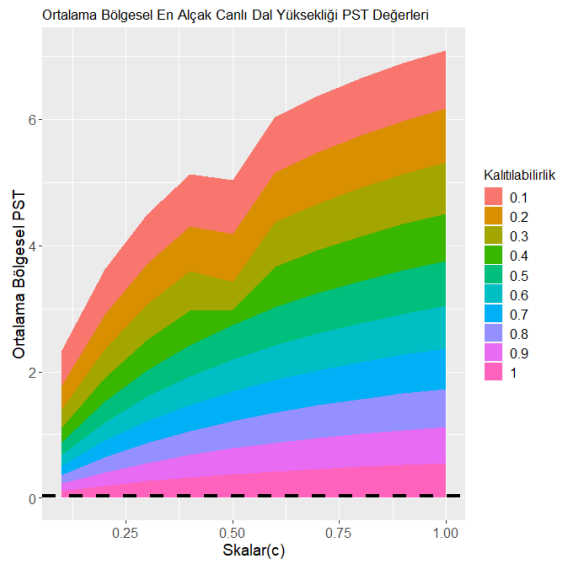
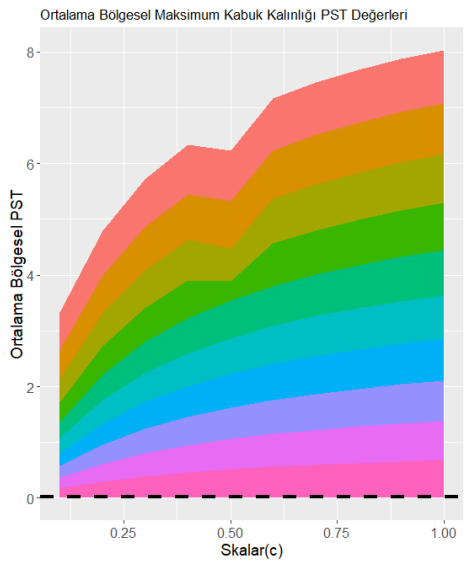
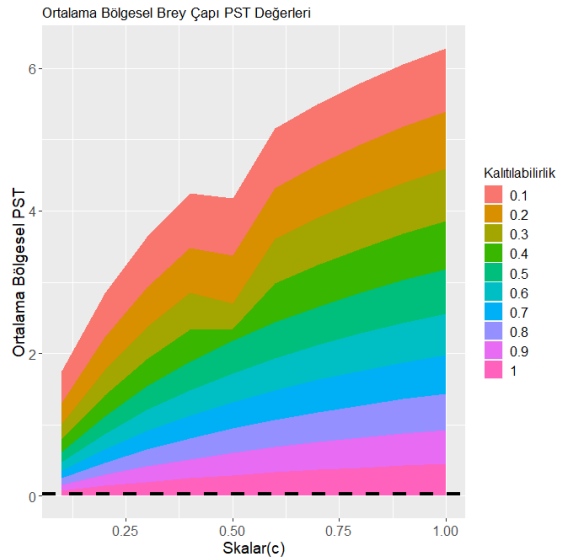
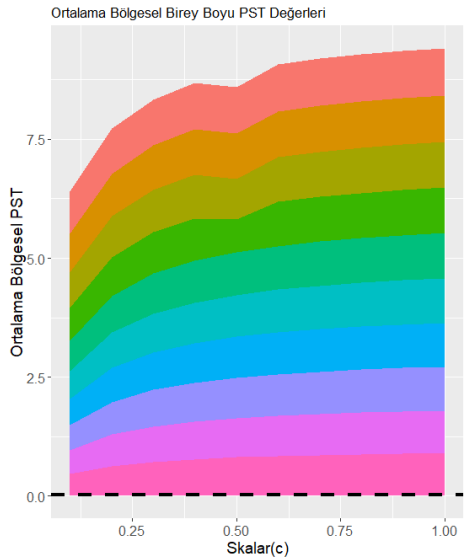
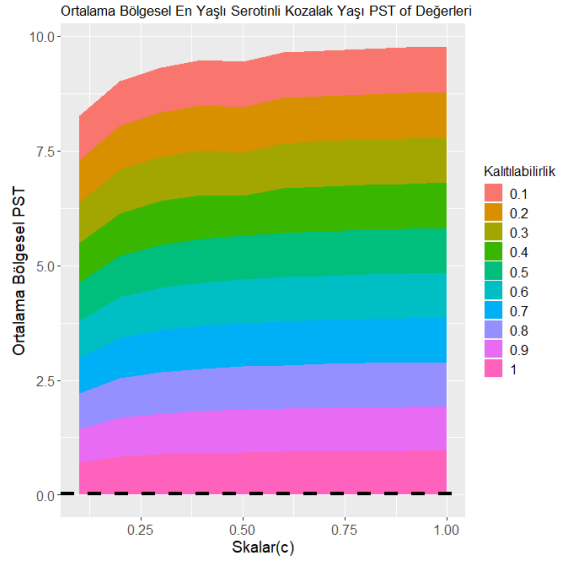
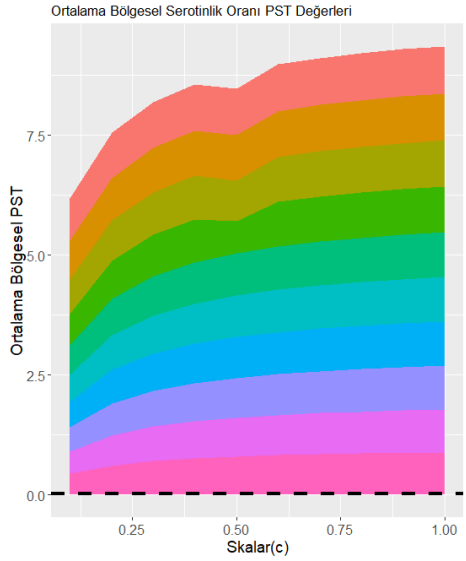
Alan ölçeğinde F_{ST} ve P_{ST} değerleri arasında, tüm çalışma bölgelerinde sadece, en yaşlı serotinitik kozalak yaşında pozitif ilişki bulunabilmişken, Muğla'dakabuk kalınlığında negatif, Kaş da ise serotinitik, en yaşlı serotinitik kozalak yaşı ile en alçak ölü dal yüksekliğinde pozitif, canlı dal yüksekliğinde ise negatif bir ilişki tespit edilmiştir (Çizelge 7.2 ve Şekil 7.4). Tüm çalışma bölgesinde tespit edilen, en yaşlı serotinitik kozalak yaşına ait zıt yönlü ilişkinin, Kaş'daki paralelliğe rağmen Muğla'daki istatistiksel olarak anlamsız fakat etkisi yüksek negatif ilişkiden kaynaklanıyor gibi görünmektedir.

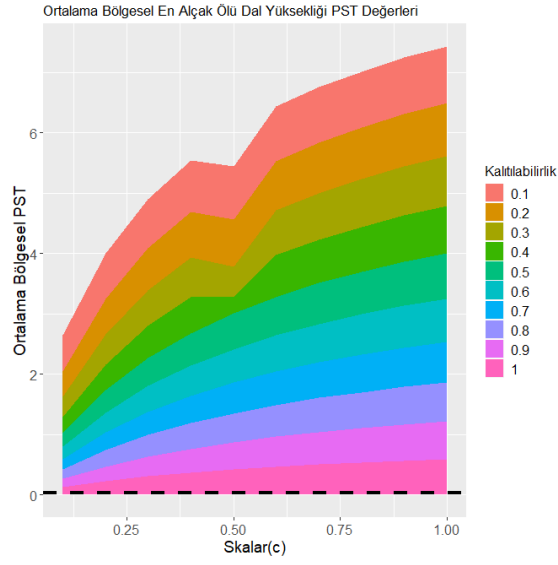
Parsel ölçeği söz konusu olduğunda, F_{ST} ve P_{ST} değerleri arasında, tüm çalışma bölgesinde en yaşlı serotinli kozalak yaşında, Muğla'da boy ve en alçak canlı dal yüksekliğinde, Kaş da ise serotinitik ve kabuk kalınlığında pozitif ilişki bulunmuştur (Çizelge 7.2 ve Şekil. 7.5).

İstatistiksel olarak anlamlı F_{ST} ve P_{ST} değerlerine ait ilişkilerin açıklayıcılıkları incelendiğinde; yangın rejimi kuşaklarının 0.69, alan ölçeğinin 0.30 ile 0.70 arasında değiştiği, parsel ölçeğinde ise 0.01 ile 0.09 arasında değiştiği gözlemlenmiştir.

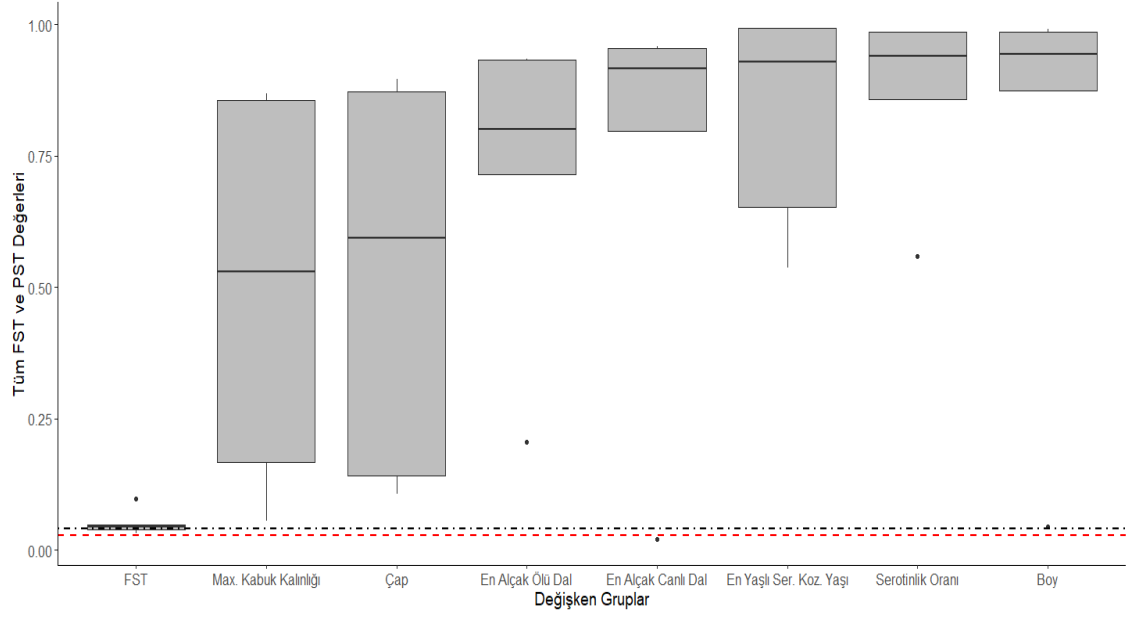
Çizelge 7.2. Parsel, alan ve yangın rejimi ölçeklerinde ikili (pairwise) F_{ST} ve P_{ST} değerlerinin ilişkilerini test eden doğrusal model analizlerinin özeti. Her modelin AIC, R^2 ve P değerleri verilmiştir. Anlamlı P değerleri (<0.05) koyu renkte verilmiştir. Ser; serotinitik P_{ST} değeri, Seryaş; en yaşlı serotin kozalak yaşı P_{ST} değeri, Hei; ortalama birey boyu P_{ST} değeri, Dia; ortalama birey çapı P_{ST} değeri, Btmax; maksimum kabuk kalınlığı P_{ST} değeri, Cdist; en alçak canlı dal yüksekliği P_{ST} değeri, Ödist; en alçak ölü dal yüksekliği P_{ST} değeri.

Ölçek	P_{ST}	Kaş			Muğla			Tüm Çalışma Bölgesi		
		AIC	R^2	P	AIC	R^2	P	AIC	R^2	P
Parsel	Ser	110.84	0.069	0.002	90.72	0.023	0.083	-745.63	0	0.786
Alan	Ser	-58.34	0.704	0.001	-22.42	0.004	0.847	-88.52	0.028	0.218
Yangın Rejimi	Ser	-	-	-	-	-	-	69.74	0.699	0.001
Parsel	Seryaş	118.26	0.015	0.157	92.99	0.006	0.38	-751.59	0.011	0.014
Alan	Seryaş	-49.04	0.357	0.040	-22.97	0.048	0.492	-92.8	0.1	0.018
Yangın Rejimi	Seryaş	-	-	-	-	-	-	83.64	0.041	0.529
Parsel	Hei	119.81	0.004	0.489	80.65	0.095	0	-748.05	0.005	0.115
Alan	Hei	-44.2	0.038	0.544	-26.11	0.268	0.085	-86.95	0	0.875
Yangın Rejimi	Hei	-	-	-	-	-	-	69.94	0.694	0.001
Parsel	Dia	119.32	0.007	0.328	92.99	0.006	0.378	-747.56	0.004	0.158
Alan	Dia	-43.92	0.015	0.705	-23.14	0.062	0.436	-87.84	0.016	0.351
Yangın Rejimi	Dia	-	-	-	-	-	-	83.95	0.016	0.696
Parsel	Btmax	111.2	0.067	0.003	93.18	0.005	0.442	-746.2	0.001	0.425
Alan	Btmax	-48.02	0.3	0.065	-34.58	0.638	0.002	-87.46	0.01	0.474
Yangın Rejimi	Btmax	-	-	-	-	-	-	79.51	0.32	0.055
Parsel	Cdist	120.28	0	0.891	63.83	0.203	0	-763.58	0.032	0
Alan	Cdist	-48.88	0.349	0.043	-22.4	0.002	0.887	-89.98	0.053	0.088
Yangın Rejimi	Cdist	-	-	-	-	-	-	84.14	0	0.977
Parsel	Ödist	120.24	0	0.81	90.86	0.022	0.091	-747.28	0.003	0.191
Alan	Ödist	-50.62	0.436	0.019	-22.95	0.048	0.496	-90.6	0.063	0.061
Yangın Rejimi	Ödist	-	-	-	-	-	-	75.61	0.509	0.009

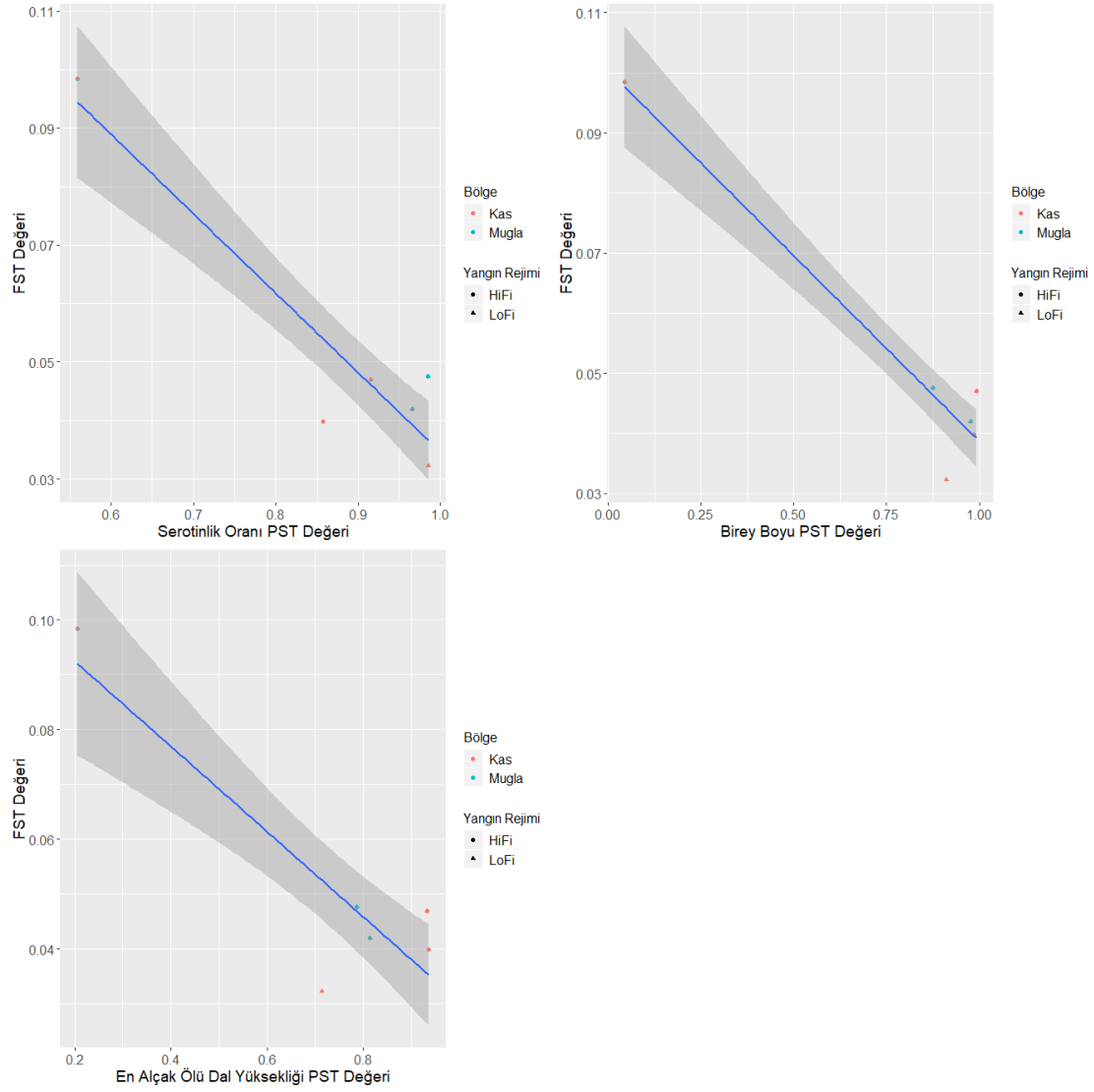




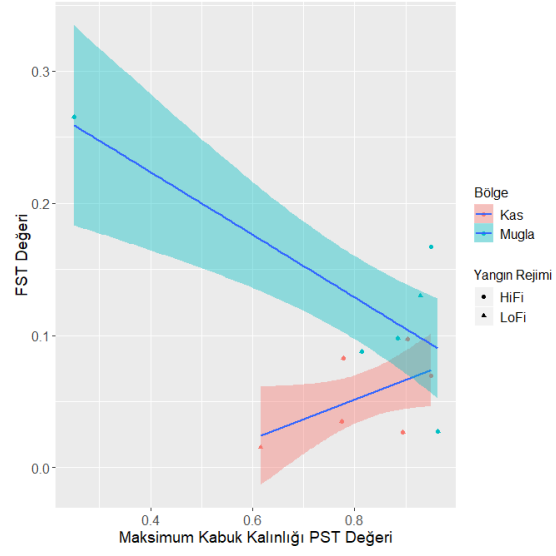
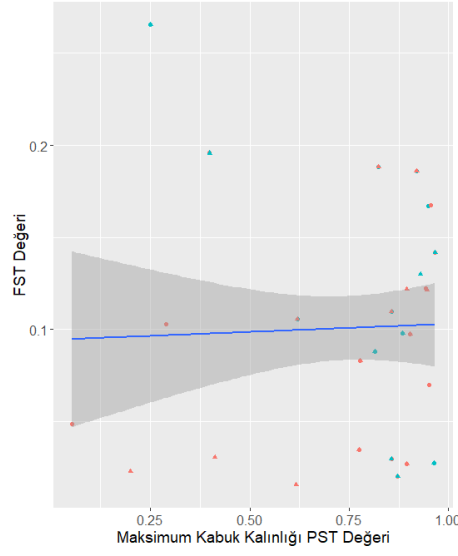
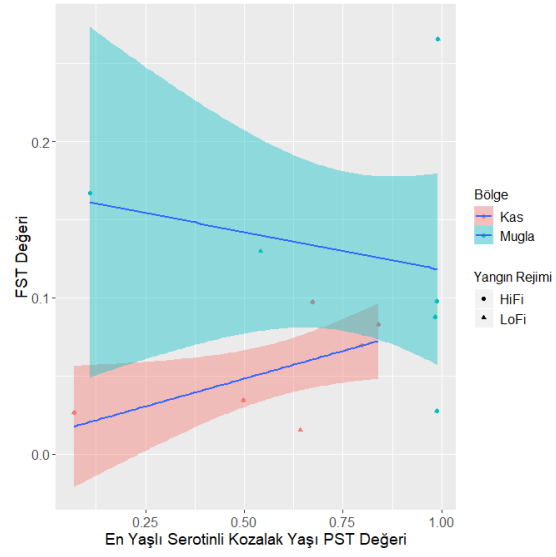
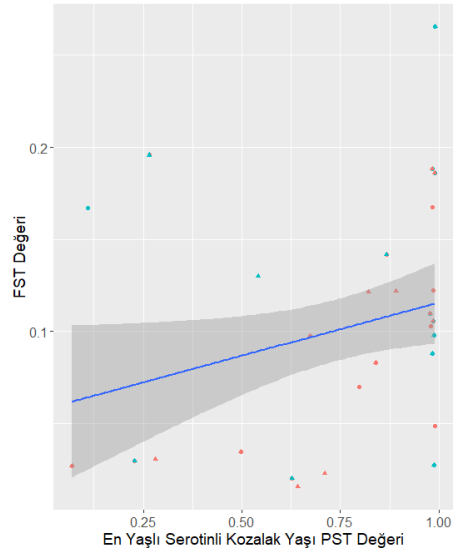
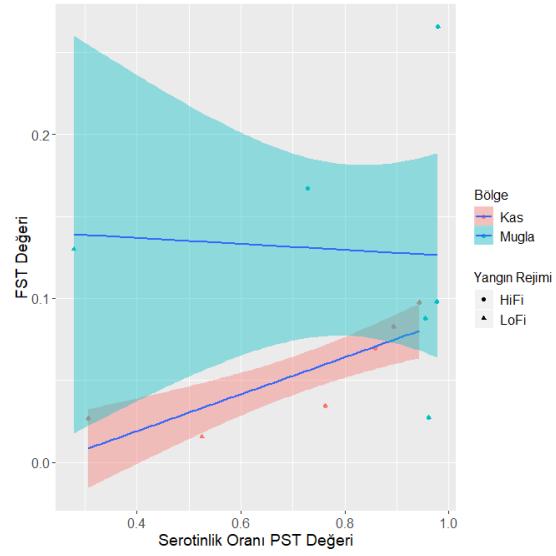
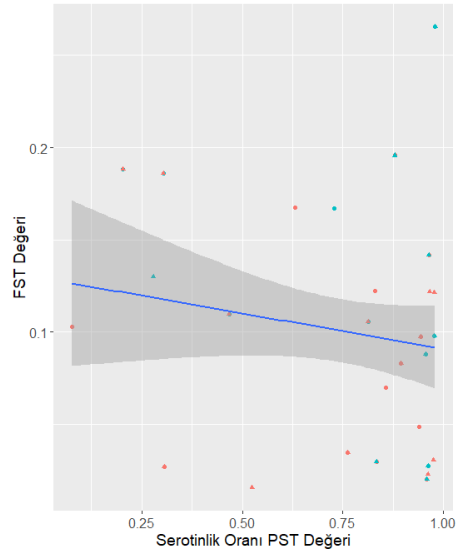
Şekil 7.1. Ortalama F_{ST} 'ye (siyah noktalı çizgi) göre P_{ST} tahminlerinin hassasiyeti. Her fenotipik karakter için tahmini dar anlamlı kalıtım (h^2) ve eklemeli genetik değerler (skaler = c , x-eksenleri) kullanılarak hesaplanmış P_{ST} aralıkları (renkli çizgiler) gösterilmiştir.

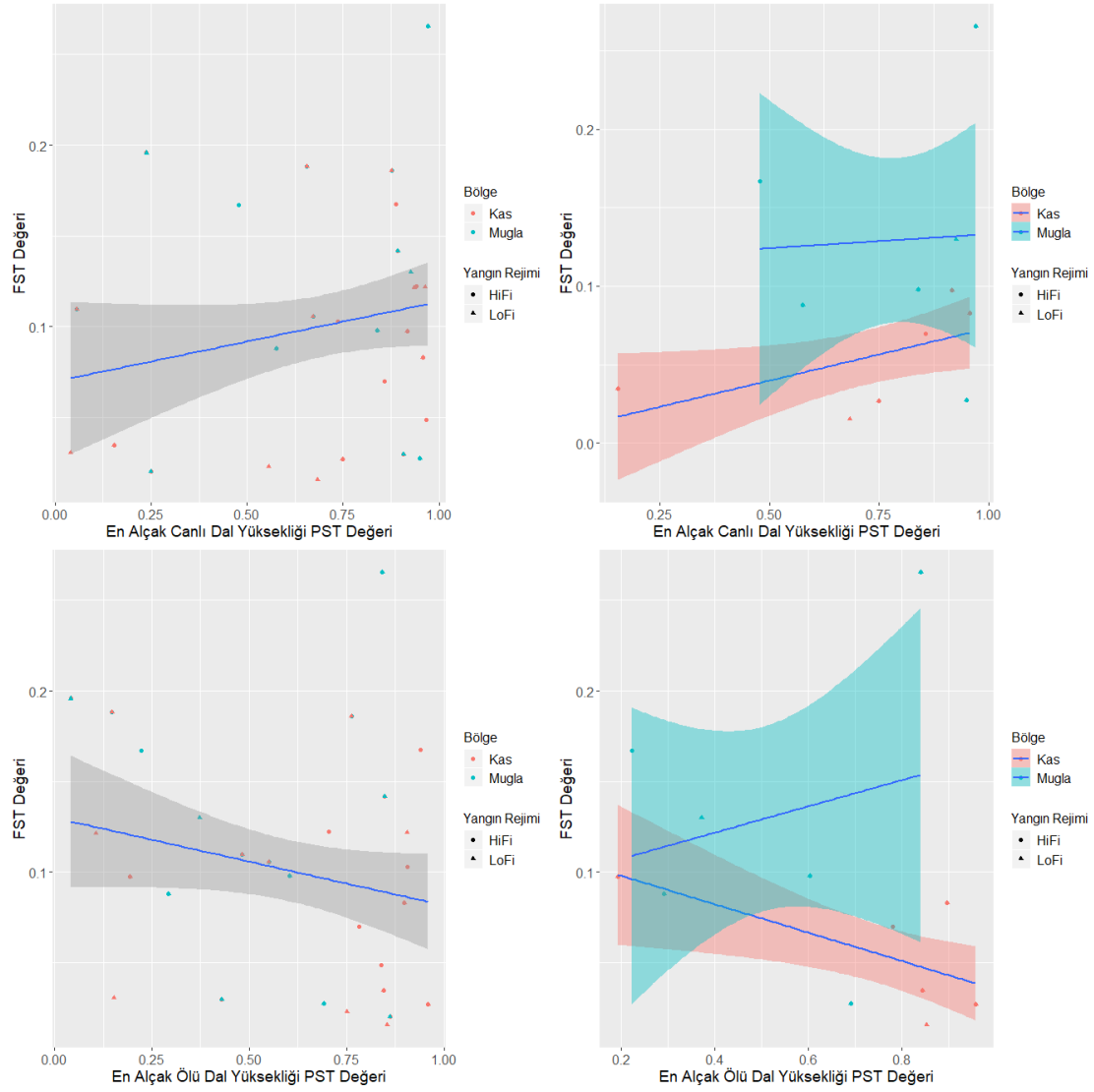


Şekil 7.2. Tüm çalışma alanına ait ortalama P_{ST} ve F_{ST} değerlerinin karşılaştırılması. Siyah kesikli çizgi ortalama F_{ST} değerini, kırmızı kesikli çizgi ise her üç ölçüğe de ait F_{ST} değerlerini göstermektedir.

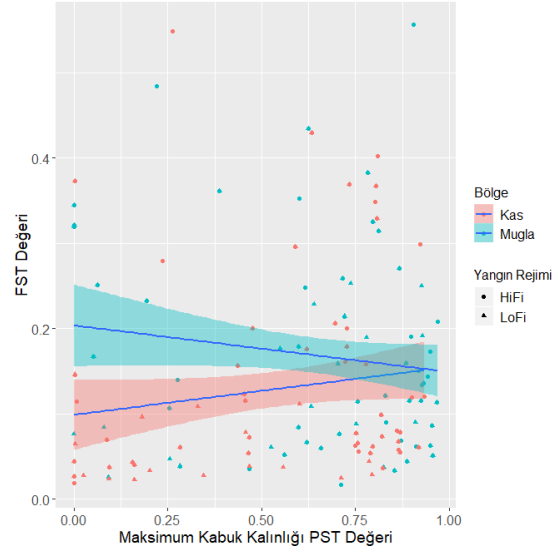
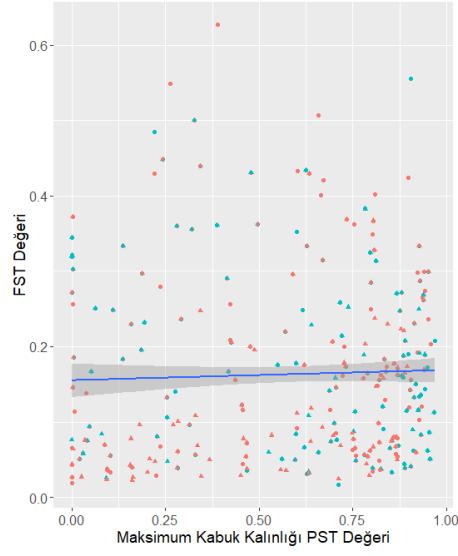
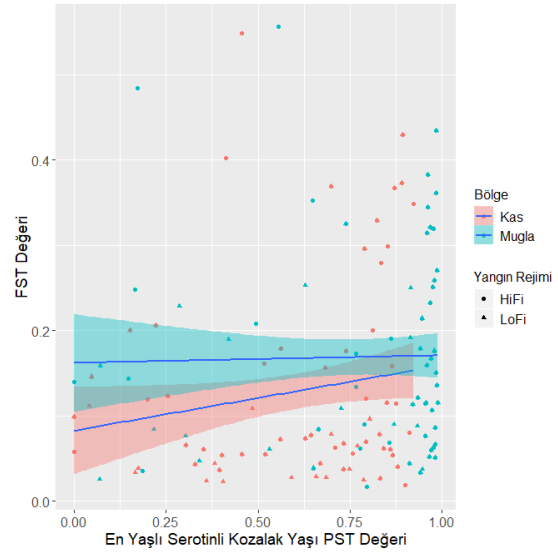
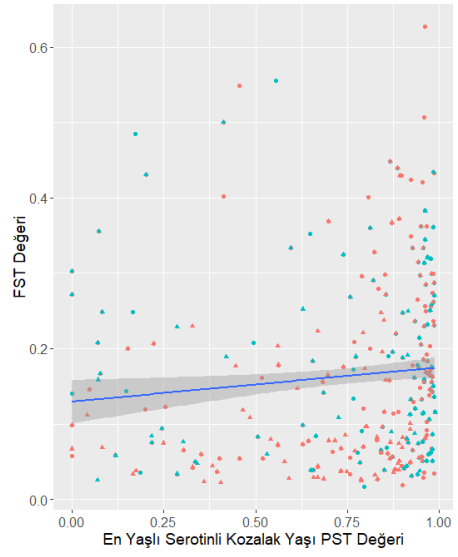
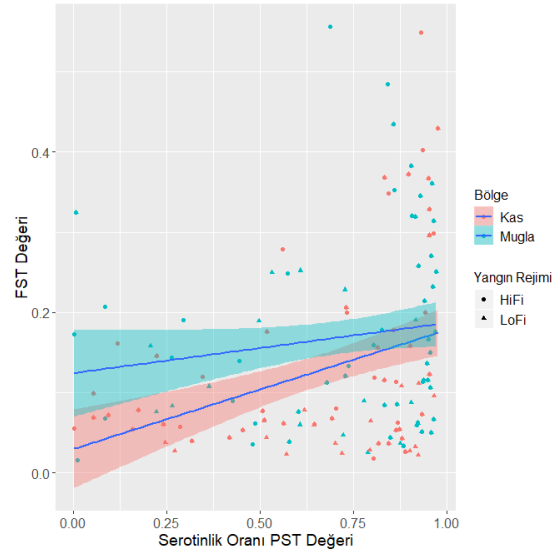
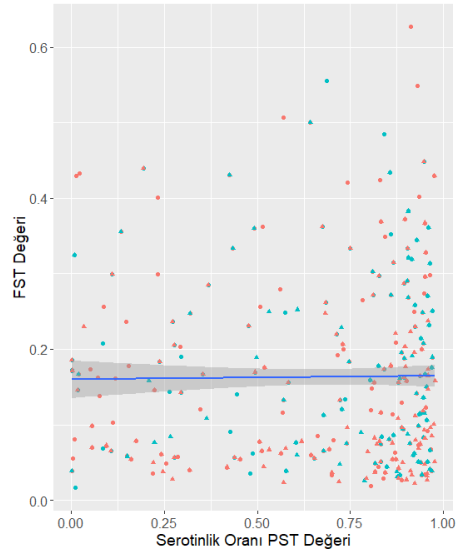


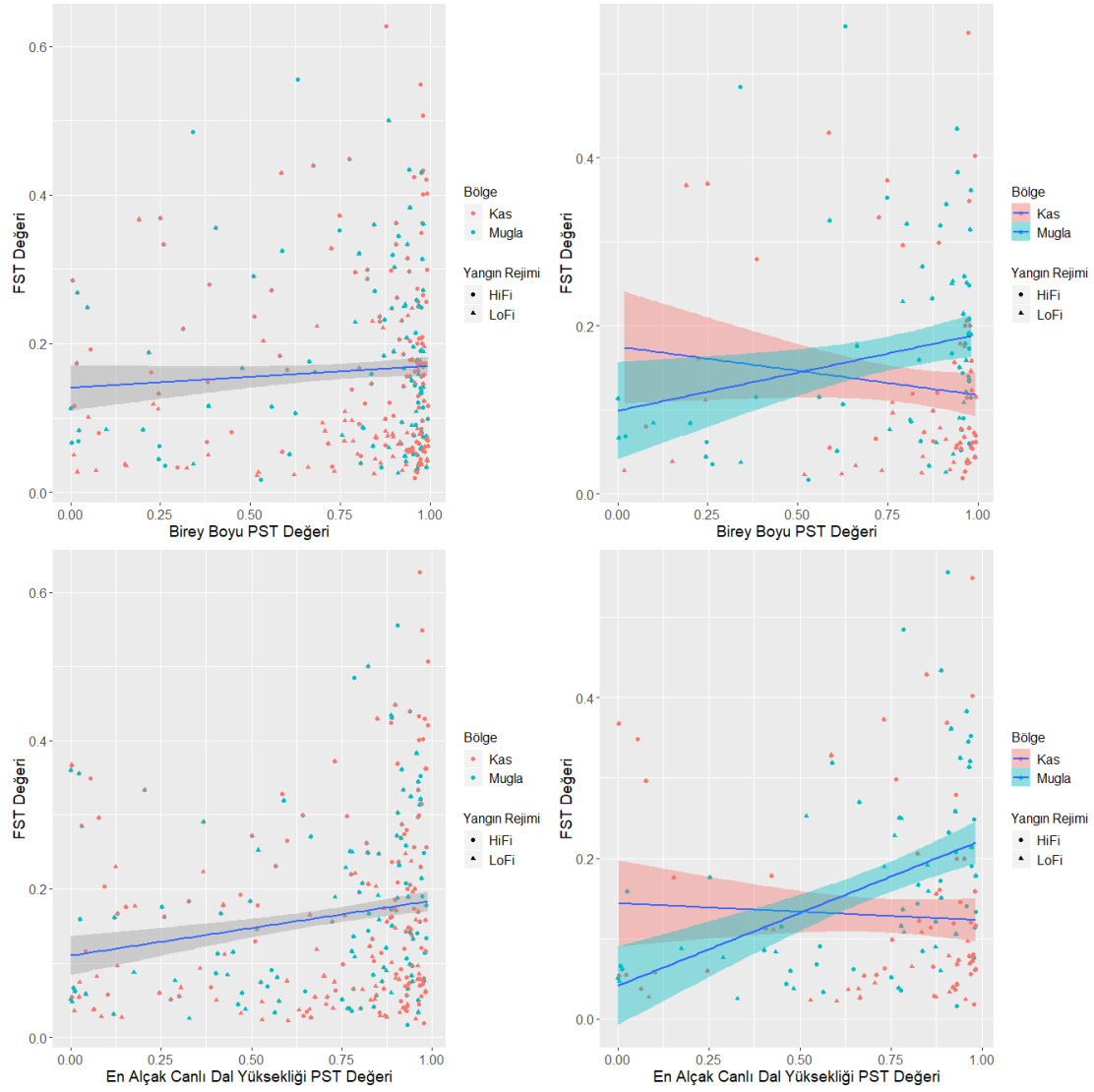
Şekil 7.3. Yangın rejimi kuşağı seviyesinde tüm çalışma bölgesine ait F_{ST} ve P_{ST} değerleri arasındaki ilişkilerin özeti. Doğrusal çizgi doğrusal regresyon analizinin sonucunu temsil etmektedir. Sadece anlamlı olan modellerin grafikleri sunulmuştur. Her nokta, bölgelere ait bir yangın rejimi kuşağının ortalama değerini temsil etmektedir.





Şekil 7.4. Tüm alanlar ile Muğla ve Kaş alanlarına ait F_{ST} ve P_{ST} değerleri arasındaki ilişkilerin özeti. Doğrusal çizgi doğrusal regresyon analizinin sonucunu temsil etmektedir. Sadece anlamlı olan modellerin grafikleri sunulmuştur. Her nokta, bir alanın ortalama değerini temsil etmektedir.





Şekil 7.5. Tüm parseller ile Muğla ve Kaş parsellerine ait F_{ST} ve P_{ST} değerleri arasındaki ilişkilerin özeti. Doğrusal çizgi doğrusal regresyon analizinin sonucunu temsil etmektedir. Tüm modellerin grafikleri sunulmuştur. Her nokta, bir parselin ortalama değerini temsil etmektedir.

8. TARTIŞMA

Bu tez çalışması kapsamında, Kızılcım'da yangınla ilişkili serotinitik, kabuk kalınlığı, doğal dal budanması karakterlerinin bireyler ve popülasyonlar arası değişkenliği, iklimsel değişkenler ile ilişkisi, kalıtılabilirliği ve türün popülasyon genetiği ile olası bağlantıları incelenmiştir. Bu çalışma, Kızılcım türünde bugüne kadar bu karakterlerin değişkenliği ve popülasyon yapısı konularında yapılmış en kapsamlı çalışma niteliği taşımaktadır.

Çalışmada elde edilen bulgular, Kızılcım'ın tepe yangın rejimi altında yayılım gösteren diğer Akdeniz çam türlerine göre (*P. halepensis*, *P. pinaster*) daha düşük serotinitik seviyesine sahip olduğunu göstermiştir. Bulgular, ayrıca, Kızılcım'da serotinitik seviyesinin Muğla ve Kaş bölgelerinde belirgin bir varyasyon gösterdiğini ve özellikle Muğla'da serotinitikte görülen değişkenliğin önemli ölçüde yangın rejimi kuşağı tarafından açıklanabildiğini göstermiştir. Dolayısıyla, Muğla'da yüksek rakımlarda gerçekleşen örtü yangınları ya da seyrek tepe yangınlarına bağlı olarak düşük bir serotinitik seviyesi, alçak rakımlarda ise tepe yangınları nedeni ile yüksek bir serotinitik seviyesinin tespiti, literatürde diğer çam türleri üzerine yapılmış olan çalışmaların bulgularını desteklemektedir (Keeley ve Zedler 1998; Schwilk ve Ackerly, 2001; Keeley, 2012; Hernandez Serrano vd., 2013; Pausas, 2015b). Bölgeler arasında serotinitik seviyelerindeki değişkenlik, serotinitiğin, türler, popülasyonlar ve coğrafi bölgeler arasında yüksek fenotipik değişkenlik gösterebilmesi ve bu değişkenliğin sadece yangın rejimlerinden kaynaklanmayabileceği, farklı çevresel faktörlerden, ağaç karakterleri ve ontogenik özelliklerinden de etkilenebildiğini gösteren çalışmalar ile uyumludur (Tapias vd., 2004; He vd., 2012; Ne'eman vd., 2012; Romero vd., 2020).

Kaş bölgesinde en yaşlı serotin kozalak yaşının, yangın rejimi kuşaklarından bağımsız olarak benzer oluşu (ortalama 2, Şekil 3.6.a), istatistiksel olarak anlamsız olmakla beraber, serotinitik oranının yüksek kesimlerde alçak kesimlerden daha yüksek oluşu (Şekil 3.4.b), burada yangın rejimi kuşaklarından bağımsız farklı bir yangın rejimi yapılanmasının varlığını akla getirir, muhtemelen fenotipik bir esnekliğin göstergesidir.

Serotinitik seviyesini temsil eden değişkenler olan serotinitik oranı ve yaşının, Muğla'da kurak dönem yağışları ile negatif, yıllık ortalama sıcaklık ve gerçek evapotranspirasyon ile pozitif ilişkiye sahip olduğu saptanmıştır. Ayrıca serotinitik oranının yıllık ortalama yağış ile de negatif bir ilişkiye sahip olduğu belirlenmiştir. Kızılcım'da *P. halepensis*'te de olduğu gibi kurak dönem olan yaz aylarındaki yağış miktarının artışı ile serotinitik oranının azaldığı tespit edilmiştir (Hernandez Serrano vd., 2014).

Muğla'da serotinitik seviyesinin yangın rejimi kuşaklarının da etkisi ile gerçek evapotranspirasyon ile kuvvetli ilişkisi (hem serotinitik oranı, hem de en yaşlı serotinitik kozalak yaşı için % 84 açıklayıcılık) su tüketimi ve yanıcı madde (biyokütle) üretimi ile bu karakter arasındaki olası bir ilişkiye işaret etmektedir. Buna ek olarak, yıllık yağış ve kurak dönem yağışı ile negatif, yıllık ortalama sıcaklık ile pozitif ilişkinin varlığı ve bu ilişkilerin % 80'den yüksek açıklayıcılığa sahip olması, Muğla'da kuraklığın serotinitik seviyesi ile ilişkisi olabileceğini düşündürmektedir. Bu bilgiler, Muğla bölgesindeki yangın rejimlerinin yanıcı madde üretiminden ziyade yanıcı maddenin kuruluğu ile sınırlandırıldığına (Boer vd. 2016) işaret etmektedir.

Bu çalışmada, alçak ve yüksek rakımlardaki tüm Kızılcım bireylerinin kalın bir kabuğa (maksimum kabuk kalınlığı 2.0 ilâ 12.7 cm arasında değişen değerler almaktadır) sahip olduğu belirlenmiştir. Tüm çalışma alanına ait en yüksek ve en düşük maksimum kabuk kalınlıkları Muğla ve Kaş alçak rakımlarının her ikisinde de tespit edilmiştir (Muğla: 2.0– 12.70 cm, Kaş: 2.15 – 12.15 cm). Muğla'da Kızılcım'ın kabuk kalınlığı ile incelenen bağımlı değişkenler arasında hiçbir anlamlı ilişki saptanamamıştır. Fakat kabuk kalınlığı ve birey boyu arasında istatistiksel olarak anlamlı olmayan ($P = 0.052$) negatif bir ilişkinin varlığı görülmektedir. Muğla alçak kesim alanlarında birey boyunun artışına bağlı olarak kabuk kalınlığının azaldığını gösteren bu ilişkinin, sık tepe yangınlarına maruz kalan ve serotinitik karakterine sahip bireylerde olması beklenmektedir (Keeley, 2012). Muğla bölgesindeki bireylerin yangın rejimi kuşaklarından bağımsız olan maksimum kabuk kalınlığı değerleri ve birey boyu ilişkisi muhtemel bir fenotipik esnekliğe işaret etmektedir. Bu bilgilere ek olarak, alçak kesimlerde serotinitik oranının da yüksek, yüksek kesimlerde ise düşük oluşu, var olan yangın rejimlerinin yükseklik kuşaklarına uyumlu olduğunu göstermektedir.

Kaş bölgesinde kabuk kalınlığı ile net birincil verimlilik arasında negatif (yangın rejimi kuşağı etkisi ile % 70 açıklayıcılık), ortalama yıllık sıcaklık ve yangın döngüsü arasında pozitif (yangın rejimi kuşağı etkisi ile sırasıyla %68 ve %72 açıklayıcılık) ilişkiler belirlenmiştir. Bu bölgede ortalama yıllık sıcaklık artışına bağlı olarak alçak rakımlı alanlarda (ortalama > 6 cm) ve yangın döngüsü uzun olan (seyrek yangın görülen) yüksek rakımlı alanlarda kabuk kalınlığının arttığı gösterilmiştir. Net birincil üretimin yüksek olduğu tüm yüksek rakımlı ve üç alçak rakımlı (HiFi A1, A2 ve A3 alanları) alanda ise kabuk kalınlığının daha az olduğu gözlemlenmiştir. Alçak rakımlarda; düşük net birincil verimliliğe sahip olan alanlarda bireylerin yüksek (> 5.25 cm), yüksek net birincil verimliliğe sahip olan alanlardakilerin ise görece düşük (< 4.25 cm) kabuk

kalınlığına sahip olduğu belirlenmiştir. Benzer bir desenin yüksek rakımlı alanlarda da gözlemlenmesi oldukça ilgi çekicidir.

Kaş'ta gözlemlenen kabuk kalınlık desenleri, yıllık sıcaklık artışında ve net birincil üretimde üç alçak rakımlı alan (HiFi B1, B2 ve B3 alanları), yangın döngüsünde iki yüksek rakımlı alanın (LoFi A1 ve A2 alanları) etkisi nedeni ile ortaya çıkmaktadır. Yıllık sıcaklıkla pozitif ilişkili olan, seyrek yangın rejimine sahip ve düşük net birincil üretim sergileyen fakat en yüksek kabuk kalınlığına sahip bu üç alçak rakım alanında (HiFi B1, B2 ve B3 alanları) tepe yangını yerine örtü yangınlarının olduğunu, diğer üç alanın ise tepe yangınlarına maruz kaldığı tahmin edilmektedir.

Kabuk kalınlığının türler arasında büyük farklılık gösterdiği bilinmekle beraber, türlerin kabuk kalınlıkları ve yaşadıkları habitatlara ait yangın rejimleri arasında oldukça güçlü bir ilişkinin var olduğu da bilinmektedir (Pausas, 2015a). Ayrıca aynı türe ait popülasyonların farklı yangın rejimleri ve çevresel faktörler nedeni ile değişik kalınlıklardaki kabuklara sahip olabilecekleri de gösterilmiştir (Tapias vd., 2004; Pausas, 2017; Martin-Sanz vd., 2019). Güney Anadolu'da Kızılcım'ın kabuk kalınlığı üzerine yapılan bir çalışmada rakıma bağlı belirgin bir değişkenlik görülmediği fakat yükseklik arttıkça ortalama kabuk kalınlığının da arttığı, ağaç boylarının yükseldiği, gövdelerinin ise daha düzgün bir şekil ve forma sahip olduğu tespit edilmiştir (Arslan, 2013). Burada, Muğla'nın yangın rejimi kuşakları ile uyumlu yangın rejimlerine, Kaş bölgesinin ise yangın rejimi kuşaklarından bağımsız, iklimsel veriler ile ilişkilendirilebilecek yangın rejimlerine sahip olduğuna dair işaretler elde edilmiştir.

Doğal dal budanması, çamlarda yangın rejimleri ile şekillendiği bilinen önemli karakterlerden biridir (Keeley ve Zedler, 1998; Schwilk ve Ackery, 2001). Günümüze kadar türler arası varyasyonu sadece türlerin uyarlandığı yangın rejimleri ile ilişkilendirilebilmiştir. Bu tez çalışması, doğal dal budanmasının popülasyon ve birey seviyesindeki değişkenliğini inceleyen ilk çalışma özelliği taşımaktadır. Tepe yangını görülen alanlarda yer ile tepe tacı arasında yanacak materyalin azalmasına neden olan doğal dal budanmasının, serotinlik özelliği gösteren çamlarda görülmesi beklenmemektedir (Pausas, 2015b). Fakat Kızılcım'da genel olarak serotinlik seviyesinin düşük oluşu ve çalışma alanlarının bazılarında örtü yangınlarının varlığına dair işaretlerin tespiti, olası ilişkileri anlamak adına daha yakından incelemeler yapmamız gerektiğini ortaya koymaktadır. Bu çalışmada, doğal dal budanmasının ele aldığımız ekolojik ve morfolojik karakterler ile ilişkisini anlamak için en alçak canlı ve ölü dalın gövdeye tutunduğu yükseklikler ayrı ayrı incelenmiştir. En alçak canlı dal yüksekliğinin, sadece Muğla'da net birincil verimlilik, her iki bölgede ise ağaç boyu ile pozitif ilişkiye sahip olduğu

belirlenmiştir. Muğla üç alçak rakım alanında (HiFi A1, A2 ve B3 alanları) birey boyu arttıkça biyokütlenin, dolayısıyla yanıcı maddenin de artışı ile beraber en alçak dalın yerden yüksekliğinin de arttığı gösterilmiştir. Kaş'ta ise yangın rejimi kuşağından bağımsız olarak ağaç boyu arttıkça en alçak canlı dalın yerden yüksekliği de artmaktadır. Kaş'taki bu ilişkiye ait açıklayıcılığın % 47 oluşu, ağaç boyu üzerinde başka etkenlerin de (ontogeni vb.) önemli oranda etkiye sahip olduğunu göstermektedir.

En alçak ölü dal yüksekliği, elde edilen verilerdeki "0" değerinin çokluğu (birçok bireyde en alçak ölü dalın bulunmaması) nedeni ile iki aşamalı olarak incelenmiştir. Tüm değerler "1"- "0" verisi haline getirildiğinde; Muğla'da ağaç boyu ve çapı ile en alçak ölü dal yüksekliği arasında, Kaş'ta ise en yaşlı serotinli kozalak yaşı ile negatif ilişki tespit edilmiştir. Kaş'taki bu ilişkinin sadece üç alçak rakım alanından (HiFi B1, B2 ve B3 alanları) kaynaklandığı, üç yüksek rakım alanının (LoFi A3, B2 ve B3 alanları) da bu üç alçak rakım alanı gibi negatif bir eğilim gösterdiği belirlenmiştir. İkinci aşamada tüm "0" değerleri silindiğinde, en alçak ölü dal yüksekliğinin, Muğla'da net birincil verimlilik, ağaç boyu ve çapı ile, Kaş'ta ise kurak dönem yağışı ve ağaç boyu ile pozitif ilişkiye sahip olduğu belirlenmiştir. Muğla'daki net birincil verimlilik ve ağaç boyunun ölü dal yüksekliği ile olan pozitif ilişkilerini alçak rakım alanlarındaki (HiFi A1, A2 ve B3 alanları) üç grubun sağladığı görülmektedir. Kaş'ta yüksek rakımlı alanlarda kurak dönem yağışı arttıkça en alçak ölü dal yüksekliğinin de arttığı tespit edilmiştir. Muğla en alçak ölü dal yüksekliği ile kurak dönem yağışları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki görülmemekle beraber, yüksek rakımlı alanlarda yağış artışına bağlı olarak dal yüksekliğinde azalma olduğu göze çarpmaktadır.

Doğal dal budanmasının ölçümünde kullanılan, en alçak ölü ve canlı dal yüksekliğinin, Kızılcım'a ait boy, çap kalınlığı, net birincil verimlilik, kurak dönem yağışı ve en yaşlı serotinli kozalak yaşı ile ilişkili olduğu gösterilmiştir. Kızılcım bireylerinde, net birincil verimlilik artışı, çap kalınlığı ve boy uzamasına bağlı olarak canlı dalların yerden daha yüksekte bulunduğu tespit edilmiştir. Canlı dal yüksekliği ve (ölü dal bulundurmeyen bireylerin çıkarıldığı) ölü dal yüksekliği verisinin biyokütle artışından pozitif etkilenmesi ve buna bağlı olarak daha yüksekte bulunmalarının, doğal dal budanmasına dair bir işaret olabileceğini düşündürmektedir. Fakat, ölü dalların yerden yüksekliği, bu dalların varlık ve yokluk durumuna göre analize alındığında, Kızılcım bireylerinde doğal dal budanması olmadığını işaret etmektedir.

Bu tez çalışması kapsamında, Kızılcım'ın yangınla ilişkili karakterlerine dair elde edilmiş olan bulgular, genel olarak bu türün düşük serotinitik seviyesine, kalın bir kabuğa ve bazı doğal dal budanması işaretlerine sahip olduğunu göstermektedir. İncelenen karakterlere ait varyasyon

desenlerini yakalamak için bu tez kapsamında sergilenen bölge ölçekli yaklaşımın görece başarılı olduğu, fakat parsel ölçekli yaklaşımın, yangın rejimleri ve bağımlı değişkenlerin karakterler üzerindeki etkisini yakalamakta daha güçlü olduğu anlaşılmıştır. Yangın rejimi kuşaklarını temsil etmesi adına kullandığımız alçak ve yüksek rakımlı alanlar serotinlik seviyelerini açıklamakta yeterli iken (en azından Muğla bölgesinde), rakım zonları kabuk kalınlığı ve doğal dal budanmasını açıklamada yeterli olmamıştır. Yangın rejimlerinin, bu tez kapsamında varsayılan rakım (yangın rejimi) kuşaklarından oldukça farklı olması (en azından Kaş bölgesinde), incelediğimiz bağımlı değişkenlerin bu rejimler sonucu oluşacak karakter varyasyonlarına etkileri ve göz ardı ettiğimiz diğer ekolojik, ontogenik ve antropojen faktörler neticesinde gerçekleşmiş olabileceğini akla getirmektedir.

Çalışmada elde edilen veriler ışığında; Muğla alçak rakım alanlarının bir kısmında sık tepe yangınlarının, bir kısmında örtü yangınlarının ve yüksek rakımlı alanlarında da örtü yangınlarının varlığına dair bazı işaretler tespit edilmiştir. Kaş'ta ise alçak rakımda farklı yangın rejimi ya da fenotipik esnekliğe dair işaretler elde edilmiştir. Bu bilgilere ek olarak, Muğla'da yüksek oranda değişkenliğe sahip düşük serotinlik seviyesinin varlığı ve Kaş'ta en yaşlı kozalak yaşının yangın rejimi kuşaklarından bağımsız olarak ortalama 2.31 oluşu, serotinliğin seçilimini sağlayabilecek etkilerin bir süredir görülmediğini göstermektedir. Alçak rakımlarda tepe yangınları yerine örtü yangınlarının görülmesi bir sonraki jenerasyona serotinlik özelliğinin aktarılacak burada serotinlik seviyesinin artırılmasını sağlayacak seçim baskısını oluşturamamaktadır. Ek olarak, sık tepe yangınlarına maruz kalan alanların da serotin kozalak bulunduran tepe tohum bankasını oluşturmak için yeterli zamana sahip olamayacaklarından, yine serotinliğin sonraki jenerasyondaki temsili oldukça düşük olacaktır. Çalışma alanlarındaki bireylerin genellikle olgun yaşa sahip oluşu, sık tepe yangını nedeni ile serotinliğin bir sonraki nesle aktarımının kısıtlanması ihtimalini göz ardı etmemize neden olmaktadır. Fakat Kaş bölgesinin alçak rakım kuşağında, insan faaliyetlerine bağlı habitat parçalanmalarının varlığı ve gerçek yangın rejimlerinin farklılığı, serotinlik karakterinin bir sonraki nesle aktarımını ve korunumunu sekteye uğratmış olabilir.

Bu tez çalışmasında, Kızılcım'ın düşük genetik çeşitliliğe sahip olduğu (ortalama h ve uh ; 0.27), incelenen tüm ölçeklerde genetik uzaklığın ($F_{ST} = 0,009 - 0,035$) oldukça düşük olduğu, yüksek rakımdaki alanların alçak rakımdakilere göre daha yüksek allel çeşitliliğine sahip olduğu tespit edilmiştir. Kızılcım popülasyonlarına ait genetik çeşitliliğin düşük rakımda yüksek rakımdakilere nazaran daha yüksek olduğunu (Weinstein, 1988), çeşitlilik farkı bulunmadığını (Kandemir vd., 2004) ve orta yükseklik zonlarında (Işık ve Kara 1997; Kurt vd.,

2011) ya da yüksek zonlarda (Fady, 2005; Soto vd., 2010; Kurt vd., 2012) daha fazla çeşitliliğe rastlandığını gösteren birkaç çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalara ait birbiri ile çelişen sonuçların, kullanılan markör sistemlerindeki ve örneklem seçimindeki farklılıklardan kaynaklanmış olabileceği akla gelmektedir. Ayrıca, Muğla bölgesinin Kaş'tan daha yüksek genetik çeşitliliğe sahip olması, Kaya ve Bilgen (2012)'de de belirtilen batı popülasyonlarının doğuda olanlardan daha yüksek genetik çeşitliliğe sahip olduğu bulgusu ile örtüşmektedir. Fakat yangınla ilişkili karakterlere sahip diğer *Pinus* türleri ile yapılan çalışmalar doğu popülasyonlarının batı popülasyonlarından daha yüksek genetik çeşitliliğe sahip olduğunu göstermektedir (Fady, 2005; Fady ve Conord 2010; Heuertz vd., 2010). Doğu olarak bahsedebileceğimiz Kaş popülasyonlarının daha yüksek genetik çeşitliliğe sahip olmaması, bu popülasyonların çeşitliliği azaltıcı etkenler (çevresel, antropojen vb.) altında olduğunu gösterebileceği gibi çalışma alanının doğu-batı ayrımı için iyi bir çözünürlüğe sahip olmadığına da işaret edebilmektedir.

Genetik çeşitliliğin bireyler arasında en yüksek (%83), alanlar ve bölgeler arasında en düşük oluşu (sırası ile %16 ve %1) hem Kızılcım'da hem de diğer çam türlerinde de yaygın olarak gözlemlenmektedir (Panetsos vd., 1998; Ribeiro vd., 2001, Lucas-Borja vd., 2016). Yüksek verimliliğe sahip ve kendinden uzak soylara ulaşabilen (geniş polen dispersali menziline sahip olan) uzun ömürlü açık tohumluların, yüksek popülasyon içi genetik çeşitliliğe sahip olduğu, hatta incelenen kozalaklı ağaç popülasyonlarının çoğunun, diğer bitki gruplarına kıyasla nispeten yüksek seviyelerde genetik çeşitliliğe ve düşük seviyelerde popülasyonlar arası farklılaşmaya sahip olduğu ileri sürülmektedir (Aguirre-Planter vd., 2000, Lucas-Borja vd., 2016). Bu bulguların, açık tohumluların, uzak popülasyonlara ulaşarak gen akışı sağlamaları ile ya da antropojen etki ile açıklanabileceğini belirten yayınlar da bulunmaktadır (Ribeiro vd., 2001, Lucas-Borja vd., 2016). Fakat Akdeniz çamı türleri ile yapılan çalışmalar, diğer tüm kozalaklı ağaçlara göre, çamların daha yüksek genetik farklılaşmaya ve daha az popülasyon içi genetik çeşitliliğe sahip olduğu göstermektedir (Fady ve Conord 2010; Soto vd., 2010; Grivet vd., 2011; Fady, 2012).

Tüm çalışma bölgesine ait parseller ve Muğla bölgesinde tespit edilen mesafeye bağlı bir izolasyonun varlığı ile genetik çeşitliliğin bireyler arasında daha yüksek oluşu, bu farklılaşmanın, muhtemel genetik sürüklenme ve nispeten düşük seviyelerdeki gen akışı ile açıklanabileceğini göstermektedir. Bu tip desenlerin kozalaklı türlerde yapılan diğer çalışmalarda da görüldüğü bilinmektedir (Aguirre-Planter vd., 2000; Ribeiro vd., 2001; Lucas-Borja vd., 2016).

Muğla ve Kaş bölgelerinde doğal yayılış gösteren Kızılcım'ın beş farklı atasal popülasyona ait element taşıdığı ve bu elementleri taşıyan bireylerin parsel seviyesinde ağırlıklı olarak gruplara ayrılmış halde bulunduğu tespit edilmiştir. Özellikle bu elementlerden iki tanesinin (Şekil 6.5. RPP1 ve RPP2) tepe yangını varlığını işaret eden alanların bulunduğu yangın rejimi kuşaklarındaki yoğun temsili ve tüm elementlerin bölgesel gen havuzunda oluşturdukları motifler, Muğla - Kaş bölgelerinin ve yangın rejimi kuşaklarının farklı genetik örüntülere sahip olduğunu açıkça göstermektedir. Muğla ve Kaş arasında mesafeye bağlı bir izolasyon bulunmamasına rağmen bazı elementlerin bir diğer bölgedeki düşük temsili ve oluşturdukları örüntüler, genetik sürüklenme ve seçilim baskısına neden olabilecek etkenlerin varlığını akla getirmektedir.

Muğla ve Kaş'ta yayılım gösteren Kızılcım'ların genetik çeşitlilik ve popülasyon demografik yapıları, yangın karakterlerinin incelenmesi sonucu elde ettiğimiz, özellikle Muğla bölgesine ait yangın rejimlerine dair kanıtları güçlendirmektedir. Kaş bölgesinde ise genetik çeşitliliğin düşük oluşu, bazı atasal popülasyon elementlerini bulundurmaması, buradaki yangın rejimlerinin yükseklik kuşakları ile uyumlu olmaması ile ele alındığında, yangın rejimindeki olası değişiklikler ya da farklı tohum yetiştirme meşcerelerinden toplanmış tohumlar kullanılarak alanın yeniden kolonizasyonu akla gelmektedir. Yakın zamana (orman yaşı yaklaşık 150 yıl) ait tohumlama uygulamalarının yapıldığına dair kanıtın ve gerçek yangın rejimlerine dair bilginin bulunmaması elde edilen bulguların açıklanmasını güçlendirmektedir.

Güneybatı Anadolu'nun Akdeniz bitkileri için Son Buzul Maksimumu'nda sığınak oluşu (Medail ve Diadema, 2009) ile Kızılcım'da elde ettiğimiz genetik çeşitlilik, genetik farklılaşma, mesafeye bağlı izolasyon ve atasal elementlerin dağılımı, özellikle Muğla bölgesinin bu tür için bir sığınak olabileceğini akla getirmektedir. Yaşam alanı olarak ılıman iğne yapraklı ormanları tercih eden, Anadolu'nun kıyı kuşağındaki Kızılcım ormanlarında da bulunan Anadolu Sivacı Kuşu'nun (*Sitta krueperi*) Son Buzularası'nda bu bölgeyi sığınak olarak kullandığına dair kanıtların varlığı (Perktaş vd., 2015) bu fikri destekler niteliktedir.

Bu tez kapsamında, Kızılcım'ın yangınla ilişkili karakterlerinin parsel, alan ve yangın rejimi kuşakları seviyelerine ait geniş anlamli kalıtılabilirlik değerleri de hesaplanmıştır. Geniş anlamli kalıtılabilirliğin dar anlamli kalıtılabilirlikten her daim büyük oluşu, elde ettiğimiz değerlerin olabildiğince 0'a yakın olması durumunda olası bir seçilim etkisinden bahsetmemizi engellememektedir. Tüm çalışma bölgesine ait ölçümler arasından birey çapına ait alan ölçekli ve maksimum kabuk kalınlığına ait parsel ölçekli analizlerin 0.29 kalıtılabilirlik değerine sahip olması, alan ve parsel seviyesindeki bireylerin çevresel etkenlerce şekillendirilmiş bir

uyarlanmaya ya da fenotipik esnekliğe sahip olduklarını göstermektedir. *P. halepensis* ile yapılan bir çalışmada kabuk kalınlığının orta derecede kalıtılabilir olduğuna dair ($h^2 = 0.15 - 0.24$) bulgular *P. brutia*'nın da benzer bir yapıyı işaret ettiğini göstermektedir (Matziris, 2000). Muğla'da tespit edilen serotinitik seviyesinin düşük bir kalıtılabilirlik değerinin ($H^2 = 0,197$) olması, bu karakterin çevresel faktörler nedeni ile seçilime uğradığını ya da fenotipik esneklik gösterdiğini işaret etmektedir. Aslında, *Pinus* türlerinde farklı serotinitik seviyelerinin güçlü bir seçim altında olduğuna dair kanıtların varlığı (Hernandez-Serrano vd., 2014, ortak bahçe $h^2 = 0.20$; Castellanos, 2015, doğal popülasyon $h^2 = 0.10$) bulgumuzu desteklemektedir (Keeley ve Zedler 1998; Schwilk ve Ackerly 2001; Pausas, 2015b). En alçak canlı dal yüksekliğinin de Muğla'da alan seviyesindeki 0.14 kalıtılabilirlik değeri, alan seviyesindeki etkenlerin varlığını göstermektedir.

Kaş'ta ise alan seviyesinde serotinitik oranı ve çap karakterleri için elde edilen geniş anlamli kalıtılabilirlik değerleri (sırası ile $H^2 = 0.044$ ve $H^2 = 0.264$) ve parsel seviyesinde ise çap ve maksimum kabuk kalınlığındaki kalıtılabilirlik değerleri (sırası ile $H^2 = 0.363$ ve $H^2 = 0.078$), bu karakterlerin çevresel etkenler nedeni ile şekillendiklerine işaret etmektedir. Bu çevresel etkenler iklimsel değişkenler, yangın rejimleri, hayvan müdahaleleri ya da antropojen olabilmektedir.

Parsel ve alan seviyesinde görülen seçim ya da fenotipik esnekliğin yangın rejimi kuşaklarında görülememesi, çalışmada kullanılan yangın rejimi kuşaklarının Kızılcıam'da genetik çeşitliliği temsil etmek için yetersiz olduğunu göstermektedir. Bu çalışmada eklemeli genetik varyansa dayalı bir kalıtılabilirlik analizinin yapılmamış olması, var olan seçim etkisinin farkedilememesine de yol açmış olabilir. Muğla ve Kaş bölgelerinde geniş anlamli kalıtılabilirlik değeri 0.30'dan büyük olan fenotipik karakterlere sahip bireylerde, değerlerin elde edildiği seviyede random bir örneklem yapılması durumunda fenotipik karakterlerini bir sonraki nesle aktarma ihtimalleri, değer 1'e yaklaştıkça artmaktadır. Böylece doğrudan seçim etkisi kanıtlanamasa bile, çevresel faktörlerin popülasyonların demografik yapılarına etkisi sonucunda şekillenen genetik çeşitliliğe bağlı bir karakter kalıtımına sahip oldukları gösterilmektedir. Elde edilen sonuçlar ne olursa olsun, fenotipik özelliklerin şekillenmesinin, sadece genetik ya da sadece ekolojik değişkenlere bağlı olmadığını unutmamak gerekmektedir. Fenotipik karakterlerin incelenmesinde mutlaka popülasyon genetiği, demografisi, tarihi, ekolojik ve insan etkenlerinin bütüncül bir şekilde ele alınması gerekmektedir.

Serotinic seviyesi, kalın kabuk, doğal dal budanması, boy ve çapa ait hesaplanan tüm fenotipik varyansların (P_{ST}), nötral genetik varyanstan (F_{ST}) büyük olduğu belirlenmiştir. Bu bulgular, incelenen tüm karakterlerde fenotipik esneklik ya da seçim baskısının varlığına işaret etmektedir. Nitekim yangının fenotipik esnekliği arttıran ve uzun süreçte seçim baskısı oluşturan bir müdahale olduğu da bilinmektedir (Pausas, 2015b; Pausas, 2017; Keeley ve Pausas, 2019). Genel olarak, genetik çeşitliliğin yüksek olduğu durumlarda fenotipik çeşitliliğin de yüksek olmasının olası çevresel etkenlere uyum sağlama ihtimalini artırması açısından önemli olduğu bilinmektedir. Fakat genetik çeşitlilik artarken fenotipin tek tipleşmesi (fenotipik çeşitliliğin azalması) yani sadece belirli bir aralığı temsil etmesi de bir seçim ya da fenotipik esnekliğin varlığı anlamına gelebilmektedir.

Bulgularımız doğrultusunda yangın rejimi kuşağı ölçeğinde en yüksek açıklama oranlarına sahip serotinic (%70), ağaç boyu (%70) ve en alçak ölü dal yüksekliğine (%51) ait P_{ST} değerleri ile F_{ST} arasındaki negatif ilişki olası bir uyarlanmaya işaret etmektedir. Alan ölçeğinde F_{ST} ve P_{ST} değerleri arasında, Muğla da %64 açıklayıcılık ile kabuk kalınlığı, Kaş'ta %35 açıklayıcılık ile canlı dal yüksekliğinde negatif ilişkinin varlığı daha önce de değinildiği üzere bir uyarlanmayı gösteriyor olabilir. Elde edilen ilişkilerin negatif olması ve açıklayıcılık oranları başka etkenlerin de önemli etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Pozitif ilişki tespit edilmiş olan alan seviyesinde tüm çalışma bölgelerinde en yaşlı serotinic kozalak yaşı (%10), parsel seviyesinde tüm çalışma bölgesinde en yaşlı serotinic kozalak yaşı (%3), Muğla'da boy (%9) ve en alçak canlı dal yüksekliği (%20), Kaş da ise serotinic (%7) ve kabuk kalınlığı (%7), ilişkilerin açıklayıcılık oranları göz önünde bulundurulduğunda genetik çeşitlilik ya da başka etkenlerin önemli bir role sahip olduğunu göstermektedir. Alan seviyesinde, Kaş bölgesinde en yaşlı serotinic kozalak yaşı (%36) ile en alçak ölü dal yüksekliğine (%44) ait F_{ST} değerleri ile P_{ST} değerleri arasındaki pozitif ilişki de genetik çeşitlilik kaynaklı etkinin daha yüksek olduğunu ama hala başka önemli etkenlerin de varlığını işaret etmektedir.

Genel olarak P_{ST} ve F_{ST} değerlerinin ilişkileri incelendiğinde en yüksek açıklayıcılık oranlarının yangın rejimi kuşağı ölçeğinde, orta seviyede ve en düşük açıklayıcılık oranlarının ise sırasıyla alan ve parsel ölçeğinde görülmesi ve F_{ST} nin tüm karakterlere ait P_{ST} değerinden yüksek oluşu, daha yüksek çözünürlüklü alansal ölçekte seçilime neden olabilecek etkenlerin varlığına dair kanıt sunmaktadır.

9. YORUM

Bu tez kapsamında yapılmış olan çalışmalardan elde edilen bulgular özetlenecek olursa,

- Kızılcım'ın, alçak zonda yer alan diğer Akdeniz çam türlerine göre düşük serotinitik seviyesine, kalın kabuğa ve bazı doğal dal budanması işaretlerine sahip olduğunu gösterilmiştir.
- Serotinitik seviyesi, kalın kabukluluk ve doğal dal budanması karakterlerinin, bölge, yangın rejimi kuşakları, alan ve hatta parsel ölçeklerinde belirgin varyasyonlara sahip olduğu belirlenmiştir.
- Serotinitik seviyesi, kalın kabukluluk ve doğal dal budanması karakterlerinde tespit edilen varyasyonların bazı iklimsel faktörler ile ilişkili olduğu tespit edilmiştir.
- Çalışmada değerlendirilen iklimsel değişkenler ve karakter verileri ile Muğla'da yangın rejimlerinin yükseklik kuşakları ile açıklanabileceğini, fakat Kaş'ta yükseklik kuşaklarından bağımsız yangın rejimlerinin varlığına dair işaretler olduğu gösterilmiştir.
- Hem Muğla hem de Kaş bölgelerinde yangın rejimine dair farklılıklar, en küçük ölçek olan parsel seviyesinde dahi tespit edilebilmiştir.
- Kızılcım'ın düşük genetik çeşitlilik gösterdiği ve beş atasal popülasyonun karışımına dair işaretlere sahip olduğu belirlenmiştir.
- Kızılcım'da serotinitik kalıtılabilir bir karakter olduğu (Muğla $H^2= 0.197$) gösterilmiştir.
- Kızılcım'da kabuk kalınlığının kalıtılabilir bir karakter olduğu (Tüm çalışma alanı, $H^2= 0.287$, Kaş, $H^2= 0.078$) belirlenmiştir.
- Kızılcım'da doğal dal budanmasının kalıtılabilirliğine ilişkin bazı işaretler (Muğla alan ölçegi en alçak canlı dal yüksekliği, $H^2= 0.145$) tespit edilebilmiştir.
- Kızılcım popülasyonlarında incelenen karakterlere ait var olan tüm varyasyonların heterojenliğe yönelten bir seçim baskısı ya da fenotipik esneklik nedeni ile ortaya çıkmış olabileceği belirlenmiştir.

Kızılcım'ın güneybatı Anadolu'daki doğal popülasyonları üzerinde gerçekleştirilen bu tez çalışması, yukarıda değinilen bulguları ile bilimsel literatüre konusunda daha önce çalışılmamış bir türe ait önemli bir katkı sağlamaktadır. Bu çalışma, ayrıca, Kızılcım'ın yangınla ilişkili karakterlerine dair bugüne kadar yapılmış en kapsamlı çalışma olma özelliğini de taşımaktadır. Bu çalışmanın çıktuları, ülkemizde ormancılık faaliyetleri açısından önemli olan Kızılcım türünde verim arttırmak ve yangın gibi müdahaleler sonrası gençleştirme stratejilerini

iyileştirmek için kullanılabilceği gibi, iklim değişikliğine karşı türün durumu ile ilgili olarak ve koruma çalışmaları için önemli bir kaynak olma potansiyeline de sahiptir.

İklim değişikliği ve buna bağlı fauna/flora değişimlerinin potansiyel sonuçlarını ön görmek, Kızılçam ve diğer *Pinus* cinsi üyeleri gibi buldukları ülkelere hem yüksek ekonomik hem de ekolojik katkı sağlayan grupların bu süreçten nasıl etkileneceğini anlamak için gün geçtikçe yüksek çözünürlüklü veri elde etme ihtiyacı doğmaktadır. Bilimsel çalışmaların ilerlemesi, yeni yöntemlerin geliştirilmesi ile beraber, bu verilerin elde edilmesi ve koruma çalışmalarında kullanılması zamanla yarışılan bu süreçte yüksek öneme sahiptir. Bundan sonraki çalışmalarda daha yüksek çözünürlük sağlayan genetik markör sistemleri ile Türkiye'nin güney, batı ve kuzey bölgelerinde var olduğunu bildiğimiz Kızılçam popülasyonlarının genetik profilleri, demografik yapıları ve atasal arka planlarını öğrenmek, buldukları alanlardaki farklı çevresel faktörleri belirleyerek popülasyon yapısına ve uyum stratejilerine etkilerini araştırmak gerekmektedir. Ayrıca, bu popülasyonların örneklenerek tek bir bölgeye plantasyonları sonucu oluşturulmuş deneme meşcerelerinde de bu tip çalışmaların paralel olarak sürdürülmesi ile iklimsel ve çevresel koşullara uyum mekanizmaları ve dolayısı ile Kızılçam'ın geleceği için çok önemli bilgilerin eldesi mümkün olacaktır.

10. KAYNAKLAR

- Adamack, A.T., Gruber, B., PopGenReport: simplifying basic population genetic analyses in R. *Methods in Ecology and Evolution*, 5:384-387, **2014**.
- Aguirre-Planter, E., Furnier, G. R., Eguiarte, L. E. Low levels of genetic variation within and high levels of genetic differentiation among populations of species of *Abies* from southern Mexico and Guatemala. *American Journal of Botany*, 87(3), 362-371, **2000**.
- Aktepe, N. Kızılcım (*Pinus brutia* Ten.) ormanlarında bitkilerin yanabilirliğinin popülasyon, tür ve komünite düzeyindeki değişkenliği ve bu değişkenliğin yangın rejimi ile ilişkisi. Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, **2021**.
- Andersen, M.M., Eriksen, P.S., fwsim: Fisher-Wright population simulation. <https://CRAN.Rproject.org/package=fwsim>. R package version 0.3.3., **2015**.
- Arslan, S.S., Antalya-Kemer yöresi Kızılcım (*Pinus brutia* Ten.) ormanlarında yükseltiye bağlı olarak gövde, yaprak ve kabuk özelliklerindeki değişimin tespiti. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, **2013**.
- Badik, K.J., Jahner J.P., Wilson, J.S. A biogeographic perspective on the evolution of fire syndromes in pine trees (*Pinus*: Pinaceae). *Royal Society Open Science*, 5: 172412, **2018**.
- Bär, A., Nardini, A., Mayr, S. Post-fire effects in xylem hydraulics of *Picea abies*, *Pinus sylvestris* and *Fagus sylvatica*. *New Phytologist* 217:1484–93, **2018**.
- Bates, D., Maechler, M., Bolker, B., Walker, S., Christensen, R. H. B., Singmann, H., Dai, B., Grothendieck, G., Green, P., Package ‘lme4’. <https://cran.r-project.org/web/packages/lme4/lme4.pdf>, **2016**.
- Battisti, A., Cantini, R., Rouault, G., Roques, A. Serotinous cones of *Cupressus sempervirens* provide viable seeds in spite of high seed predation. *Annals of Forest Science*, 60: 781-787, **2003**.
- Bekar, İ. Akdeniz ekosistemlerinde günümüz yangın rejimlerinin şekillenmesinde doğal ve antropojen faktörlerin rolü, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, **2016**.
- Bekar, İ., Tavşanoğlu, Ç. Modeling the drivers of natural fire activity: The bias created by cropland fires. *International Journal of Wildland Fire*, 26: 845-851, **2017**.
- Bilgen, B.B., Kaya, N. Chloroplast DNA variation and pollen contamination in a *Pinus brutia* Ten. clonal seed orchard: implication for progeny performance in plantations. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 38: 540-549, **2014**.

- Briand, C.H., Schwilk, D.W., Gauthier, S., Bergeron, Y. Does fire regime influence life history traits of jack pine in the southern boreal forest of Québec, Canada? *Plant Ecol.* 216, 157–164. doi: 10.1007/s11258-014- 0424-x, **2014**.
- Boer, M.M., Bowman, D.M., Murphy, B.P., Cary, G.J., Cochrane, M.A., Fensham, R.J., ... Bradstock, R.A. Future changes in climatic water balance determine potential for transformational shifts in Australian fire regimes. *Environmental Research Letters*, 11(6), 065002, **2016**.
- Boydak, M. Silvicultural characteristics and natural regeneration of *Pinus brutia* Ten.— a review. *Plant Ecology* 171: 153-163, **2004**.
- Boydak, M., Dirik, H., Çalikoğlu, M. Kızılcamin (*Pinus brutia* Ten.) biyolojisi ve silvikültürü. OGEM-VAK, Ankara, **2006**.
- Brommer, J. E. Whither Pst? The approximation of Qst by Pst in evolutionary and conservation biology. *Journal of Evolutionary Biology*, 24, 1160–1168, **2011**.
- Bucci, G., Anzidei, M., Madaghiele, A., Vendramin, G.G. Detection of haplotypic variation and natural hybridization in halepensis-complex pine species using chloroplast simple sequence repeat (SSR) markers. *Molecular Ecology*, 7: 1633-1643, **1998**.
- Budde, K.B., Heuertz, M., Ana Hernandez-Serrano, A., Pausas, J.G., Vendramin, G.G., Verdú, M., Gonzalez-Martinez, S.C. In situ genetic association for serotiny, a fire-related trait, in Mediterranean maritime pine (*Pinus pinaster*), *New Phytologist*, 201, 230–241, **2013**.
- Castellanos, M. C., González-Martínez, S. C., Pausas, J. G. Field heritability of a plant adaptation to fire in heterogeneous landscapes, *Molecular Ecology*, 24, 5633–5642, **2015**.
- Causley, C. L., Fowler, W. M., Lamont, B. B., and He, T. Fitness benefits of serotiny in fire- and droughtprone environments. *Plant Ecology*. 217: 773–779, **2016**.
- Chambel, M.R., Climent, J., Pichot, C., and Ducci, F. Mediterranean pines (*Pinus halepensis* Mill. and *brutia* Ten.). In *Forest tree breeding in Europe* (pp. 229-265). Springer, Dordrecht, **2013**.
- Clark, L.V., Jasieniuk, M., POLYSAT: an R package for polyploid microsatellite analysis. *Molecular Ecology Resources*, 11: 562-566, **2011**.
- Covarrubias-Pazarán, G. Genome-assisted prediction of quantitative traits using the R package sommer. *PloS one*, 11(6), e0156744, **2016**.
- Dimitrakopoulos, A.P. Thermogravimetric analysis of Mediterranean plant species. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 60, 123-130, **2001**.

- Cruz, O., Garcia-Duro, J., Casal, M., Reyes, O. Role of serotiny on *Pinus pinaster* Aiton germination and its relation to mother plant age and fire severity. *iForest-Biogeosciences and Forestry*, 12:491, **2019**.
- Da Silva, S.B., Da Silva, A. Pstat: An R Package to Assess Population Differentiation in Phenotypic Traits. *The R Journal*,10:1, pages 447-454, **2018**.
- Daskalakou, E.N.; Thanos, C.A. Aleppo pine (*Pinus halepensis*) postfire regeneration: The role of canopy and soil seed banks. *International Journal of Wildland Fire*, 6, 59–66, **1996**.
- Dickinson, M. B., Johnson, E. A. Temperature-dependent rate models of vascular cambium cell mortality. *Canadian Journal of Forest Research*, 34(3), 546-559, **2004**.
- Earl, D.A., von Holdt, B.M. Structure harvester: a website and program for visualizing structure output and implementing the Evanno method. *Conservation Genetics Resources*, 4, 359–361, **2012**.
- Eler, Ü. Kızılcamda (*Pinus brutia* Ten.) olgunlaşan kozalaklarda dökülmeyip sonraki yıllara kalan tohum durumu, *Ormancılık Araştırma Enstitüsü Teknik Rapor*, 55, **1992**.
- Eler Ü., Şenergin Ş., Olgunlaşmamış kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) kozalaklarından yararlanabilme imkanları, *Ormancılık Araştırma Enstitüsü Teknik Bülten*, 223,9-28, **1990**.
- Eron, Z., Sarıgül, M. Ege Bölgesinde verimli kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) yanık orman alanlarının kozalaklı dal serme yöntemi ile doğal olarak gençleştirilmesi olanakları, *Ormancılık Araştırma Enstitüsü Teknik Rapor*, 48: 7-37,**1992**.
- Espelta, J.M., Arnan, X., Rodrigo, A. Non-fire induced seed release in a weakly serotinous pine: climatic factors, maintenance costs or both? *Oikos* 120:1752–1760, **2011**.
- Evanno, G., Regnaut, S., Goudet, J. Detecting the number of clusters of individuals using the software structure a simulation study. *Molecular.Ecology*, 14, 2611–2620, **2005**.
- Fady, B. Is there really more biodiversity in Mediterranean forest ecosystems? *Taxon* 54:905–910, **2005**.
- Fady, B. Biogeography of neutral genes and recent evolutionary history of pines in the Mediterranean Basin. *Annals of Forest Science*, 69(4), 421-428 **2012**.
- Fady, B., Conord, C. Macroecological patterns of species and genetic diversity in vascular plants of the Mediterranean Basin. *Divers Distrib* 16:53–64, **2010**.

- Falcon-Lang, H. J., Mages, V., Collinson, M. The oldest *Pinus* and its preservation by fire. *Geology*, 44: 303–306, **2016**.
- Fernandes, P.M., Vega, J.A., Jimenez, E., Rigolot, E. Fire resistance of European pines, *Forest Ecology and Management*, 256, 249-255, **2008**.
- Givnish, T.J. Serotiny, geography, and fire in the pine barrens of New Jersey. *Evolution*, 101-123, **1981**.
- Glasspool, I., Edwards, D., Axe, L. Charcoal in the Silurian as evidence for the earliest wildfire. *Geology* 32, 381–383, **2004**.
- Grivet, D., Climent, J., Zabal-Aguirre, M., Neale, D.B., Vendramin, G.G., González-Martínez, S.C. Adaptive evolution of Mediterranean pines. *Molecular phylogenetics and evolution*, 68(3), 555-566, **2013**.
- Grivet, D., Sebastiani, F., Gonzalez- Martinez, S.C., Vendramin, G.G. Patterns of polymorphism resulting from long range colonization in the Mediterranean conifer Aleppo pine. *New Phytologist*, 184: 1016–1028, **2009**.
- Grivet, D., Sebastiani, F., Alia, R., Bataillon, T., Torre, S., Zabal-Aguirre, M., Vendramin, G.G., Gonzalez-Martinez, S.C. Molecular footprints of local adaptation in two mediterranean conifers. *Molecular Biology Evolution*, 28:101–116, **2011**.
- Gómez, A., González-Martínez, S.C., Collada, C., Climent, J., Gil, L. Complex population genetic structure in the endemic Canary island pine revealed using chloroplast microsatellite markers. *Theoretical and Applied Genetics*, 107:1123–1131, **2003**.
- Gómez, A., Vendramin, G.G., González-Martínez, S.C., Alía, R. Genetic diversity and differentiation of two Mediterranean pines (*Pinus halepensis* Mill. and *Pinus pinaster* Ait.) along a latitudinal cline using chloroplast microsatellite markers. *Divers Distrib* 11:257–263, **2005**.
- Goubitz, S., Nathan, R., Roitemberg, R., Shmida, A., Ne'eman, G. Canopy seed bank structure in relation to: fire, tree size and density. *Plant Ecology*, 173: 191–201, **2004**.
- Goubitz, S., Werger, M. J. A., Ne'eman, G. Germination response to fire-related factors of seeds from nonserotinous and serotinous cones. *Plant Ecology*, 169: 195–204, **2003**.
- Gür, H., Kankılıç, T., Perктаş, U., and Kart Gür, M. Anadolu Yer Sincabının (*Spermophilus xanthoprimum*) Vücut Büyüklüğünde ve Nötral DNA Belirteçlerinde Populasyonlar Arası Farklılaşma Örüntüleri. Ankara: TÜBİTAK, Proje Raporu, **2016**.
- Hadfield, J.D. MCMC methods for multi-response generalized linear mixed models:

- The MCMCglmm R package. *Journal of Statistical Software*, 33: 1-22, **2010**.
- Hanley, M. E., Lamont, B. B. Herbivory, serotiny and seedling defence in Western Australian Proteaceae. *Oecologia* 126: 409–417, **2001**.
 - Hao, Z.Z, Liu, Y.Y, Nazaire, M., Wei, X.X., Wang, X.Q. Molecular phylogenetics and evolutionary history of sect. *Quinquefoliae* (*Pinus*): implications for Northern Hemisphere biogeography. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 87, 65–79, **2015**.
 - He, T., Lamont, B. B. Baptism by fire: The pivotal role of ancient conflagrations in evolution of the Earth's flora. *National Science Review* nwx041, **2017**.
 - He, T., Belcher, C.M., Lamont, B.B., Lim, S.L. A 350-million-year legacy of fire adaptation among conifers. *Journal of Ecology* 104: 352-363, **2016**.
 - 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., Schwilk, D.W., Lamont, B.B. Fire-adapted traits of *Pinus* arose in the fiery Cretaceous, *New Phytologist*, 194: 751-759, **2012**.
 - He, T., Lamont, B.B., Manning, J.A.A. Cretaceous origin for fire adaptations in the Cape flora. *Scientific Reports*, 6: 34880, **2016**.
 - He, T. Lamont, B.B. Fire as a Potent Mutagenic Agent Among Plants, *Critical Reviews in Plant Sciences*, 37:1, 1-14, **2018**.
 - Hernández-León, S., Gernandt, D.S., de la Rosa, J.A.P., Jardón-Barbolla, L. Phylogenetic relationships and species delimitation in *Pinus* section *Trifoliae* inferred from plastid DNA. *PLoS ONE* 8, e70501, **2013**.
 - Hernández-Serrano, A., Verdú, M., González-Martínez, S.C., Pausas, J.G. Fire structures pine serotiny at different scales, *American Journal of Botany* 100: 2349-2356, **2013**.
 - Hernández-Serrano, A., Verdú, M., Santos-del-Blanco, L., Climent, J., González-Martínez, S.C., Pausas, J.G. Heritability and quantitative genetic divergence of serotiny, a fire-persistence plant trait, *Annals of Botany*, 114: 571-577, **2014**.
 - Hijmans, R.J., Cameron, S.E., Parra, J.L., Jones, P.G., Jarvis, A. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 25: 1965-1978, **2005**.
 - Hoffmann, W.A., Geiger, E.L., Gotsch, S.G., Rossatto, D.R., Silva, L.C., Lau, O.L., ... Franco, A.C. Ecological thresholds at the savanna-forest boundary: how plant traits,

- resources and fire govern the distribution of tropical biomes. *Ecology letters*, 15(7), 759-768, **2012**.
- Heuertz, M., Teufel, J., González-Martínez, S.C., Soto, A., Fady, B., Alía, R., Vendramin, G.G. Geography determines genetic relationships between species of mountain pine (*Pinus mugo* complex) in Western Europe. *Journal of Biogeography*, 37:541–556, **2010**.
 - Jensen, K.H., Liesche, J., Bohr, T., Schulz, A. Universality of phloem transport in seed plants. *Plant, cell & environment*, 35(6), 1065-1076, **2012**.
 - Jombart, T., adegenet: a R package for the multivariate analysis of genetic markers. *Bioinformatics*, 24: 1403-1405, **2008**.
 - Işık, K. Altitudinal variation in *Pinus brutia* Ten: seed and seedling characteristics. *Silvae Genetica*, 35: 58–67, **1986**.
 - Işık, K., Kara, N. Altitudinal variation in *Pinus brutia* Ten. and its implication in genetic conservation and seed transfers in southern Turkey. *Silvae Genetica*, 46, 2– 3, **1997**.
 - Kaeuffer, R., Peichel, C.L., Bolnick, D.I., Hendry, A.P. Parallel and nonparallel aspects of ecological, phenotypic, and genetic divergence across replicate population pairs of lake and stream stickleback. *Evolution*, 66, 402–418, **2012**.
 - Kandemir, G.E., Kandemir, I., Kaya, Z. Genetic variation in Turkish red pine (*Pinus brutia* Ten.) seed stands as determined by RAPD markers, *Silvae Genetica*, 53, 4–5, **2004**.
 - Kavgaç, 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: 599- 605, **2010**.
 - Kaya, N., Bilgen, B.B. Relationship between geographic proximity and genetic similarity among the natural populations of *Pinus brutia* Ten.: its implication on genetic conservation, *Pakistan Journal of Botany*, 44(3): 1047-1052, **2012**.
 - Keeley, J.E. Ecology and evolution of pine life histories, *Annals of Forest Science*, 69: 445-453, **2012**.
 - Keeley, J.E., Bond, W.J., Bradstock, R.A., Pausas, J.G., Rundel, P.W. *Fire in Mediterranean Ecosystems: Ecology, Evolution and Management*, Cambridge University Press, **2012**.
 - 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(8): 406-411,

2011.

- Keeley, J.E., Pausas, J.G., Distinguishing disturbance from perturbations in fire-prone ecosystems. *International Journal of Wildland Fire* 28:282–287, **2019**.
- Keeley, J.E., Zedler, P.H. Evolution of life histories in *Pinus*. In: Richardson DM (ed) *Ecology and biogeography of Pinus*, Cambridge University Press, Cambridge, pp 219–250, **1998**.
- Kimura, M. Evolutionary rate at the molecular level. *Nature*, 217 (5129), 624–626, **1968**.
- Kurt, Y., Bilgen, B.B., Kaya, N., Işık, K. Genetic comparison of *Pinus brutia* Ten. populations from different elevations by RAPD markers, *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici*, 39(2):299–304, **2011**.
- Kurt, Y., Gonzalez-Martinez, S., Alia, R., Işık, K. Genetic differentiation in *Pinus brutia* Ten. using molecular markers and quantitative traits: the role of altitude, *Annals of Forest Science*, 69:345–351, **2012**.
- Lamont, B.B., Connell, S., Bergl, S.M. Seed support and population dynamics of *Banksia cuneata*: the role of time, fire and moisture. *Botanical Gazette*, 152: 114–122, **1991**.
- Lamont, B.B., Le Maitre, D.C., Cowling, R.M. Enright, N.J. Canopy seed storage in woody plants. *The Botanical Review* 57: 277–317, **1991**.
- Lamont, B.B., He, T., Pausas, J.G. African geoxyles evolved in response to *fire*; frost came later. *Evolutionary Ecology*, 31: 603–617, **2017**.
- Lamont, B. B. He, T. Fire-proneness as a prerequisite for the evolution of fire-adapted traits. *Trends in Plant Science*, 22: 278–288, **2017**.
- Lamont, B. B., He, T., Yan, Z. Evolutionary history of fire-stimulated resprouting, flowering, seed release and germination. *Biological reviews of the Cambridge Philosophical Society*, 94: 903–928, **2019**.
- Lamont, B. B., Pausas, J. G., He, T., Witkowski, E. T., Hanley, M. E. Fire as a Selective Agent for both Serotiny and Nonserotiny Over Space and Time. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 1–33, **2020**.
- Leinonen, T., Cano, J.M., Makinen, H., Merilä, J. Contrasting patterns of body shape and neutral genetic divergence in marine and lake populations of threespine sticklebacks. *Journal of Evolutionary Biology*, 19, 1803–1812, **2006**.
- Leinonen, T., McCairns, R.S., O'Hara, R.B., Merilä, J. Q_{ST} – F_{ST} comparisons: evolutionary and ecological insights from genomic heterogeneity. *Nature Reviews*

- Genetics, 14: 179-190, **2013**.
- Liepelt, S., Cheddadi, R., de Beaulieu, J.L., Fady, B., Gömöry, D., Hussendörfer, E., Konner, M., Litt, T., Longauer, R., Terhürne-Berson, R. Ziegenhagen Gene biogeography of Mediterranean pines Postglacial range expansion and its genetic imprints in *Abies alba* (Mill.)—a synthesis from paleobotanic and genetic data. *Rev Palaeobotany Palynology* 153:139–149, **2009**.
 - Lucas-Borja, M.E., Ahrazem, O., Candel-Pérez, D., Moya, D., Fonseca, T., Tecles, E. H., ... Gómez-Gómez, L. Evaluation of fire recurrence effect on genetic diversity in maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.) stands using Inter-Simple Sequence Repeat profiles. *Science of the Total Environment*, 572, 1322-1328, **2016**.
 - Magri, D., Vendramin, G.G., Comps, B., Dupanloup, I., Geburek, T., Gomory, D., Latalowa, M., Litt, T., Paule, L., Roure, J.M., Tantau, I., van der Knaap, W.O., Petit, R.J., de Beaulieu, J.L. A new scenario for the Quaternary history of European beech populations: palaeobotanical evidence and genetic consequences. *New Phytologist*, 171:199–221, **2006**.
 - Martín-Sanz, R.C., Callejas-Díaz, M., Tonnabel, J., Climent, J.M. Maintenance costs of serotiny in a variably serotinous pine: the role of water supply. *Plos one* 12:e0181648, **2017**.
 - Martín-Sanz, R.C., San-Martín, R., Poorter, H., Vázquez, A. Climent, J. How Does Water Availability Affect the Allocation to Bark in a Mediterranean Conifer? *Front. Plant Sci.* 10:607, **2019**.
 - Matziris, D.I. Genetic variation and realized genetic gain from Aleppo pine tree improvement. *Silvae Genetica*. 49, **2000**.
 - Médail, F., ve Diadema, K. Glacial refugia influence plant diversity patterns in the Mediterranean Basin. *Journal of biogeography*, 36(7), 1333-1345, **2009**.
 - Michaletz, S.T., Johnson, E.A. How forest fires kill trees: a review of the fundamental biophysical processes. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 22:500–15, 2007.
 - Michaletz, S.T., Johnson, E.A., Tyree, M.T. Moving beyond the cambium necrosis hypothesis of post-fire tree mortality: cavitation and deformation of xylem in forest fires. *New Phytologist*, 194:254–63, 2012.
 - Mousseau, T.A., Roff, D.A. Natural selection and the heritability of fitness components. *Heredity* 59: 181{197, **1987**.
 - Moya, D., Espelta, J., Lopez-Serrano, F., Eugenio, M., De Las Heras, J. Natural post-fire dynamics and serotiny in 10-year-old *Pinus halepensis* Mill. stands along a

- geographic gradient. *International Journal of Wildland Fire*, 17: 287-292, **2008**.
- Myers, N., Mittermeier, R.A., Mittermeier, C.G., da Fonseca, G.A.B., Kent, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403:853–858, **2000**.
 - Ne'eman, G., Goubitz, S., Nathan, R. Reproductive traits of *Pinus halepensis* in the light of fire—A critical review. *Plant Ecology*, 171, 69–79, **2004**
 - Ne'eman, G., Lev-Yadun, S., Arianoutsou, M. Fire-related traits in Mediterranean basin plants. *Israel Journal of Ecology and Evolution* 58:177–194, **2012**.
 - Neyişçi, T., Kızılcamin doğal yayılışı, In: Erol Öktem (Ed.), Kızılcım, Ormancılık Araştırma Enstitüsü Yayınları El Kitabı Dizisi:2, 52, sf. 15-23 , Türkiye, **1987**.
 - Neyişçi, T., Ecological adaptive traits of *Pinus brutia* Ten. to fires. Uluslararası Kızılcım Sempozyumu Bildirileri, Marmaris, Türkiye, sf. 18-23, **1993**.
 - Oksanen, J., Blanchet, F.G., Kindt, R., Legendre, P., Minchin, P.R., O'Hara, R.B., Simpson, G.L., Solymos, P., Stevens, M.H.H., Wagner, H., *vegan: Community Ecology Package*. <http://CRAN.Rproject.org/package=vegan>, **2015**.
 - Örtel, E., Çalıkoğlu, M., Çetinay, Ş., Altun, Z.G., Cengiz, Y., Boza, A., Türker, A.H., Kahraman, T., Gökdemir, Ş., Tosun, S., Arslan, M., Özpay, Z., Karatay, H., Karzaoğlu, C., Kızılcım (*Pinus brutia* Ten.) orijin denemelerinin 20. yıl sonuçları. Batı Akdeniz Ormancılık Araştırma Müdürlüğü, Teknik Bülten No: 35, Antalya, Türkiye, **2010**.
 - Özdemir T., Antalya bölgesinde kızılcım (*Pinus brutia* Ten.) ormanlarının tabii gençleştirme olanakları üzerine araştırmalar, I.Ü. Orman Fakültesi Dergisi A, 27: 243–293, **1977**.
 - Panetsos, K.P., Aravanopoulos, F.A., and Scaltsoyiannes, A. Genetic variation of *Pinus brutia* from islands of the northeastern Aegean sea. *Silvae Genetica*, 47(2), 115-119, **1998**.
 - Paradis, E. *pegas: an R package for population genetics with an integrated–modular approach*. *Bioinformatics*, 26(3), 419-420, **2010**.
 - Paula, S., Arianoutsou, M., Kazanis, D., Tavsanođlu, 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**.
 - Pausas, J.G., Keeley, J.E., Verdú, M. Inferring differential evolutionary processes of plant persistence traits in Northern Hemisphere Mediterranean fire-prone ecosystems. *Journal Ecology*. 94, 31–39, **2006**.

- Pausas, J.G., Bark thickness and fire regimes. *Functional Ecology*, 29, 315-327, **2015a**.
- Pausas, J.G. Evolutionary fire ecology: lessons learned from pines. *Trends in Plant Science* 20: 318–324, **2015b**.
- Pausas J.G. Bark thickness and fire regime: another twist. *New Phytologist*, **2017**.
- Pausas, J.G., Llovet, J., Rodrigo, A., Vallejo, R., Are wildfires a disaster in the Mediterranean basin? - A review, *International Journal of Wildland Fires*, 17, 713-723, **2008**.
- Petit, R.J., Hampe, A., Cheddadi, R. Climate changes and tree phylogeography in the Mediterranean. *Taxon* 54:877–885, **2005**.
- Peakall, R.O.D., ve Smouse, P.E. GENALEX 6: genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research. *Molecular Ecology Notes*, (1), 288-295, **2006**.
- Perктаş, U., Gür, H., Sağlam, İ. K., Quintero, E. Climate-driven range shifts and demographic events over the history of Kruper's nuthatch *Sitta krueperi*. *Bird Study*, 62 (1), 14-28, **2015**.
- Pinard, M.A., Huffman, J. Fire resistance and bark properties of trees in a seasonally dry forest in eastern Bolivia. *Journal of Tropical Ecology*, 13, 727-740, **1997**.
- Pritchard, J.K., Stephens, M., Donnelly, P. Inference of population structure using multilocus genotype data. *Genetics*, 155, 945–959, **2000**.
- Poulos, H.M., Barton, A.M., Slingsby, J.A., Bowman, D.M. Do mixed fire regimes shape plant flammability and post-fire recovery strategies?. *Fire*, 1(3), 39, **2018**.
- R Core Team. R: A Language and Environment for Statistical Computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. **2019**.
- Ribeiro, M.M., Plomion, C., Petit, R.J., Vendramin, G.G., vd.. Variation of chloroplast single-sequence repeats in Portuguese maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.). *Theoretical and Applied Genetics*. 102, 97–103, **2001**.
- Richardson, S. J., Laughlin, D. C., Lawes, M. J., Holdaway, R. J., Wilmshurst, J. M., Wright, M., vd. Functional and environmental determinants of bark thickness in fire-free temperate rain forest communities. *American Journal of Botany*, 102, 1590–1598, **2015**.
- Rodriguez-Sanchez, F., Hampe, A., Jordano, P., Arroy, J. Past tree range dynamics in the Iberian Peninsula inferred through phylogeography and palaeodistribution modelling: a review. *Review of Palaeobotany and Palynology* 162:507–521, **2010**.

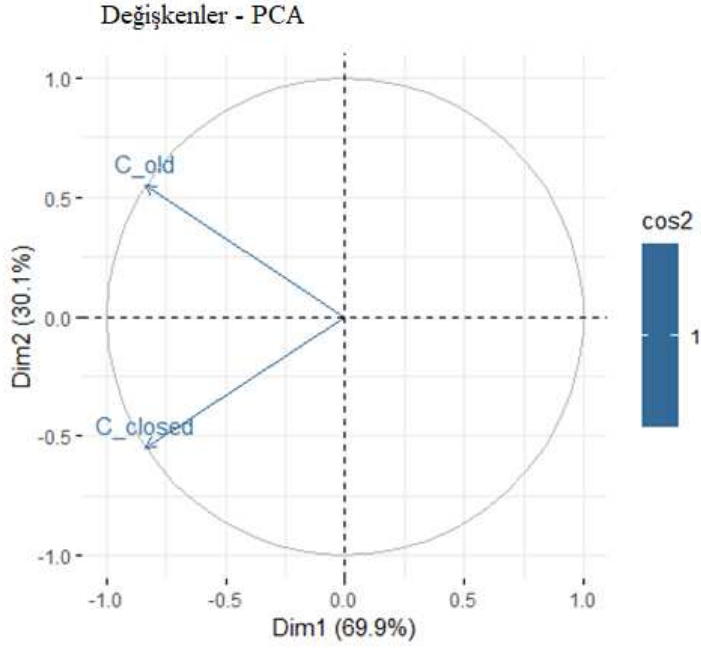
- Romero, C., Bolker, B. M. Effects of stem anatomical and structural traits on responses to stem damage: an experimental study in the Bolivian Amazon. *Canadian Journal of Forest Research*, 38(3), 611-618, **2008**.
- Romero, B., Ganteaume, A. Does recent fire activity impact fire-related traits of *Pinus halepensis* Mill. and *Pinus sylvestris* L. in the French Mediterranean area?. *Annals of Forest Science*, 77(4), 1-19, **2020**.
- Rosell, J.A., Gleason, S., Méndez-Alonzo, R., Chang, Y., Westoby, M. Bark functional ecology: evidence for tradeoffs, functional coordination, and environment producing bark diversity. *New Phytologist*, 201(2), 486-497, **2014**.
- Rosell, J.A., Olson, M.E. The evolution of bark mechanics and storage across habitats in a clade of tropical trees. *American Journal of Botany*, 101(5), 764-777, **2014**.
- Rosell, J.A. Bark thickness across the angiosperms: more than just fire. *New Phytologist*, 211: 90-102, **2016**.
- Rosell, J.A. Bark in woody plants: understanding the diversity of a multifunctional structure. *Integrative and comparative biology*, 59(3), 535-547, **2019**.
- Sæther, S.A., Fiske, P., Kålås, J.A., Kuresoo, A., Luigujõe, L., Piertney, S.B., ... Höglund, J. Inferring local adaptation from Q_{ST} - F_{ST} comparisons: Neutral genetic and quantitative trait variation in European populations of great snipe. *Journal of Evolutionary Biology*, 20, 1563-1576, **2007**.
- Saladin, B. Diversify or specialize: Disturbances influence trait evolution in *Pinus*, M.Sc. thesis. Zurich University, **2013**.
- Santos-del-Blanco, L., Notivol, E., Zas, R., Chambel, M.R., Majada, J., Climent, J. Variation of early reproductive allocation in multi-site genetic trials of Maritime pine and Aleppo pine. *For Syst* 19:381-392, **2010**.
- Sarıbaş, M., Ekinçi, B., Kızılcıamın (*Pinus brutia* Ten.) batı Karadeniz bölgesi' ndeki doğal yayılışına katkı, *ZKÜ Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 6,6, **2004**.
- Savolainen, O., Pyhäjärvi, T., Knürr, T. Gene flow and local adaptation in trees. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 38:595-619, **2007**.
- Soto, A., Robledo-Arnuncio, J.J., Gonzalez-Martinez, S.C., Smouse, P.E., Alia, R. Climatic niche and neutral genetic diversity of the six Iberian pine species: a retrospective and prospective view. *Molecular Ecology*, 19:1396-1409, **2010**.
- Schwilk, D.W., Ackerly, D.D. Flammability and serotiny as strategies: correlated evolution in pines. *Oikos*, 94: 326-336. **2001**.

- Selik, M. Kızılcım (*Pinus brutia* Ten.)'ın botanik özellikleri üzerine araştırmalar ve bunların Halepçamı (*Pinus halepensis* Mill.) vasıfları ile mukayesesi. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi A, 8(2), **1958**.
- Seymour, M., Räsänen, K., Kristjánsson, B.K., Drift versus selection as drivers of phenotypic divergence at small spatial scales: The case of Belgjarskógur threespine stickleback. *Ecology and Evolution*, 9(14), 8133–8145, **2019**.
- Spanos, I.A., Daskalakou, E.N., Thanos, C.A. Postfire, natural regeneration of *Pinus brutia* forests in Thasos island, Greece, *Acta Oecologica*, 21(1): 13–20, **2000**.
- Stephens, S. L., Libby, W. J. Anthropogenic fire and bark thickness in coastal and island pine populations from Alta and Baja California. *Journal of Biogeography*, 33, 648–652, **2006**.
- Şefik, Ö. 1965. Kızılcım (*Pinus brutia* Ten.) kozalak ve tohumu üzerine araştırmalar. Orman Genel Müdürlüğü Yayını 420: 1-93.
- Tapias, R., Climent, J., Pardos, J.A., Gil L. Life histories of Mediterranean pines. *Plant Ecology*, 171:53–68, **2004**.
- Tapias, R., Gil, L., Fuentes-utrilla, P., and Pardos, J.A. Canopy seed banks in Mediterranean pines of south-eastern Spain: a comparison between *Pinus halepensis* Mill., *P. pinaster* Ait., *P. nigra* Arn. and *P. pinea* L. *Journal of Ecology*, 629–638, **2001**.
- Tavşanoğlu, Ç., Gürkan, B. Akdeniz Havzası'nda bitkilerin kuraklık ve yangına uyumları, *Ot Sistematiik Botanik Dergisi*, 11: 119-132, **2004**.
- Tavşanoğlu, Ç., Gürkan, B. Post-fire regeneration of a *Pinus brutia* (Pinaceae) forest in Marmaris National Park, Turkey, *International Journal of Botany*, 5, 107-111, **2009**.
- 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: 355-365, **2014**.
- Tavşanoğlu, Ç., Pausas, J.G. A functional trait database for Mediterranean Basin plants. *Scientific Data* 5: 180135, **2018**.
- Thanos, C.A., Doussi, M.A. Post-fire regeneration of *Pinus brutia* forests, In: G. Ne'eman and L. Trabaud (Eds.) *Ecology, Biogeography and Management of Pinus halepensis and P. brutia Forest Ecosystems in the Mediterranean Basin*, pp. 291-301, Backhuys Publishers, Leiden, The Netherlands, **2000**.
- Ürker, O., Tavşanoğlu, Ç., Gürkan, B. Post-fire recovery of the plant community in *Pinus brutia* forests: active versus indirect restoration techniques after salvage logging. *iForest - Biogeosciences and Forestry*, 11: 635-642, **2018**.

- Vallejo, V.R., Arianoutsou, M., Moreira, F., Fire ecology and post-fire restoration approaches in southern European forest types, *Managing Forest Ecosystems*, 24, **2012**.
- Van Andel, T.H. The climate and landscape of middle part of Weichselian glaciation in Europe: the stage 3 project. *Quaternary Research*, 57:2–8, **2002**.
- Vellend, M., Geber, M.A. Connections between species diversity and genetic diversity. *Ecology Letters*, 8:767–781, **2005**.
- Vendramin, G.G., Lelli, L., Rossi, P., Morgante, M. A set of primers for the amplification of 20 chloroplast microsatellites in Pinaceae. *Molecular Ecology*, 5: 595–598, **1996**.
- Vendramin, G.G., Fady, B., González-Martínez, S.C., Hu, F.S., Scotti, I., Sebastiani, F., Soto, A., Petit, R.J. Genetically depauperate but widespread: the case of an emblematic Mediterranean pine. *Evolution*, 62:680–688, **2008**.
- Verdú, M., Pausas, J.G., Segarra-Moragues, J.G., Ojeda, F. Burning phylogenies: fire, molecular evolutionary rates, and diversification. *Evolution*, 61, 2195–2204, **2007**.
- Verdú, M., Pausas J.G. Fire drives phylogenetic clustering in Mediterranean Basin woody plant communities. *Journal of Ecology*, 95, 1316–1323, **2007**.
- Verkaik, I., Espelta, J.M., Post-fire regeneration thinning, cone production, serotiny and regeneration age in *Pinus halepensis*. *Forest Ecology and Management*, 231: 155-163, **2006**.
- Villemereuil P., Estimation of a biological trait heritability using the animal model. How to use the MCMCglmm R package, **2012**.
- Vincenzi, S., Piotti, A. Evolution of serotiny in maritime pine (*Pinus pinaster*) in the light of increasing frequency of fires. *Plant Ecology*, 215(7), 689-701, **2014**.
- Weinstein, A., Provenance evaluation of *Pinus halepensis*, *P. brutia* and *P. eldarica* in Israel, *Forest Ecology and Management*, 26, 215-225. **1989**.
- Whitlock, M.C., Evolutionary inference from QST. *Molecular Ecology*, 17: 1885-1896, **2008**.

EKLER

EK 1 – Serotinitik oranı (C_closed) ve en yaşlı serotinitik kozalak yaşı (C_old) ait temel bileşen analizinin şematik sunumu. Oluşturulan değişkenler PC1 ve PC2 için açıklanan varyans değerleri verilmiştir.



EK 2 – Bağımlı değişkenlerin bölgesel ve çalışma alanı ölçeklerinde serotinitik oranı (%) ve en yaşlı serotinitik kozalak yaşı üzerindeki etkisini test eden doğrusal model analizlerinin özeti. Analizde, her model bir olabilirlik oran testi kullanılarak sıfır modelle karşılaştırılmıştır. Her modelin AIC, R² ve P değerleri verilmiştir. Anlamlı P değerleri (<0.05) koyu renkte verilmiştir. T_{mean}: yıllık ortalama sıcaklık (°C), P_{ann}: yıllık toplam yağış (mm), AET: gerçek evapotranspirasyon (mm), YD: yangın döngüsü (yıl), NPP: net birincil verimlilik, P_{dry}: kurak dönem yağış (mm), Reg: bölge, FR: yangın rejimi.

Serotinitik oranı (%)	Kaş			Muğla			Overall		
	AIC	R ²	P	AIC	R ²	P	AIC	R ²	P
T _{mean}	72.59	0.194	0.151	53.06	0.814	< 0.0001	144.26	0.042	0.339
T _{mean} *Bölge	-	-	-	-	-	-	130.84	0.536	0.001
T _{mean} *YR	76.28	0.215	0.563	55.29	0.839	0.002	147.11	0.086	0.604
T _{mean} *Bölge*YR	-	-	-	-	-	-	137.77	0.556	0.038
P _{ann}	72.78	0.182	0.167	67.44	0.382	0.032	135.83	0.326	0.004
P _{ann} *Bölge	-	-	-	-	-	-	138.8	0.354	0.03
P _{ann} *YR	75.18	0.284	0.42	54	0.856	0.001	132.91	0.495	0.003
P _{ann} *Bölge*YR	-	-	-	-	-	-	135.52	0.596	0.021
AET	72.88	0.174	0.177	67.68	0.369	0.036	144.49	0.033	0.399
AET*Bölge	-	-	-	-	-	-	139.13	0.345	0.034
AET*YR	76.26	0.216	0.56	55.38	0.838	0.002	134.08	0.469	0.005
AET*Bölge*YR	-	-	-	-	-	-	137.77	0.557	0.038
YD	73.68	0.118	0.275	70.7	0.189	0.158	142.95	0.093	0.148
YD*Bölge	-	-	-	-	-	-	142.56	0.244	0.125
YD*YR	75.43	0.268	0.45	56.55	0.821	0.002	144.1	0.194	0.219
YD*Bölge*YR	-	-	-	-	-	-	136.75	0.575	0.029
NPP	75.17	0.001	0.916	71.06	0.164	0.191	145.28	0	0.968
NPP*Bölge	-	-	-	-	-	-	144.58	0.178	0.26
NPP*YR	75.2	0.283	0.422	56.33	0.793	0.001	138.26	0.368	0.024
NPP*Bölge*YR	-	-	-	-	-	-	135.02	0.57	0.015
P _{dry}	72.53	0.198	0.147	51.66	0.834	< 0.0001	143.45	0.074	0.2
P _{dry} *Bölge	-	-	-	-	-	-	130.31	0.547	0.001
P _{dry} *YR	76.43	0.205	0.584	53.34	0.863	0.001	136.56	0.412	0.013
P _{dry} *Bölge*YR	-	-	-	-	-	-	137.49	0.562	0.036
En Yaşlı Serotinitik Kozalak Yaşı	AIC	R²	P	AIC	R²	P	AIC	R²	P
T _{mean}	-5.65	0.017	0.687	0.77	0.858	< 0.0001	25.98	0.245	0.014
T _{mean} *Bölge	-	-	-	-	-	-	-6.03	0.832	< 0.0001
T _{mean} *YR	-4.2	0.206	0.583	4.01	0.867	0.001	22.27	0.452	0.006
T _{mean} *Bölge*YR	-	-	-	-	-	-	-0.81	0.85	< 0.0001
P _{ann}	-6.36	0.073	0.395	21.06	0.23	0.114	32.59	0.006	0.722
P _{ann} *Bölge	-	-	-	-	-	-	25.81	0.366	0.025

P _{ann} *YR	-6.61	0.35	0.303	6.26	0.839	0.002	28.05	0.303	0.06
P _{ann} *Bölge*YR	-	-	-	-	-	-	0.94	0.839	< 0.0001
AET	-5.65	0.017	0.684	14.37	0.559	0.005	24.8	0.281	0.008
AET*Bölge	-	-	-	-	-	-	14.25	0.608	0
AET*YR	-3.87	0.183	0.634	6.12	0.841	0.001	17.98	0.542	0.001
AET*Bölge*YR	-	-	-	-	-	-	2.27	0.83	< 0.0001
YD	-5.66	0.018	0.679	22.15	0.157	0.203	31.77	0.039	0.354
YD*Bölge	-	-	-	-	-	-	27.93	0.307	0.057
YD*YR	-3.67	0.17	0.665	6.18	0.84	0.001	26.77	0.34	0.037
YD*Bölge*YR	-	-	-	-	-	-	2.48	0.828	< 0.0001
NPP	-5.7	0.021	0.65	21.83	0.179	0.171	32.63	0.004	0.77
NPP*Bölge	-	-	-	-	-	-	27.33	0.324	0.046
NPP*YR	-4.3	0.212	0.569	3.33	0.851	0	25.92	0.363	0.027
NPP*Bölge*YR	-	-	-	-	-	-	-1.08	0.839	< 0.0001
P _{dry}	-5.7	0.021	0.651	1.71	0.847	< 0.0001	30.84	0.076	0.193
P _{dry} *Bölge	-	-	-	-	-	-	-4.86	0.823	< 0.0001
P _{dry} *YR	-2.57	0.09	0.851	3.7	0.87	0.001	2.68	0.758	< 0.0001
P _{dry} *Bölge*YR	-	-	-	-	-	-	-0.06	0.845	< 0.0001

EK 3 – Bölgesel ve çalışma alanı ölçeklerinde serotinitik oranı ve serotinitik yaşının birbirleri üzerine etkisini test eden doğrusal model analizlerinin özeti. Analizde, her model bir olabirlik oran testi kullanılarak sıfır modelle karşılaştırıldı. Her modelin AIC, R² ve P değerleri verilmiştir. Önemli P değerleri (<0.05) koyu renkte verilmiştir. Reg: bölge, FR: yangın rejimi.

Serotinitik Oranı (%)	Kaş			Muğla			Tüm Çalışma Bölgesi		
	AIC	R ²	P	AIC	R ²	P	AIC	R ²	P
boş model	73.18	-	-	71.21	-	-	143.28	-	-
Seryaş	74.33	0.069	0.41	51.79	0.832	< 0.0001	140.97	0.165	0.049
Seryaş*Bölge	-	-	-	-	-	-	133.43	0.484	0.004
Seryaş*YR	74.89	0.301	0.387	52.32	0.874	0.001	139.56	0.333	0.04
Seryaş*Bölge*YR	-	-	-	-	-	-	134.55	0.612	0.016
En Yaşlı Serotinitik Kozalak Yaşı	-	-	-	-	-	-	-	-	-
boş model	-7.44	-	-	22.2	-	-	30.73	-	-
Ser	-6.3	0.069	0.41	2.78	0.832	< 0.0001	28.41	0.165	0.049
Ser*Bölge	-	-	-	-	-	-	-3.85	0.816	< 0.0001
Ser*YR	-2.51	0.085	0.861	0.72	0.899	0	23.65	0.42	0.011
Ser*Bölge*YR	-	-	-	-	-	-	-3.57	0.866	< 0.0001

EK 4 – Bağımlı değişkenlerin bölgesel ve tüm çalışma bölgesi ölçeklerinde ortalama maksimum kabuk kalınlığı üzerindeki etkisini test eden doğrusal model analizlerinin özeti. Analizde, her model bir olabilirlik oran testi kullanılarak sıfır modelle karşılaştırılmıştır. Her modelin AIC, R² ve P değerleri verilmiştir. Anlamlı P değerleri (<0.05) koyu renkte verilmiştir. T_{mean}: yıllık ortalama sıcaklık (°C), P_{ann}: yıllık toplam yağış (mm), AET: gerçek evapotranspirasyon (mm), YD: yangın döngüsü (yıl), NPP: net birincil verimlilik, P_{dry}: kurak dönem yağış (mm), Hei: ortalama birey boyu (mt), Dia: ortalama birey çapı (cm), Serotiny (%): Serotinitik oranı, Serotiny Age: Serotin yaşı (yıl), Reg: bölge, FR: yangın rejimi.

Maksimum Kabuk Kalınlığı (cm)	Kaş			Muğla			Tüm Çalışma Bölgesi		
	AIC	R ²	P	AIC	R ²	P	AIC	R ²	P
T _{mean}	22.43	0.007	0.789	27.12	0.05	0.487	43.88	0.03	0.422
T _{mean} *Bölge							45.16	0.075	0.659
T _{mean} *YR	12.92	0.678	0.023	27.49	0.298	0.393	48	0.06	0.735
T _{mean} *Bölge*YR							48.38	0.471	0.113
P _{ann}	22.45	0.006	0.816	25.99	0.135	0.241	45.87	0	0.981
P _{ann} *Bölge							46.7	0.124	0.439
P _{ann} *YR	25.66	0.069	0.894	25.32	0.414	0.211	43.8	0.224	0.159
P _{ann} *Bölge*YR							48.98	0.31	0.451
AET	22.51	0.001	0.922	24.95	0.207	0.138	45.74	0.006	0.724
AET*Bölge							45.58	0.164	0.3
AET*YR	23.11	0.247	0.493	27.75	0.282	0.423	46.43	0.134	0.401
AET*Bölge*YR							49.31	0.3	0.478
YD	21.05	0.115	0.281	27.08	0.053	0.473	44.4	0.06	0.25
YD*Bölge							46.88	0.117	0.465
YD*YR	11.35	0.718	0.014	22.51	0.536	0.09	38.35	0.381	0.02
YD*Bölge*YR							34.36	0.625	0.013
NPP	15.14	0.459	0.015	27.31	0.034	0.567	40.37	0.205	0.026
NPP*Bölge							43.42	0.236	0.138
NPP*YR	12.03	0.701	0.017	26.93	0.208	0.35	41.48	0.295	0.067
NPP*Bölge*YR							42.47	0.428	0.105
P _{dry}	22.45	0.006	0.813	27.25	0.039	0.539	44.82	0.043	0.332
P _{dry} *Bölge							48.18	0.068	0.694
P _{dry} *YR	19.89	0.425	0.197	26.52	0.352	0.299	47.61	0.09	0.586
P _{dry} *Bölge*YR							45.31	0.408	0.214
Hei	22.3	0.019	0.673	27.39	0.028	0.606	44.92	0.039	0.356
Hei*Bölge							48.22	0.067	0.703
Hei*YR	25.74	0.063	0.907	20.75	0.6	0.052	44.08	0.215	0.176
Hei*Bölge*YR							45	0.415	0.199
Dia	22.43	0.007	0.795	27.35	0.031	0.586	45.61	0.011	0.623

Dia*Bölge							48.29	0.064	0.716
Dia*YR	25.34	0.093	0.842	28.08	0.262	0.462	44.24	0.209	0.186
Dia*Bölge*FYR							51.58	0.231	0.683
Ser	21.49	0.082	0.367	26.51	0.097	0.326	42.88	0.117	0.102
Ser*Bölge							46.52	0.13	0.413
Ser*YR	23.12	0.247	0.494	30.06	0.13	0.758	46.54	0.13	0.416
Ser*Bölge*YR							52.17	0.212	0.737
Seryaş	21.98	0.044	0.513	26.16	0.123	0.265	45.15	0.03	0.42
Seryaş*Bölge							46.5	0.131	0.41
Seryaş*YR	24.33	0.167	0.671	29.38	0.178	0.647	47.94	0.078	0.647
Seryaş*Bölge*YR							52.23	0.21	0.743

EK 5 – Bağımlı değişkenlerin bölgesel ve çalışma alanı ölçeklerinde en alçak canlı dal yüksekliğinin üzerindeki etkisini test eden doğrusal model analizlerinin özeti. Analizde, her model bir olabilirlik oran testi kullanılarak sıfır modelle karşılaştırılmıştır. Her modelin AIC, R² ve P değerleri verilmiştir. Anlamlı P değerleri (<0.05) koyu renkte verilmiştir. T_{mean}: yıllık ortalama sıcaklık (°C), P_{ann}: yıllık toplam yağış (mm), AET: gerçek evapotranspirasyon (mm), YD: yangın döngüsü (yıl), NPP: net birincil verimlilik, P_{dry}: kurak dönem yağış (mm), B_{tmax}: kabuki kalınlığı (cm), Hei: ortalama birey boyu (m), Dia: ortalama birey çapı (cm), serotiny: serotinitik oranı (%), serotiny age: serotin yaşı (yıl), Reg: bölge, FR: yangın rejimi.

En Alçak Canlı Dal Yüksekliği (m)	Kaş			Muğla			Tüm Çalışma Bölgesi		
	AIC	R ²	P	AIC	R ²	P	AIC	R ²	P
T _{mean}	47.75	0.088	0.348	50.78	0.274	0.081	97.99	0.02	0.508
T _{mean} *Bölge	-	-	-	-	-	-	96.72	0.213	0.179
T _{mean} *YR	45.38	0.464	0.153	50.18	0.505	0.114	100.59	0.076	0.656
T _{mean} *Bölge*YR	-	-	-	-	-	-	94.04	0.496	0.085
P _{ann}	46.28	0.194	0.152	53.49	0.091	0.341	97.63	0.035	0.382
P _{ann} *Bölge	-	-	-	-	-	-	98.83	0.141	0.375
P _{ann} *YR	43.47	0.543	0.085	55.45	0.232	0.525	100.97	0.061	0.733
P _{ann} *Bölge*YR	-	-	-	-	-	-	99.8	0.359	0.32
AET	47.69	0.093	0.334	52.09	0.19	0.156	98.23	0.01	0.64
AET*Bölge	-	-	-	-	-	-	98.18	0.164	0.3
AET*YR	50.98	0.145	0.722	55.46	0.232	0.525	99.76	0.107	0.508
AET*Bölge*YR	-	-	-	-	-	-	104.85	0.209	0.745
YD	48.78	0.007	0.8	51.95	0.2	0.145	98.41	0.003	0.802
YD*Bölge	-	-	-	-	-	-	98.94	0.137	0.389
YD*YR	50.1	0.206	0.583	54.45	0.294	0.4	102.19	0.012	0.97
YD*Bölge*YR	-	-	-	-	-	-	102.95	0.269	0.569
NPP	48.85	0.001	0.911	35.37	0.799	0	98.15	0.014	0.588
NPP*Bölge	-	-	-	-	-	-	85.82	0.501	0.003
NPP*YR	50.17	0.201	0.593	36.98	0.805	0.001	100.73	0.07	0.685
NPP*Bölge*YR	-	-	-	-	-	-	87.67	0.58	0.012
P _{dry}	47.72	0.091	0.341	51.15	0.252	0.097	98.39	0.004	0.775
P _{dry} *Bölge	-	-	-	-	-	-	97.12	0.2	0.206
P _{dry} *YR	43.23	0.552	0.079	54.23	0.307	0.377	99.45	0.118	0.461
P _{dry} *Bölge*YR	-	-	-	-	-	-	97.9	0.408	0.214
B _{tmax}	47.55	0.104	0.307	54.55	0.006	0.811	98.41	0.003	0.809
B _{tmax} *Bölge	-	-	-	-	-	-	101.11	0.055	0.762
B _{tmax} *YR	45.61	0.454	0.164	52.31	0.41	0.217	101.48	0.041	0.837
B _{tmax} *Bölge*YR	-	-	-	-	-	-	96.84	0.434	0.168
Hei	41.23	0.471	0.014	39.71	0.712	0.001	77.29	0.586	0
Hei*Bölge	-	-	-	-	-	-	78.99	0.624	0

Hei*YR	43.89	0.527	0.097	37.84	0.823	0.002	76.2	0.665	0
Hei*Bölge*YR	-	-	-	-	-	-	80.48	0.713	0.002
Dia	48.74	0.01	0.753	50.7	0.279	0.077	95.07	0.132	0.08
Dia*Bölge	-	-	-	-	-	-	97.52	0.187	0.238
Dia*YR	46.85	0.394	0.237	51.11	0.465	0.152	97.41	0.19	0.229
Dia*Bölge*FYR	-	-	-	-	-	-	96.34	0.445	0.149
Ser	48.09	0.062	0.434	53.33	0.102	0.311	97.18	0.052	0.282
Ser*Bölge	-	-	-	-	-	-	99.99	0.098	0.547
Ser*YR	49.31	0.257	0.473	53.04	0.372	0.268	99.91	0.101	0.534
Ser*Bölge*YR	-	-	-	-	-	-	100.63	0.336	0.378
Seryaş	44.36	0.313	0.058	53.27	0.107	0.3	95.23	0.126	0.088
Seryaş*Bölge	-	-	-	-	-	-	97.25	0.196	0.216
Seryaş*YR	46.04	0.434	0.187	52.4	0.405	0.223	98.14	0.165	0.296
Seryaş*Bölge*YR	-	-	-	-	-	-	97.27	0.423	0.185

EK 6 – Bağımlı değişkenlerin bölgesel ve tüm çalışma bölgesi ölçeklerinde () en alçak ölü dal yüksekliğinin üzerindeki etkisini test eden doğrusal model analizlerinin özeti. Analizde, her model bir olabilirlik oran testi kullanılarak sıfır modelle karşılaştırılmıştır. Her modelin AIC, R² ve P değerleri verilmiştir. Anlamlı P değerleri (<0.05) koyu renkte verilmiştir. T_{mean}: yıllık ortalama sıcaklık (°C), P_{ann}: yıllık toplam yağış (mm), AET: gerçek evapotranspirasyon (mm), YD: yangın döngüsü (yıl), NPP: net birincil verimlilik, P_{dry}: kurak dönem yağış (mm)), B_{tmax}: kabuki kalınlığı (cm), Hei: ortalama birey boyu (m), Dia: ortalama birey çapı (cm), serotiny: serotinitik oranı (%), serotiny age: serotin yaşı (yıl), Reg: bölge, FR: yangın rejimi.

En Alçak Ölü Dal Yüksekliği (Boole'sal - m)	Kaş			Muğla			Tüm Çalışma Bölgesi		
	AIC	R ²	P	AIC	R ²	P	AIC	R ²	P
T _{mean}	6.47	0.025	0.622	-5.17	0.012	0.733	-1.27	0.022	0.488
T _{mean} *Bölge	-	-	-	-	-	-	2.02	0.051	0.786
T _{mean} *YR	6.92	0.2752	0.436	-2.84	0.14	0.734	-1.04	0.164	0.299
T _{mean} *Bölge*YR	-	-	-	-	-	-	4.01	0.261	0.594
P _{ann}	6.18	0.049	0.489	-5.03	0	0.985	-0.73	0	0.977
P _{ann} *Bölge	-	-	-	-	-	-	1.68	0.064	0.716
P _{ann} *YR	0.59	0.572	0.067	-1.08	0.005	0.998	2.54	0.03	0.891
P _{ann} *Bölge*YR	-	-	-	-	-	-	-2.43	0.435	0.165
AET	6.25	0.043	0.517	-5.5	0.039	0.541	-0.88	0.006	0.713
AET*Bölge	-	-	-	-	-	-	1.52	0.07	0.685
AET*YR	9.97	0.065	0.903	-3.8	0.207	0.581	2.54	0.03	0.891
AET*Bölge*YR	-	-	-	-	-	-	7.92	0.13	0.923
YD	6.47	0.026	0.62	-8.36	0.242	0.104	-0.94	0.008	0.67
YD*Bölge	-	-	-	-	-	-	0.43	0.112	0.49
YD*YR	9.7	0.086	0.858	-5.21	0.294	0.399	1.4	0.075	0.66
YD*Bölge*YR	-	-	-	-	-	-	6.85	0.168	0.848
NPP	5.76	0.081	0.369	-7.69	0.199	0.146	-2.07	0.054	0.273
NPP*Bölge	-	-	-	-	-	-	-0.34	0.14	0.379
NPP*YR	9.38	0.11	0.804	-6.64	0.26	0.258	1.8	0.059	0.741
NPP*Bölge*YR	-	-	-	-	-	-	4.63	0.176	0.723
P _{dry}	6.49	0.024	0.629	-5.11	0.007	0.794	-1.58	0.035	0.384
P _{dry} *Bölge	-	-	-	-	-	-	2.08	0.048	0.797
P _{dry} *YR	7.7	0.226	0.537	-1.58	0.045	0.943	1.51	0.071	0.682
P _{dry} *Bölge*YR	-	-	-	-	-	-	5.87	0.201	0.765
B _{tmax}	3.88	0.215	0.13	-5.05	0.002	0.886	-2.88	0.086	0.165
B _{tmax} *Bölge	-	-	-	-	-	-	-1.54	0.182	0.25
B _{tmax} *YR	6.69	0.289	0.409	-4.13	0.228	0.534	-0.47	0.144	0.364
B _{tmax} *Bölge*YR	-	-	-	-	-	-	2.92	0.294	0.496
Hei	6.11	0.054	0.467	-10.32	0.357	0.04	-0.75	0.001	0.892
Hei*Bölge	-	-	-	-	-	-	-0.97	0.162	0.306

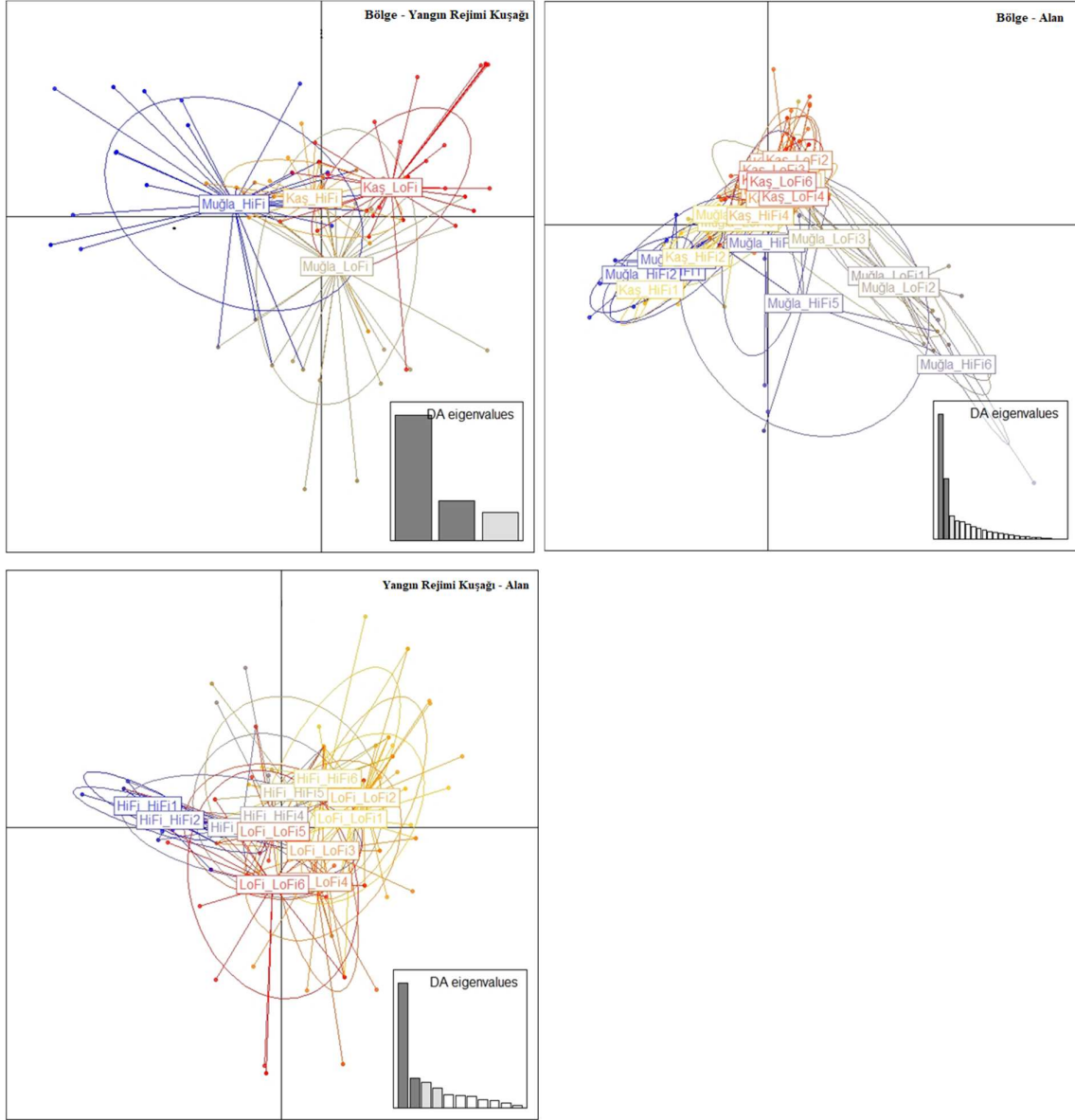
Hei*YR	5.46	0.358	0.29	-6.78	0.381	0.256	2.47	0.033	0.877
Hei*Bölge*YR	-	-	-	-	-	-	-0.32	0.383	0.265
Dia	6.78	0	0.986	-10.7	0.377	0.034	-2.74	0.08	0.18
Dia*Bölge	-	-	-	-	-	-	-0.05	0.129	0.419
Dia*YR	8.77	0.154	0.702	-6.74	0.379	0.259	-0.35	0.14	0.378
Dia*Bölge*FYR	-	-	-	-	-	-	4.73	0.238	0.661
Ser	6.56	0.018	0.676	-5.11	0.006	0.804	-0.79	0.002	0.824
Ser*Bölge	-	-	-	-	-	-	2.19	0.044	0.82
Ser*YR	9.04	0.135	0.746	-2.33	0.103	0.822	2.58	0.028	0.9
Ser*Bölge*YR	-	-	-	-	-	-	7.31	0.152	0.883
Seryaş	6.72	0.005	0.826	-5.03	0	0.987	-0.81	0.003	0.791
Seryaş*Bölge	-	-	-	-	-	-	2.46	0.033	0.876
Seryaş*YR	-2.47	0.669	0.025	-2.45	0.112	0.8	1.96	0.053	0.774
Seryaş*Bölge*YR	-	-	-	-	-	-	-6.92	0.531	0.054

EK 7 – Bağımlı değişkenlerin bölgesel ve tüm çalışma bölgesi ölçeklerinde () en alçak ölü dal yüksekliğinin üzerindeki etkisini test eden doğrusal model analizlerinin özeti. Analizde, her model bir olabilirlik oran testi kullanılarak sıfır modelle karşılaştırılmıştır. Her modelin AIC, R² ve P değerleri verilmiştir. Anlamlı P değerleri (<0.05) koyu renkte verilmiştir. T_{mean}: yıllık ortalama sıcaklık (°C), P_{ann}: yıllık toplam yağış (mm), AET: gerçek evapotranspirasyon (mm), YD: yangın döngüsü (yıl), NPP: net birincil verimlilik, P_{dry}: kurak dönem yağış (mm)), B_{tmax}: kabuki kalınlığı (cm), Hei: ortalama birey boyu (m), Dia: ortalama birey çapı (cm), serotiny: serotinitik oranı (%), serotiny age: serotin yaşı (yıl), Reg: bölge, FR: yangın rejimi.

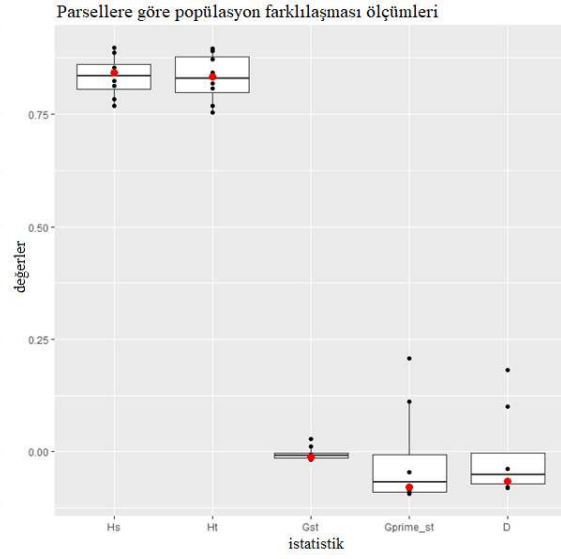
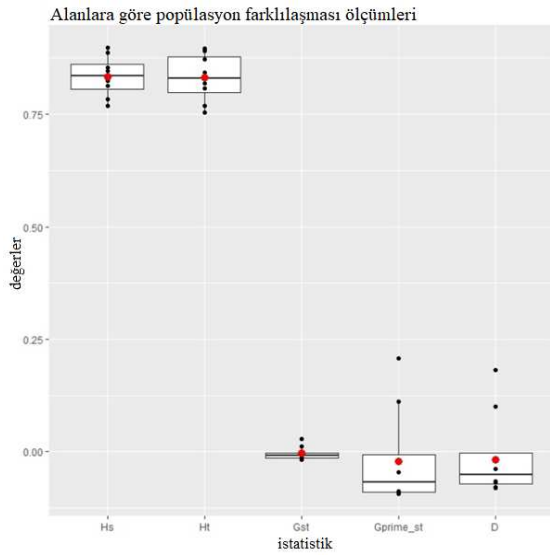
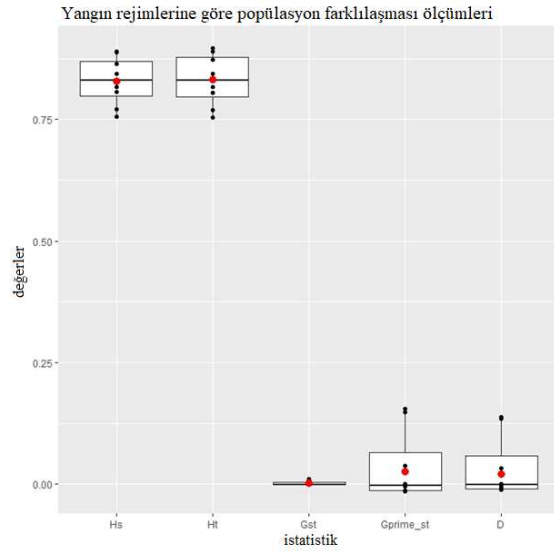
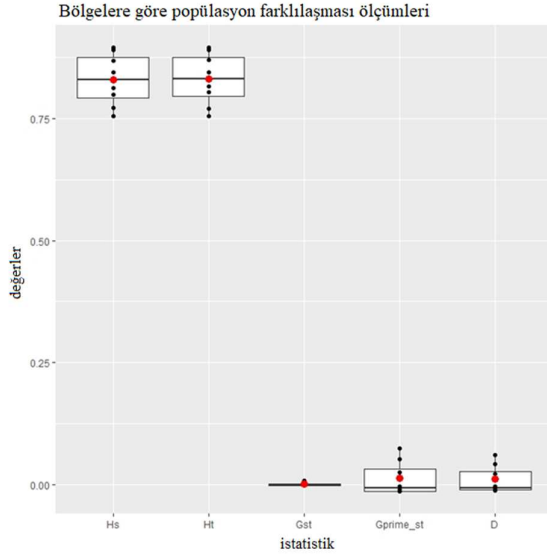
En Alçak Ölü Dal Yüksekliği ("0"sız - m)	Kaş			Muğla			Tüm Çalışma Bölgesi		
	AIC	R ²	P	AIC	R ²	P	AIC	R ²	P
T _{mean}	-14.94	0.063	0.433	-7.25	0.165	0.191	-23.92	0.016	0.558
T _{mean} *Bölge	-	-	-	-	-	-	-22.97	0.133	0.402
T _{mean} *YR	-18.86	0.516	0.106	-9.36	0.498	0.121	-22.68	0.123	0.444
T _{mean} *Bölge*YR	-	-	-	-	-	-	-28.38	0.504	0.077
P _{ann}	-15.63	0.115	0.281	-5.67	0.047	0.499	-24.19	0.027	0.445
P _{ann} *Bölge	-	-	-	-	-	-	-21.29	0.07	0.684
P _{ann} *YR	-15.47	0.357	0.291	-3.52	0.183	0.634	-20.55	0.041	0.835
P _{ann} *Bölge*YR	-	-	-	-	-	-	-18.13	0.24	0.655
AET	-14.71	0.045	0.508	-6.6	0.118	0.275	-23.69	0.007	0.708
AET*Bölge	-	-	-	-	-	-	-21.96	0.096	0.558
AET*YR	-11.97	0.14	0.735	-3.49	0.181	0.639	-20.87	0.054	0.768
AET*Bölge*YR	-	-	-	-	-	-	-15.99	0.169	0.845
YD	-14.22	0.005	0.825	-9.22	0.291	0.07	-23.9	0.015	0.568
YD*Bölge	-	-	-	-	-	-	-24.92	0.201	0.204
YD*YR	-12.67	0.189	0.621	-5.54	0.31	0.371	-19.92	0.016	0.954
YD*Bölge*YR	-	-	-	-	-	-	-19.16	0.272	0.56
NPP	-14.17	0.001	0.925	-16.18	0.603	0.003	-23.76	0.009	0.658
NPP*Bölge	-	-	-	-	-	-	-32.27	0.412	0.013
NPP*YR	-11.59	0.112	0.8	-15.1	0.632	0.011	-20.59	0.043	0.826
NPP*Bölge*YR	-	-	-	-	-	-	-28.63	0.467	0.066
P _{dry}	-14.95	0.064	0.428	-6.95	0.144	0.224	-23.66	0.005	0.737
P _{dry} *Bölge	-	-	-	-	-	-	-22.59	0.12	0.456
P _{dry} *YR	-23.74	0.678	0.023	-5.49	0.307	0.376	-20.83	0.052	0.777
P _{dry} *Bölge*YR	-	-	-	-	-	-	-24.88	0.426	0.18
B _{tmax}	-15.83	0.13	0.25	-5.09	0	0.992	-23.88	0.014	0.582
B _{tmax} *Bölge	-	-	-	-	-	-	-20.59	0.043	0.825
B _{tmax} *YR	-16.03	0.387	0.247	-8.14	0.444	0.175	-22.22	0.106	0.514
B _{tmax} *Bölge*YR	-	-	-	-	-	-	-24.89	0.427	0.179
Hei	-19.1	0.337	0.048	-21.91	0.754	0	-41.19	0.521	0
Hei*Bölge	-	-	-	-	-	-	-42.85	0.621	0

Hei*YR	-16.29	0.4	0.229	-18.52	0.766	0.007	-40.13	0.576	0.001
Hei*Bölge*YR	-	-	-	-	-	-	-36.71	0.65	0.008
Dia	-14.54	0.031	0.581	-12.5	0.461	0.015	-30.9	0.264	0.01
Dia*Bölge	-	-	-	-	-	-	-28.96	0.325	0.045
Dia*YR	-15.43	0.355	0.294	-10.45	0.542	0.086	-27.96	0.296	0.066
Dia*Bölge*FYR	-	-	-	-	-	-	-27.37	0.483	0.099
Ser	-14.25	0.008	0.788	-5.78	0.055	0.461	-24.05	0.021	0.5
Ser*Bölge	-	-	-	-	-	-	-20.56	0.042	0.832
Ser*YR	-11.79	0.127	0.765	-5.79	0.324	0.346	-21.41	0.075	0.66
Ser*Bölge*YR	-	-	-	-	-	-	-18.84	0.262	0.59
Seryaş	-16.92	0.205	0.139	-6.09	0.08	0.374	-25.54	0.08	0.18
Seryaş*Bölge	-	-	-	-	-	-	-22.64	0.121	0.449
Seryaş*YR	-13.51	0.243	0.501	-4.82	0.267	0.453	-23.09	0.138	0.386
Seryaş*Bölge*YR	-	-	-	-	-	-	-18.78	0.261	0.595

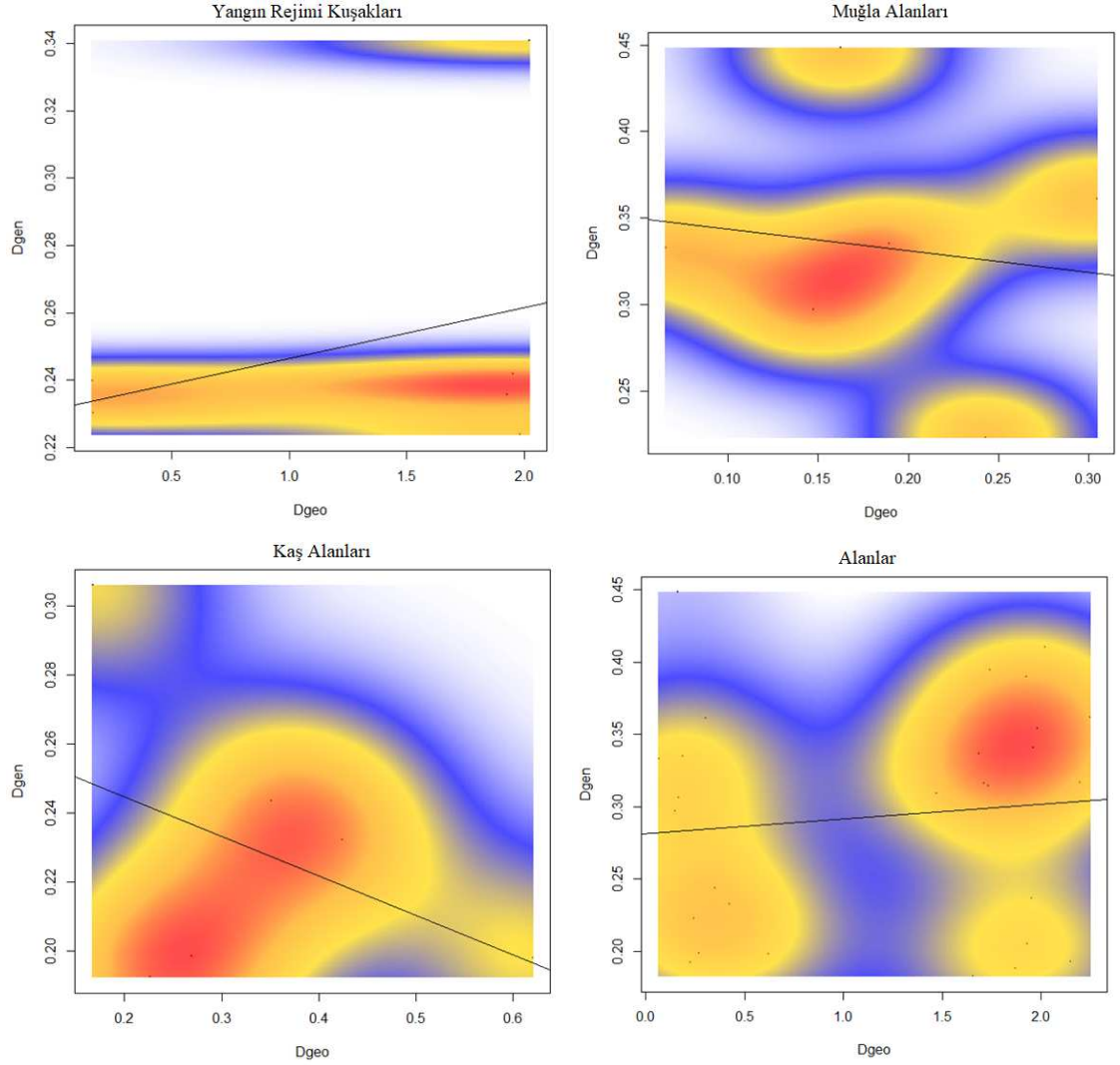
EK 8 - Bölge, yangın rejimi ve populasyonlara ait Temel Bileşenlerin Ayrıştırıcı Analiz grafikleri (DAPC).



EK 9 - Hs, Ht, Gst, Gprime_st ve D'nin bölgelere, yangın rejimine, popülasyonlara ve alt popülasyonlara göre ölçümü.



EK 10 - Yangın rejimi, alan, parsel ve bölge ölçeğinde mesafeye bağlı izolasyon.



EK 11 - Doğrudan STRUCTURE ile elde edilen alanlar ve bireylerine ait belirlenmiş katkı koyan popülasyon elementlerine göre dizilmiş ayrıntılı tahmini karışım durumu. Admixture modeli, ael frekansları ilişkili, K=5, 200K/200K.

