

**YANGIN SIKLIĞI VE VEJETASYON ÖRTÜSÜNÜN
AKDENİZ VEJETASYONU DİNAMİKLERİ ÜZERİNE
ETKİSİNİN MODELLENMESİ**

**MODELLING OF FIRE FREQUENCY AND VEGETATION
COVER EFFECTS ON MEDITERRANEAN VEGETATION
DYNAMICS**

ANIL BAHAR

DOÇ. DR. ÇAĞATAY TAVŞANOĞLU

TEZ DANIŞMANI

Hacettepe Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim – Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin

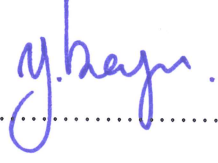
Biyoloji Anabilim Dalı için Öngördüğü

YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak hazırlanmıştır.

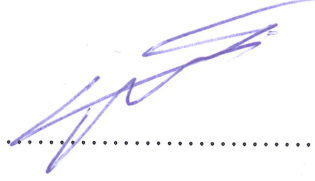
2018

ANIL BAHAR 'ın hazırladığı “YANGIN SIKLIĞI VE VEJETASYON ÖRTÜSÜNÜN AKDENİZ VEJETASYONU DİNAMİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİNİN MODELLENMESİ” adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından BİYOLOJİ ANABİLİM DALI'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Dr. Öğr. Üyesi Burçin Y. KAYNAŞ
Başkan


.....

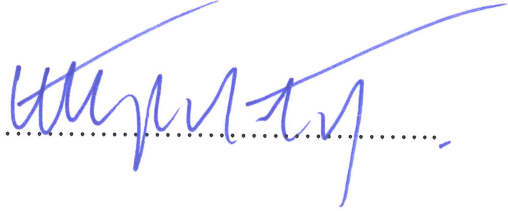
Doç.Dr. Çağatay TAVŞANOĞLU
Danışman


.....

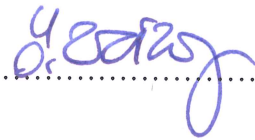
Doç.Dr. A. Emre YAPRAK
Üye


.....

Doç. Dr. Utku PERKTAŞ
Üye


.....

Doç. Dr. Özge ERİŞÖZ KASAP
Üye


.....

Bu tez Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak onaylanmıştır.

Prof. Dr. Menemşe GÜMÜŞDERELİOĞLU
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

YAYINLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI

Enstitü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin/raporumun tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı (kağıt) ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda verilen koşullarla kullanıma açma iznini Hacettepe Üniversitesine verdiğimi bildiririm. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak, tezimin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanım hakları bana ait olacaktır.

Tezin kendi orijinal çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanması zorunlu metinlerin yazılı izin alarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

- ☐ Tezimin/Raporumun tamamı dünya çapında erişime açılabilir ve bir kısmı veya tamamının fotokopisi alınabilir.

(Bu seçenekle teziniz arama motorlarında indekslenebilecek, daha sonra tezinizin erişim statüsünün değiştirilmesini talep etmeniz ve kütüphane bu talebinizi yerine getirirse bile, tezinin arama motorlarının önbelleklerinde kalmaya devam edebilecektir.)

- ☐ Tezimin/Raporumun tarihine kadar erişime açılmasını ve fotokopi alınmasını (İç Kapak, Özet, İçindekiler ve Kaynakça hariç) istemiyorum.

(Bu sürenin sonunda uzatma için başvuruda bulunmadığım takdirde, tezimin/raporumun tamamı her yerden erişime açılabilir, kaynak gösterilmek şartıyla bir kısmı ve ya tamamının fotokopisi alınabilir)

- ☒ Tezimin/Raporumun 22 Haziran 2021 tarihine kadar erişime açılmasını istemiyorum, ancak kaynak gösterilmek şartıyla bir kısmı veya tamamının fotokopisinin alınmasını onaylıyorum.

- ☐ Serbest Seçenek/Yazarın Seçimi

22 /06 /2018



Anıl Bahar

ETİK

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada,

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite ya da herhangi bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

29/05/2018



Anıl Bahar

ÖZET

YANGIN SIKLIĞI VE VEJETASYON ÖRTÜSÜNÜN AKDENİZ VEJETASYONU DİNAMİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİNİN MODELLENMESİ

ANIL BAHAR

Yüksek Lisans, Biyoloji

Tez danışmanı: Doç. Dr. Çağatay Tavşanoğlu

Haziran 2018

Son yüzyılda gerçekleşen küresel değişimler, Akdeniz havzasında yangın rejimleri ve vejetasyon yapısında değişimlere yol açmaktadır. Bu tez çalışmasında Akdeniz'deki çam ormanı ve maki çalılığı peyzajlarında yangın sıklığının uzun dönemli vejetasyon dinamikleri üzerine etkileri modelleme yaklaşımıyla araştırılmıştır. Simülasyon senaryoları farklı toplam başlangıç vejetasyon örtüsü ile farklı yangın sıklıklarının belirli türler tarafından temsil edilen yaşam formu ve yenilenme yeteneklerine sahip fonksiyonel gruplar ile yaratılmıştır. Bu fonksiyonel gruplar, Çam (tohumla yenilenen ağaçlar), Meşe (zorunlu sürgün veren ağaç ve çalılar), Funda (fakültatif sürgün veren çalılar), Laden (tohumla yenilenen çalılar) ve Ot (zorunlu sürgün veren otsular) olarak belirlenmiştir. Çalışmada, yangın ve peyzaj dinamiklerinin ilişkilerini hesaplarken fonksiyonel karakterleri dikkate alan ve mekânsal örüntü içeren FATELAND modeli kullanılmıştır. Bu çalışmada 3 farklı peyzaj yapısında kullanılan 7 yangın sıklığı senaryosu (5. yıldan başlayarak 80. yıla kadar devam eden ve yangının olmadığı senaryolar) ve 10 farklı toplam başlangıç vejetasyon örtüsü senaryosu (peyzajı % 0 - % 100 oranlarında kaplayan) kullanılmıştır. Senaryolar, söz konusu peyzajlarda 120 yıl boyunca çalıştırılarak fonksiyonel grupların nihai bollukları elde edilmiştir.

Çam'ın nihai bolluğu Meşe'nin varlığından ve yangın sıklığının artışından negatif etkilenmiştir. Meşe, üzerindeki yangın sıklığı etkisi düşük olmasına rağmen senaryoların

çoğunda vejetasyonu domine eden fonksiyonel grup olmuştur. Yangın sıklığının artışı Funda, Laden ve Ot'un vejetasyondaki nihai bolluklarını olumlu bir şekilde etkilerken, toplam başlangıç vejetasyon örtüsündeki artış bu grupların nihai bolluklarını olumsuz etkilemiştir. Çam'ın olmadığı maki çalılığı peyzajında, fonksiyonel grupların nihai bolluğunda çam ormanı peyzajı ile benzer sonuçlar elde edilmiştir. Ancak Meşe'nin olmadığı çam ormanı peyzajında ise tüm fonksiyonel grupların nihai bolluklarında gözle görülür bir artış olmuştur. Bu çalışma, yangın sıklığına ek olarak sürgün veren ağaçların başlangıç bolluklarının da Akdeniz havzasında yangın sonrası vejetasyon dinamikleri için önemli bir ekosistem sürücüsü olduğunu göstermiştir.

Anahtar kelimeler: Vejetasyon dinamikleri, Çam ormanı, Maki çalılığı, Yangın

ABSTRACT

MODELLING OF FIRE FREQUENCY AND VEGETATION COVER EFFECTS ON MEDITERRANEAN VEGETATION DYNAMICS

ANIL BAHAR

Master of Science, Biology

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Çağatay Tavşanoğlu

June 2018,

In the last century, global changes have resulted in changes in fire regimes and vegetation structure in the Mediterranean basin. In this study, long-term effects of fire frequency on vegetation dynamics were examined using a modelling approach in pine woodland and maquis shrubland landscapes. Simulation scenarios created with different functional groups involving certain life history traits and regeneration strategies on different total initial plant cover and different fire frequencies. These functional groups were determined as *Pinus* (seeder trees) *Quercus* (obligate resprouter large shrubs), *Erica* (facultative resprouter shrubs), *Cistus* (seeder shrubs) and *Brachypodium* (obligate resprouter herbs). We used spatially-explicit FATELAND model considering functional traits for computing the relationship between fire and vegetation dynamics. Seven fire scenarios (fire in each 5 to 80 years and no fire scenarios) and 10 total initial plant cover scenarios (from 0 % to 100 % cover of the landscape) in 3 different landscapes. Scenarios were run for 120 years in different landscapes to obtain final abundance of functional groups.

The final abundance of *Pinus* was negatively affected by the fire frequency and the presence of *Quercus*. Although *Quercus* was slightly affected from the fire frequency, this functional group dominated the vegetation in the most of the scenarios. The increase in fire frequency promoted the final abundance of *Erica*, *Cistus* and *Brachypodium*, however the increase in total initial plant cover affected the final abundance of these groups negatively. In the maquis

shrubland landscape, similar results on final abundance were obtained with the pine woodland landscape. However, excluding *Quercus* from pine woodland clearly increased the final abundance of all functional groups. This study shows that the initial abundance of resprouter large shrubs is another key driver of post-fire vegetation dynamics in the Mediterranean Basin along with fire frequency.

Keywords: Vegetation dynamics, Pine woodland, Maquis shrubland, Fire



TEŞEKKÜR

Lisans öğrenciliğimden bu yana her zaman görüşlerini açıkça aktaran ve yönlendirmekten çekinmeyen bu çalışmanın oluşmasından, yapılmasına kadar tüm desteği, sabrı ve yönlendirmeleri için Doç. Dr. Çağatay Tavşanoğlu'na;

bu çalışmada kullandığım modeli yarattığı ve çalışmanın başlangıç aşamasında modeli yapılandırırken son derece değerli fikirleri için Juli Pausas'a;

lisans döneminde danışmanım olan, ekoloji anabilim dalı ve Çağatay hocayla tanışmamı sağlayan, ayrıca yaptığı değerli eklemeleri için Doç. Dr. Özge Erişöz Kasap'a ve değerli katkılarından dolayı diğer jüri üyelerim Doç. Dr. Utku Perktas'a, Doç. Dr. Ahmet Emre Yaprak'a ve Dr. Öğretim Üyesi Burçin Y. Kaynaş'a;

birlikte çalışma şansı bulduğum, gerek lab toplantılarında gerekse kendi çalışmalarımnda destekleyici ve yardımcı oldukları için başta Duygu Deniz Kazancı olmak üzere tüm YETA ekibine;

tez yazma sürecim boyunca, sunum hazırlama, kaynakça düzenleme ve diğer tüm konulardaki yardımları ve arkadaşlığı için Ayda Yılmaz'a;

EBAL'i güzel bir çalışma ortamına dönüştüren ve her zaman iyi bir arkadaş olan Gizem Oğuz'a ;

sonsuz destekleri için Ailem'e teşekkür ederim.

Bu tez çalışması Hacettepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi FBB-2017 14074 No'lu proje ile desteklenmiştir.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER	vi
1. GİRİŞ	1
1.1. Peyzaj Ekolojisi	1
1.2. Ekolojide Modelleme Yaklaşımı, Vejetasyon Modellemesi ve FATELAND Modeli	2
1.3. Yangına Karşı Bitkilerin Uyarlanmaları ve Yenilenme Mekanizmaları	4
1.3.1. Yeniden Sürgün Verme	4
1.3.2. Yangınla Uyarılan Çiçeklenme	4
1.3.3. Yangınla Uyarılan Çimlenme	5
1.3.4. Serotinlik (Kozalak Kapalılığı)	5
1.3.5. Kalın Kabukluluk ve Kendiliğinden Budanma	6
1.3.6. Yanabilirlik	6
1.4. Bitki Fonksiyonel Karakterleri	7
1.5. Ekolojik Müdahaleler ve Yangın	7
1.6. Akdeniz Havzası ve Akdeniz Vejetasyonunda Yangın Sonrası Dinamikler	9
1.7. Çalışmanın Amacı ve Önemi	13
2. YÖNTEM	14
2.1. Model	14
2.2. Model Yapılandırılması	16
2.3. Fonksiyonel Gruplar ve Fonksiyonel Karakterler	16
2.4. Simülasyon Senaryoları ve Modelleme	18
2.5. Model Çıktılarının İstatistiksel Analizi	22
3. BULGULAR	23
3.1. Çam Ormanı Peyzajı Senaryoları	23
3.2. Maki Çalılığı Peyzajı Senaryoları	29
3.3. Meşe'nin Olmadığı Çam Ormanı Peyzajı Senaryoları	34

4. TARTIŞMA.....	39
KAYNAKÇA.....	48
ÖZGEÇMİŞ	58



1. GİRİŞ

1.1. Peyzaj Ekolojisi

Peyzaj Ekolojisi, ekolojik süreçler ile flora, fauna ve diğer yaşam formları arasındaki karmaşık ilişkileri bir bütün olarak inceleyen bilim dalı olarak tanımlanmıştır [1], [2]. Peyzaj ekolojisi kavramı peyzajın yapısıyla ekolojik dinamiklerin birbiriyle ilişkisini inceler. Peyzaj yapısını değiştiren dört ana etmen abiyotik yapı, biyotik etkileşimler, insan arazi kullanımı ve ekolojik müdahale sonrasında gerçekleşen süksesyondur [3], [4]. Heterojen yapıdaki peyzaj mekân ve zaman açısından değişimlere uğrar, gelişim gösterir ve belirli dinamiklere sahiptir [5]. Peyzaj yapısı ile ekolojik dinamiklerin etkileşimleri çalışılırken çok küçük bir araziden elde edilen sonuçlar, büyük bir araziden elde edilen sonuçlar kadar bilgilendirici olmaktadır. Ancak çalışma alanı büyüdükçe ekolojik dinamikler fazlalaşacağından ekosistem daha karmaşık bir hale gelmektedir [5]. Peyzaj ekolojisi içinde de çokça kullanılan bir kavram olan ekolojik filtreleme, abiyotik faktörlerin sınırlandırılmasıyla, türlerin belirli bir alana yerleşmesini önlemekte ya da devamlılığını koruyamamasına neden olmaktadır [6]. Bu tanımın değişmesi gerektiği savunulan bir çalışmada çevresel filtreleme kavramının türlerin komünite içinde kaybolmalarının abiyotik faktörlere tahammül edememekten kaynaklandığı önerilmiştir [7]. Kısaca su, güneş ışığı, oksijen, toprak yapısı ve sıcaklık gibi abiyotik faktörlerin sınırlandırılması ya da engellenmesiyle türler ve komüniteler üzerindeki etkilerinin çalışıldığı bir kavramdır. Metakomüniteler üzerinde yapılan önceki çalışmalar bölgesel süreçlerin peyzaj üzerindeki etkisini anlamak için gerçekleştirilmiştir ve bu çalışmalar daha çok çeşitlilik, komünite yapısı ve üretimi konu almıştır [8], [9]. Örneğin, peyzajın belirli bölümlerini ortadan kaldırmanın metakomünite üzerindeki etkisinin incelendiği bir çalışmada, Metakomünitelerin şekillenmesinde çevresel filtrelemenin öneminin azalırken dispersalin öneminin arttığı gösterilmiştir [10]. Bu konuda bir başka görüş ise çevresel etmenlerin filtrelenmesinin etkisinden ziyade rekabetin etkisinin son derece önemli olduğunu ve çevresel şartların sadece canlıların hayatta kalmasını şekillendirmediğini, rekabeti de etkileyerek komüniteleri şekillendirir [11].

1.2. Ekolojide Modelleme Yaklaşımı, Vejetasyon Modellemesi ve FATELAND Modeli

Ekologlar karmaşık ve geniş dinamiklere sahip peyzaj ile ilgili sorulara cevap aradıklarında, bu dinamiklerden kaynaklanan tüm olasılıkları yansıtmaları oldukça zor hatta hemen hemen imkânsızdır. Peyzaj ölçeğinde ilgilenilen sorunun deneyleri aynı ölçekte yapmak da aynı ölçüde zordur. Çünkü bu tarz çalışmalar hem zamansal hem de parasal açıdan külfetli olabilmektedir. Bu noktada, modellemeler bu gibi ekolojik araştırma sorularının cevaplanmasında sıklıkla başvurulmuş bir çözümdür. Modellemeler, deneylerle takip edildiğinde gözlemlenmesi yüzlerce yıl sürebilecek ekolojik dinamikleri çok daha pratik bir şekilde incelemeye imkân sağlar. Ayrıca, modellemeler kullanılarak doğal ortamlarda kurulması birçok açıdan kolay olmayan (maddiyat, iş gücü vb.) deneyleri gerçekleştirmek mümkün olabilmektedir. Günümüzde ekoloji bilim alanında kullanılan modeller, ekosistemlerin nasıl işlediğini anlamamızı sağlamakta ve doğal süreçlerin sonuçlarını tahmin etmemize yardımcı olmaktadır. Bununla birlikte, bir modeli oluşturmak için gereken tüm veri hiç bir zaman tam değildir, bu nedenle tüm modeller boşlukları dolduracak tahmin etme algoritmalarına sahip olmalıdır. Böylece birçok model; sistemlerin yapılarını ve dinamiklerini nasıl işlediğine dair tahminlerimizin sonuçlarına göre mantıksal çıkarımlar yapar. Ekolojik modeller her zaman amaç olarak değil araç olarak kullanılmalıdır [2].

Peyzaj düzeyindeki ekolojik dinamikleri incelemek için peyzaj vejetasyon modellemeleri kullanılmaktadır. Vejetasyon modellemeleri, mekânsal örüntü dinamiklerini içerip içermemesine göre (*spatially explicit* ve *spatially implicit* modeller) ikiye ayrılır [12], [13]. Mekânsal örüntü içeren modelleri kurgulayıp geliştirmek ve yazıp çalıştırmak, mekânsal örüntü içermeyen modellere göre çok daha karmaşık ve zordur. O yüzden mekânsal örüntü içeren modelleri ancak yerel etmenlerin (ör; yangın) peyzaj üzerinde önemli etkisinin olduğu durumlarda tercih edilmektedir [14]. Mekânsal örüntü içeren modellerin mekânsal örüntü içermeyen modellerden farkı, çalışılan tür ya da popülasyonun nerede olduğunu (konumunu) peyzaj içerisinde göstermesi (ör. bir harita ile) ve popülasyon-ekosistem etkileşimlerini de birleştirerek çalışmasıdır [15]. Ekolojik uygulamalarda, müdahale ve süksesyon dinamiklerini inceleyen modeller çoğunlukla mekânsal örüntü içeren modellerdir [16].

LASS [17] özellikle Akdeniz iklimi olan ekosistemlerde tercih edilen ve başarılı olan vejetasyon modellerini içeren bir yazılımdır. Bu yazılım içerisinde yer alan BROLLA, MELCA ve FATELAND modelleri, yangınların bitki türlerine olan etkilerini ve bitki türlerinin yangından sonra yaşamlarını sürdürmelerini sağlayan stratejilerini başarılı şekilde vejetasyon dinamiklerine yansıtabilmektedir [18]–[20]. Özellikle FATELAND modeli, yangınların vejetasyonu şekillendiren önemli bir etmen olduğu Akdeniz tipi ekosistemlerde, farklı yangın rejimlerinin vejetasyona olan etkisini sınamak için uygun bir modelleme programdır [16]. FATELAND modelinin önemli özelliklerinden birisi, mekânsal örüntü içeren bir model olması nedeniyle vejetasyon dinamiklerini sadece yangın rejimlerine bağlı kalmadan, peyzaj yapısına dayanarak öngörmesidir [16].

Bugüne kadar FATELAND modeli kullanılarak birkaç çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalardan birisinde [21], araştırmacılar Akdeniz ekosistemlerinde farklı bitki fonksiyonel gruplarının bolluk, tür zenginliği ve alansal dağılımlarının yangınlar tarafından nasıl etkilendiğini incelemişlerdir. Modelleme sonucunda, hem yerel düzeyde hem de peyzaj düzeyinde yangın sıklığının tür zenginliğinde azalışa neden olduğu, toplam yanmış alan miktarının türlerin bolluğuna ve tür çeşitliliğine önemli etkilerinin olduğu ve yangın sonrası hayatta kalma mekanizmalarından bazılarında yangının avantaj sağladığı bulunmuştur. Bu çalışma sonucunda, yangın rejimlerinin alansal ve zamansal özelliklerine rağmen, birçok farklı bitki fonksiyonel grubunun popülasyonların rekabete dayalı çıkarmadan kaçınabileceği peyzaj ve lokal seviyelerde bir arada var olabileceği belirtilmiştir [21].

FATELAND kullanılarak gerçekleştirilen bir başka çalışmada, ekolojik müdahalelerin istilacı türlerin peyzajdaki varlığına zemin hazırlayıp hazırlamadığı araştırılmıştır [20]. Bu çalışmada, tohumları rüzgârla dağılabilen *Cortaderia selloana* türünün Akdeniz çayırlarını istila etme dinamikleri farklı yangın rejimleri altında incelenmiş ve istilacı türün yayılması ve alanda kalabilmesi için ekolojik müdahalelerin bir zorunluluk olduğu sonucuna varılmıştır. Hatta ekolojik müdahaleler olmadığı takdirde 30 yıl içinde istilacı türün kaybolmaya başlayacağı da bulunmuştur [22].

FATELAND ile yapılmış bir başka çalışmada Akdeniz havzasında peyzaj dinamiklerinin çoğunluğunun insan kaynaklı olduğu bilgisinden yola çıkılarak peyzaj yapısındaki değişimlerin yangınla olan ilişkisi araştırılmıştır [20]. Modeldeki ilk

peyzaj yaratılırken, türleri her seferinde farklı alansal dağılım örüntüleri ile peyzaja dağıtılmış ve bu sayede farklı peyzaj yapılarının (ince taneli ya da kaba taneli) farklı yangın rejimleri altında nasıl nihai bir vejetasyon yapısına yol açacağı incelenebilmiştir. Model sonuçları, yangına hassas olan çam türlerinin yüksek yangın sıklığında ve ince taneli bir peyzaj yapısında alandan kaybolduğu, ancak kaba taneli bir peyzaj yapısında yüksek yangın sıklığına rağmen varlığını koruyabildiğini göstermiştir [20]. Bu bulgulardan yola çıkarak, çam türleri ile yapılan ağaçlandırmaların daha kümelenmiş bir şekilde gerçekleştirilmesi tavsiye edilmiş ve peyzaja daha çok yayılmış şekilde yapılan ağaçlandırmaların peyzaj değişimlerine ve ekolojik müdahalelere daha az dirençli olduğu vurgulanmıştır [20].

1.3. Yangına Karşı Bitkilerin Uyarlanmaları ve Yenilenme Mekanizmaları

1.3.1. Yeniden Sürgün Verme

Yangının yıkıcı etkisi sonrasında toprak üstündeki kısımları yok olan bitkilerin toprağın altında kalan organlarından sürgün vermesi ("yeniden sürgün verme"), bitkilerin yangına karşı hayatta kalmalarını sağlayan en temel mekanizmalardan birisidir [23], [27]. Yeniden sürgün verme her koşulda yangına karşı geliştirilmiş bir uyarlanma olmasa da, farklı yangın rejimleri altında bitkilerin hayatta kalmasına pozitif yönde katkı veren ve bitki türlerinin başarılı olmasını sağlamaktadır. Akdeniz havzasında yeniden sürgün veren türler yangının yarattığı yıkıcı etkiyle başarılı bir şekilde başa çıkabilmektedir. Yeniden sürgün verme, çok yıllık dikotil bitkilerin çoğunda görülen yaygın bir karakterdir ve bitkilerin filogenetik ağacında çok farklı yerlerde bulunan familyalarda görülmektedir [25]. Bu nedenle, yeniden sürgün vermenin yangına karşı bir uyarlanma olup olmadığı sorgulanmıştır [26]. Bununla birlikte, yeniden sürgün vermenin birçok farklı yolu bulunmaktadır ve Akdeniz tipi ekosistemlerde sıklıkla rastlanan lignotüber yoluyla sürgün vermenin yangına karşı evrimleşmiş bir uyarlanma olduğu vurgulanmıştır [24], [27]. Akdeniz Havzası'nda müdahale sonrası yeniden sürgün verebilen türlere kermes meşesi (*Quercus coccifera*) ve funda (*Erica manipuliflora*) gibi herdemyeşil çalılar örnek verilebilir.

1.3.2. Yangınla Uyarılan Çiçeklenme

Yangınla uyarılan çiçeklenme, bir bitkinin yangın alanında yanmamış alana göre daha fazla çiçek açması olarak tanımlanmaktadır [28] ve çoğunlukla geofit yaşam

formuna sahip bitkilerde görülür [29], [30]. Özellikle Güney Afrika'nın kap bölgesinde ve güney Avustralya'daki Akdeniz tipi ekosistemlerde çok sayıda türde çiçeklenmenin yangınla uyarılmasına ilişkin kanıt var iken, Akdeniz Havzası'nda bu uyarlanmanın varlığı konusunda daha az gözlem bulunmaktadır [28].

1.3.3. Yangınla Uyarılan Çimlenme

Yangınla uyarılan çimlenme, yangın sırasında ortaya çıkan sıcaklıklar ya da kimyasallarla toprak tohum bankasında dormant halde bulunan tohumların çimlenmesinin uyarılması şeklindeki bir uyarlanmadır [27]. Yangın sırasında oluşan yüksek sıcaklıklarla karşılaşana kadar su geçirmez durumda olan (fiziksel dormansi) tohumlarda çimlenmeyi başlatan bir mekanizma olduğu birçok farklı türde gösterilmiştir [31]. Su geçirgen tohum kabuğuna sahip tohumlarda ise, bitkilerin yanması sırasında ortaya çıkan kimyasalların etkisiyle dormansi kırılmaktadır. Özellikle duman ya da yanmış odun içerisindeki maddelerin (ör: karrikinler) bu etkiyi yaptığı bilinmektedir [32], [33].

1.3.4. Serotinlik (Kozalak Kapalılığı)

Serotinlik, Akdeniz Havzası'nda bulunan bazı çam türlerinde (ör: *Pinus brutia* ve *P. halepensis*) görülen bir yangın uyarlanmasıdır [34]. Dünya üzerinde Akdeniz tipi ekosistemlerde sıklıkla rastlanan bir uyarlanma olup, özellikle Kap Bölgesi ve güney Avustralya'da çok sayıda tür serotin kozalıklara sahiptir (ör: *Banksia*). Bu uyarlanma, tohumların toprağa düşmesini engelleyen ve yangın sıcaklıklarından koruyan kapalı kozalakların yangın sonrasında açılarak, tohumları yanmış alana dağıtması şeklinde işlemektedir. Serotinlik uyarlanmasının tepe yangınlarıyla bağlantılı olduğu ortaya konmuştur [25], [35]. Bununla birlikte, kuraklığın yüksek olduğu alanlarda toprağın verimlilik açısından zayıf kaldığı durumlarda avantaj sağladığı bilinmektedir [36]. Bu gözlemler, serotinliğin yangınla ilişkili bir uyarlanma olup olmadığı konusunda araştırma yapmaya teşvik etmiştir [37]. Çamlar üzerine yapılan filogenetik araştırmalar, göstermiştir ki yangının serotinlikle ilişkisinin oldukça yüksek olduğunu ve serotinliğin çamların tepe yangın rejimlerine sahip alanlarda başarılı olmalarını sağlayan yetenekleri arasında olduğunu göstermiştir [38], [39].

1.3.5. Kalın Kabukluluk ve Kendiliğinden Budanma

Kalın kabukluluk birçok kıtada birden fazla yangına eğilimli ekosistemde görülen bir yangın uyarlanmasıdır [40]. Örtü yangınlarındaki sıcaklıklara dayanıklılık sağlayan kalın kabuk, kabuğun altında yer alan canlı dokuları yangının yıkıcı etkisine karşı korumaktadır [25]. Kalın kabukluluk gibi örtü yangınlarının hâkim olduğu ekosistemlerde uyumsal bir karakter olan kendiliğinden budanma ise bitkinin yüzeye yakın yerde bulunan kurumuş ya da canlılığını yitirmiş dallarını dökmesi olayıdır. Kendiliğinden budama toprak üzerinde fazlaca kuru madde birikimine sebep olarak örtü yangın olasılığını artırmakta ancak aynı zamanda, çıkan bir örtü yangınının ağacın yüzeye yakın ölü dallarından tırmanarak bir tepe yangınına dönüşme olasılığını azaltmaktadır [41]. Kalın kabuğu olan ve dallarını döken *Pinus pinea*'nın oldukça şiddetli yangınlardan bile kurtulabildiği tespit edilmiştir [42]. Çamlarda yanabilirlik ölmüş dalların kendiliğinden düşmesinden etkilenmektedir. Kendiliğinden budanmayan çamlar yangının kendi tepe kısımlarına çıkmasını ve civarlarına yayılmasını sağlayarak yangının şiddetini arttırmaya eğilimlidir [39]. Kuzey Amerika'da yüksek enlemlerde üretimin azalmasından dolayı, çam ormanlarında ağacın tepe kısmını yüzeydeki yanıcı maddelerden uzak tutacak kadar bir büyüme sağlayamadığından tepe yangını rejimi vardır. Bu ormanlardaki çamlarda ince bir kabuk, alçaktaki ölü dalları dökmeme ve tüm ağaçları öldüren tepe yangınlarından sonra tohumların senkronize bir şekilde dağılmasını sağlayan serotin kozalak karakterleri bulunmaktadır [25].

1.3.6. Yanabilirlik

Yanabilirlik de yangın rejimine bağlı olarak evrimleşebilecek bir yangın uyarlanmasıdır. Vejetasyon içerisinde yanıcılığa sahip olan türlerin fazlalaşması yangının şiddetini ve sıklığını arttırabileceğinden, bu bitkilerin yangın rejimini değiştirmesi olasıdır [25]. "Komşunu öldür" hipotezine göre, özellikle yeniden sürgün verme yeteneklerine sahip türler, kendisinden daha az yanıcı türlerin ölmesini sağlayarak sürgün verme avantajını kullanıp vejetasyonda kendisine gelişebileceği büyük bir alan açmaktadır [43]. Son yıllarda yapılan çalışmalar, yanabilirlik özelliğinin yangın rejimlerinin seçim baskısı altında popülasyonlar arasında farklılık gösterebildiği [44] ve bu farklılıkların genetik bir temelini olduğunu göstermiştir [45].

1.4. Bitki Fonksiyonel Karakterleri

Bitki fonksiyonel karakterleri, ekolojik stratejileri temsil eden morfolojik, fizyolojik ve fenolojik özelliklerdir ve bitkilerin çevre faktörlerine nasıl cevap vereceğini, diğer trofik seviyeleri ve ekosistemi nasıl etkileyeceğini belirler [46]. Fonksiyonel karakterler, bitkilerin ortam koşullarından ve ekosistem dinamiklerinden nasıl etkilendiğinin ve ekosistem içerisindeki rollerinin belirleyicisidir [47], [48]. Bitki fonksiyonel karakterleri arasında, büyüme formu (ağaç, çalı, tek yıllık otsu bitki vb.), bitki boyu, kök derinliği ve yaprak alanı gibi vejetatif karakterler, tohum ağırlığı ve meyve tipi gibi üreme karakterleri, yeniden sürgün verme yeteneği, çimlenme özellikleri ve fidelerin olgunluğa ulaşma yaşı gibi rejenerasyon karakterleri yer alır [28]. Bir vejetasyonu tanımlarken, vejetasyonun floristik yapısı yerine fonksiyonel karakterleri açısından yorumlamak oldukça işlevseldir. Çünkü belirli fonksiyonel karakterlerin varlığı ya da yokluğu vejetasyon yapısını ve dinamiklerini büyük ölçüde etkileyebilmektedirler [49]. Benzer fonksiyonel karakterlere sahip bitkiler, ekolojik müdahalelere (orman yangını, otlatma, biyolojik istila vb.) ve ekosistemi değiştirici etkilere sahip etkenlere (ör; küresel iklim değişikliği) benzer cevaplar vermektedir [50]. Bitki fonksiyonel karakterlerine dayanan gruplar oluşturmak (yani, “bitki fonksiyonel grupları”), ekolojik soruların cevaplanmasında ve ekosistem dinamiklerini anlamada ekoloğlara çok yardımcı olmaktadır[51]–[53]. Bitki fonksiyonel gruplarının oluşturulmasında iki farklı yaklaşım söz konusudur: tündengelimci ve tümevarımcı gruplama. Tümevarımcı yaklaşımda türlerin ortak özellikleri temel alınırken [54] [55], tündengelimci yaklaşımda türler, çevresel koşullara ve müdahalelere karşı olan tepkilerine göre gruplandırılır [56].

1.5. Ekolojik Müdahaleler ve Yangın

Ekolojik müdahaleler (İng. “*ecological disturbance*”), ekosistemleri şekillendiren ekolojik etmenler arasında yer almaktadır [57]. Müdahale rejimlerini belirleyen faktörler müdahalenin alansal dağılımı, sıklığı, yinelenme aralığı, öngörülebilirliği, büyüklüğü ve şiddetidir. Doğal vejetasyona sahip alanların tarım arazisine çevrilmesi, otlama ve yangın günümüzde doğal ekosistemlerde karşımıza çıkan en yaygın müdahale tipleri arasındadır [33], [58]. Bunların dışında, deprem, kasırga gibi

doğa olayları ile hayvanların toprağı ezmesi gibi küçük ölçekli müdahalelerin de ekosistem dinamiklerinde rolü vardır.

Vejetasyon yangınları, Silüryen döneminden beri gezegenimizde mevcuttur [59] ve milyonlarca yıldır ekosistemleri şekillendirmektedir. Bitkiler ve yangın arasındaki bu uzun ilişkinin bir sonucu olarak, pek çok bitkinin hayatta kalma ve soyunu devam ettirme mekanizması, yangın müdahalesi ile şekillenmiştir [25]. İklimsel nedenler bir yana bırakıldığında, insanların tarım arazisi ve yerleşim alanı açmak için binlerce yıldır ormanları yaktıklarını da bilmekteyiz [60]. Orman yangınları, yerküredeki birçok ekosistemde vejetasyon dinamiklerinin şekillenmesinde rol oynamaktadır [61]–[64]. Her ne kadar yangın Kuzey Yarıküre boreal ve konifer ormanları için de önemli bir ekolojik etmen olsa da, bu bölgelerde yangın sıklığının düşük olmasından dolayı bitkilerin yangına karşı geliştirilmiş olduğu uyarlanmaları görmek zordur. Boreal ormanlarda kuru madde birikiminin fazla olmasından kaynaklı ortalama 100 yılda bir 100 bin hektardan büyük yangınların olduğu tespit edilmiştir. Kanada'da 1950 yılında gerçekleşen 1,4 milyon hektarlık büyük yangın da bu kuşakta olmuştur [65]. Aslında, yangınla hızlanan besin döngüsünden dolayı yanan bitki materyalinin toprağı hızla karışmasıyla toprağın besince zenginleşmesi bitkiler için yeni fırsatlar yaratmaktadır. Bu dönüşümün ağır olduğu ekosistemlerde (ör. boreal ormanlar, toprağın besin içeriğinin zayıf olduğu Güney Afrika fynbosları, Kaliforniya'daki şapara vejetasyonu ya da Afrika'daki savanlar) yangın rejiminde gerçekleşen değişimler bu besin döngülerini etkilemektedir [66].

Dünya üzerinde yangının en etkili olduğu coğrafyalar arasında Akdeniz iklimi görülen yerler yer almaktadır [67]. Akdeniz tipi ekosistemler olarak adlandırılan bu ekosistemler, Akdeniz Havzası, Güney Afrika'nın Kap bölgesi, Kaliforniya, Güney Avustralya ve Şili'nin merkez bölgelerinde görülmektedir [27]. Güney Kaliforniya'da yer alan şapara çalılıklarında yangının süksesyonun başlıca kaynaklarından biri olduğu ve vejetasyonun yenilenme sürecini sağlayan ekolojik etmen olduğu belirtilmiştir [68]. Şapara çalılıklarının yangın tarafından elimine edilmesini önleyen iki temel strateji vardır. Birincisi bu vejetasyonda bulunan bitkilerin erken yaşlarda tohum vermesi, ikincisi ise tohumların yüksek sıcaklıklara dayanıklı olmasıdır. Ayrıca, bu bölgede sık yangınların yeniden sürgün verme yeteneğı olmayan türleri vejetasyondan elediğı görülmektedir [69]. Akdeniz ekosistemlerinde yangın toprak değişimi ve otlatma gibi ekolojik müdahalelerden sonraki hızlı yenilenme süreciyle

iki sonuç çıkartmışlardır. Akdeniz ekosistemlerinde yangından sonra alanın içerisinde gelen bir yenilenme dinamiğine sahip olmasından dolayı [25], bu ekosistemlerde yangın müdahalesi genellikle komünitenin tür bileşiminden çok türlerin bolluklarını etkilemektedir. Yenilenme stratejilerine sahip (ör; yeniden sürgün verme) bitkiler, yangınların sıklıkla görüldüğü bu ekosistemlerde ekolojik müdahaleler sonrasında büyük avantajlar sağlamaktadır [54]. Örneğin, *Arbutus unedo*, *Erica scoparia*, *Erica arborea* ve *Erica australis* gibi sürgün verme yeteneğine sahip türlerde, ekolojik müdahalelerin frekansının artırılarak (27 ayda 8 kez kesilmesi ya da 5 kez, 6 ay aralıkla kesme) bitkilerin evrimsel süreç boyunca uyarıldığı doğal müdahale rejiminin dışına çıkılması sonucu bu türlerin yenilenme kapasitelerinin düştüğü gözlemlenmiştir [42], [70], [71]. Bu durum, ekolojik müdahalelerin sıklığının artırılmasının bitkiler üzerindeki olumsuz yanlarını göstermektedir.

1.6. Akdeniz Havzası ve Akdeniz Vejetasyonunda Yangın Sonrası Dinamikler

Akdeniz Havzası, ılık ve bol yağış alan bir kış mevsimi ile kurak ve sıcak bir yaz mevsimine sahip olan Akdeniz iklim tiplerine sahiptir [72]. Özellikle yaz kuraklığı, bu bölgedeki vejetasyonu ve bitki karakterlerini şekillendiren önemli bir etken olmuştur. Kuraklıkla baş edebilmek için Akdeniz vejetasyonunda yer alan birçok bitki türü sklerofil (kurakçıl) yaprak tipine sahiptir. Kurakçıl yapraklar, bitkide su kaybını önlemek için ortaya çıkmış olan birçok yapısal özelliğe sahiptir. Bunların arasında, kalınlaşmış kütikula, yaprak boyutunun küçülmesi, koruyucu tüylerle kaplı olma ya da kitinleşmiş epidermis sayılabilir [73]. Akdeniz Havzası'nda kontrolsüz otlatma, yangınlar ve kuraklık gibi faktörlerin etkisiyle vejetasyon sıklıkla değişime uğramaktadır, bu da Akdeniz havzasının kendine has bir bitki örtüsüne sahip olmasına sağlamıştır [67]. Çam ormanları, daha çok herdemyeşil çalı ve ağaçların oluşturduğu makilikler, *Quercus coccifera* (kermes meşesi) türünün baskın olduğu kısa boylu garigler, daha kısa boylu kurakçıl çalılarının oluşturduğu frigana vejetasyonu gibi farklı bitki toplulukları Akdeniz Havzası'nın bitki örtüsünü oluşturmaktadır [27]. Örneğin, Türkiye'de Akdeniz ikliminin görüldüğü Akdeniz ve Ege Denizi kıyılarında makilikler ve frigana vejetasyonu dominant iken, denizden yüksekliğin artması ile Kızılçam (*Pinus brutia*) ormanları daha hâkim duruma

geçmektedir. Kızılçam ormanlarının yer aldığı kuşakta, alanın tahribat derecesine göre makilikler baskın duruma geçebilmektedir. Makiler geniş bir yayılıma sahiptirler. Ortalama 500-800m yüksekliklerde nadiren de 1400m'lik rakımlarda görülmektedirler [74]. Yüksekliğin artmasına bağlı olarak Kızılçam ormanları yerini Karaçam (*Pinus nigra*), Toros göknarı (*Abies cilicica*) ve Toros sediri (*Cedrus libani*) gibi türlerden oluşan ormanlara bırakmaktadır [75]. Akdeniz Havzası'ndaki baskın vejetasyon yapılarından birisini çam-meşe karışık ormanları oluşturmaktadır. Son yüzyıl içerisinde ormanlaştırma çalışmalarının etkisi ve çamların yenilenme yeteneklerinin sonucunda çam ormanları popülasyonu artmıştır [76]. Meşelerin çam ormanları dâhil birçok ekosistemde yenilenebilmesi ve tarımsal arazilerin terkedilmesiyle de açılan alanlar; çamların ve meşelerin gelişimine olanak sağlamıştır [76]. Yangın ve arazi kullanımıyla değişen çam ormanları vejetasyonları vejetasyona giren *Quercus coccifera* gibi türlerin süksesyonuyla makiliğe dönüş gözlemlenmiştir [77]. Zorunlu tohumla yenilenen çamların oluşturduğu ormanlarının alt katmanlarını dolduran fakültatif meşe türleri yüksek yangın frekanslarında makiliklere dönüşmektedir [78], [79]. Türkiye'de bu karışık ormanlar, Kızılçam ile birlikte kışın yapraklarını döken çeşitli meşe türlerini (*Quercus cerris*, *Q. infectoria* vb.) ve herdemyeşil *Q. coccifera* türünü barındırmaktadır [80]. Ayrıca hayvan otlatmasına karşı dirençli *Juniperus oxycedrus*, *Phillyrea latifolia* ve *Pistacia terebinthus* türleri de bu ormanlarda oldukça yaygındır [80].

Yangınların Akdeniz orman ekosistemlerinin dinamiklerini şekillendiren en belirleyici faktörlerden birisi olduğu bilinmektedir [67], [81]. Günümüzde Akdeniz Havzası'nda çıkan yangınların birçoğu insan kaynaklı olsa da, yangınlar bu bölgede en azından yazları kurak iklimin olduğu orta Pliyosen döneminden beri vejetasyonu şekillendirmektedir [82]. Bu bölgede, bitkilerin yangın uyarlanmaları sayesinde yangın sonrasında tohumdan gelen yeni bireylerin oluşmasıyla ve yeniden sürgün veren bireyler sayesinde vejetasyonda hızlı bir rejenerasyon görülmektedir [83], [84]. Ancak yangının yenilenme süresindeki azalma (yani daha sık yangınların olması), türlerin yenilenme ve olgunlaşma için gereksinim duydukları süreden önce yangının gerçekleşmesine yol açtığından, yeninden sürgün veren bireylere avantaj sağlamak ancak biyolojik tür zenginliğinde ise kayba sebebiyet vermektedir [85]. Bir yangından sonrakine kadar geçen zamanda ise yangına bağımlı ya da yangınla ilişkili adaptasyonlara sahip olmayan türler için avantajlı bir dönem haline

gelmektedir[86]. Böylece Akdeniz havzasında hem yangın olan hem de olmayan dönemlerinin populasyon ve ekosistem üzerindeki etkisi bir arada düşünülmelidir. Yanmış çam ormanları da yangından sonra hızlı bir yenilenme geçirmektedir [53], [84], [87]. Akdeniz çam ormanlarında, yangından sonra 15. yıla kadar olan dönemde tür çeşitliliği en yüksek seviyeye ulaşmaktadır. Bunda üreme olgunluğa gelmemiş ve yüksek boylara ulaşamayan *Pinus* türlerinin henüz bir orman üst tabakası oluşturmaması sonucu, yangından sonra vejetasyonun tamamına yayılabilen Fabaceae, Cistaceae ve diğer birçok familyaya ait türlerin vejetasyona hâkim olması sonucu olmaktadır [53], [87]–[90].

İnsanlar Akdeniz havzasında, tarımsal amaçlarla arazi kullanım değişikliklerine ve yangın rejiminde değişimlere sebep olmuştur [91]. İber yarımadasında terkedilmiş tarım arazilerinin çalı vejetasyonu ile kaplanması ve artan yangın frekansı yeniden sürgün verme yeteneklerine sahip meşe türlerinin de içinde bulunduğu çalı türlerin baskınlığı sonuçlanmasına neden olmaktadır [83].

Türkiye’de *Pinus brutia* türü Avrupa’daki çalışmalar da kullanılan *Pinus halepensis* türüne karakteristik özellikleri, yayıldığı coğrafya ve iklim tipi ve yangından etkilenmesi açısından benzerlik göstermektedir [84]. Yangın sonrası vejetasyon dinamikleri incelendiğinde en kabul gören görüşe göre yangın sonrasında otosüksesyon görülmektedir. Bu vejetasyonun hızlı bir şekilde yapılmasını sağlamaktadır [92]. Vejetasyonda yangından önce bulunan türlerin, yangından hemen sonra farklı oranlarda olsa da vejetasyonda bulunması nedeniyle yangın sonrası vejetasyon yapılması ikincil süksesyondan daha çok otosüksesyon modeline uymaktadır [92]. Sürgün verme ve tohumla yenilenme gibi yangın karşı geliştirilmiş yenilenme mekanizmaları sayesinde yangının ilk yıllarında vejetasyon hızlıca bir dönüşüm geçirir. Tür sayısındaki artış vejetasyona giren tek ve çok yıllık otsu bitkilerden kaynaklı artış göstermektedir [92]. Astaraceae, Poaceae, Cistaceae ve Fabaceae familyası üyeleri vejetasyona yerleşmektedirler [84]. Vejetasyon içerisinde yangın sonrası 3 yıl içinde Fabaceae familyası, 15 yıllık dönemde de Cistaceae familyası türleri dominanttır [88], [90]. Yangından sonra yaklaşık 15 yıldan sonra *Pinus brutia* (kızılçam) fideleri boy olarak uzamış, vejetasyon bir orman yapısına dönüşmeye başlamıştır. Kızılçam ormanının alt tabakalarına ulaşan ışık miktarı sınırlanmaktadır. Orman altı tabakasında kalan türler ışık rekabetine girmekte, böylece vejetasyonun ilk yıllarının dominant türlerinin bolluklarında

düşüşler gözlemlenmektedir [84]. Bir önceki yangından sonra 20 ila 30 yıl içinde tekrar yangın geçiren vejetasyonlar ise maki çalılığına dönme eğilimindedirler [90].

Akdeniz havzasındaki ormanların yaklaşık %16'sı *Pinus brutia*, *P. halepensis* ve *P. pinaster*'in hâkim olduğu çam ormanlarından oluşmaktadır [89]. *P. halepensis* ormanlarında yangından sonra 10 ila 40 ay içerisinde *Rosmarinus officinalis*, *Quercus ilex*, *Q. coccifera*, *Brachypodium ramosum*, *B. phoenicoides* gibi türler gelerek çeşitliliği arttırmakta, 60 ay sonunda da tek yıllık bitkilerin yok olması sonucu bu çeşitlilik kaybolmaktadır [88], [93]. Yangından sonraki ilk yıllarda gözlemlenen otsu bitkilerin dışında yalnızca 3 odunsu tür (*Calicotome villosa*, *Genista acanthoclada*, *Anthyllis hennannia*) tespit edilmiştir [88]. *P. halepensis* ormanında yangından sonraki ilk yıllarda yeni türler alana gelmekte, bitki örtüsündeki çeşitlilik maksimum değere ulaşmaktadır. Ancak bu türler rekabetten dolayı zamanla ekosistemden kaybolmaktadır [93].

Çam türleri için yangın frekansı son derece önemli bir ekolojik etkidir. *Pinus halepensis* ile yapılmış bir çalışmada 20 yıl içerisinde 2 ya da 1 kez yangın geçirmenin bu ağaç türünün bolluğunu büyük oranda etkilediği bulunmuştur. *P. halepensis*'in üreme olgunluğuna erişme yaşının 20 olmasından dolayı, bu olgunluğa erişmeden ölmüş bireyler doğal olarak tohum da bırakamamış olmaktadır [94]. Akdeniz'deki koniferler *Pinus brutia* ve *P. halepensis* yeniden sürgün vermezler ancak zorunlu tohumla yenilenenler olarak yangının yarattığı fırsatı kullanarak yangın sonrası tohumları çimlenmektedir [95]. Yangının evrimsel süreçte seçici etken olması, yangından sonra sürgün veren *Quercus coccifera*, *Arbutus andrachne*, *Pistacia lentiscus* gibi türlerin vejetasyonda başarılı olmasıyla açıklanabilir [95]. Yangın sıklığının *Quercus coccifera*'nı yenilenme kapasitesini etkileyip etkilemediğini incelendiğinde, 16 yılda 3 kez yangın geçirmiş vejetasyonda *Q. coccifera* örtüşünün %76 ila %92 arasında olduğu böylece yangın rejimindeki değişimin etkisinin yıkıcı olmadığı ancak *Q. coccifera*'nın örtüşünde bir azalma olduğu bulunmuştur [96]. *Brachypodium retusum*'un çalışılan bazı bölgelerde örtüşünün artış gösterdiği, çalı formu, zorunlu tohumla yenilenen *Ulex parviflorus* türünün de hem artan yangın frekansından hem de iki yangın arası zamanın kısılmasından olumsuz etkilendiği ve örtüşünün azaldığı tespit edilmiştir [96]. Fransa'da 100 bin hektar alanda yayılıma sahip *Q. coccifera* (kermes meşesi) Akdeniz'deki en geniş yayılıma sahip türlerden birisidir [42], [97]. Aynı alanda 19 yıl

içerisinde farklı frekanslarda yakılan vejetasyonda *Q. coccifera*'nın yenilenme yeteneğini kaybetmeden her seferinde tekrar sürgün verip geliştiği bulunmuştur [97].

1.7. Çalışmanın Amacı ve Önemi

Bu çalışmanın amacı, Akdeniz Havzası'nda yer alan alçak irtifa çam ormanlarında yangın sıklığının ve vejetasyon örtüsünün, bu ekosistemlerde yer alan farklı bitki fonksiyonel gruplarının vejetasyon dinamikleri üzerine etkisini araştırmaktır. Araştırmanın temel hipotezi, farklı fonksiyonel grupların farklı yangın sıklıklarından ve farklı toplam başlangıç vejetasyon örtüsü değerlerinden farklı şekilde etkilenecekleridir. Ayrıca, sürgün verme yeteneği olan ve olmayan türleri temsil eden fonksiyonel grupların yangın sıklığına verecekleri uzun dönemli cevabın zıt yönde olması beklenmektedir.

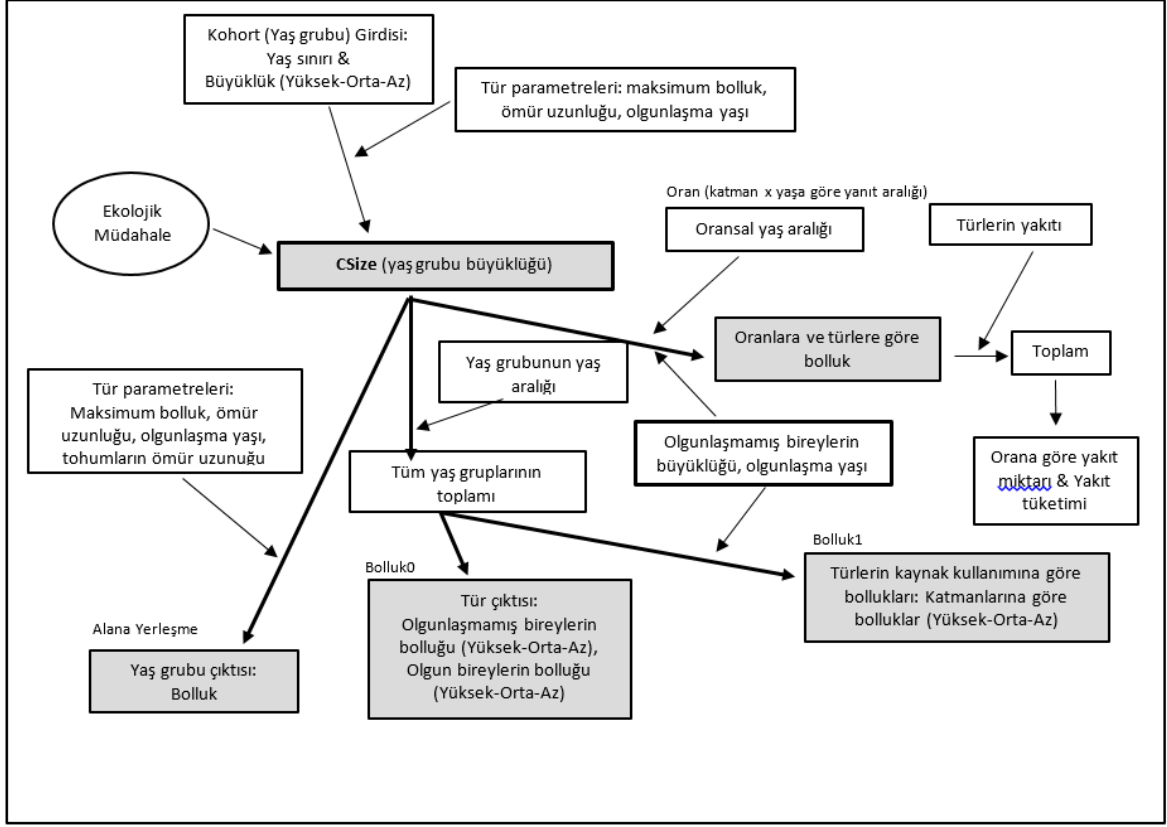
Her ne kadar, FATELAND modeli, Akdeniz vejetasyon dinamiklerinin anlaşılması için önemli bir araç olsa da, bu model yukarıda da değinilen üç çalışma [20]–[22] haricinde herhangi bir ekolojik hipotezi test etmek amacı ile kullanılmamıştır. Bu çalışma, yangın sıklığı ve toplam başlangıç vejetasyon örtüsünün bir arada Akdeniz vejetasyon dinamiklerini nasıl etkilediğini araştırması ile bu ekosistemlerde işlemekte olan uzun dönemli ekolojik dinamikleri anlamaya yardımcı olmaktadır. Bu tez çalışması, vejetasyon dinamiği araştırmaları için önemli bir model olan FATELAND'ın on yıl sonrasında yeniden ekolojik bir hipotezin sınanmasında kullanılması bakımından da önem arz etmektedir.

2. YÖNTEM

2.1. Model

Bu çalışmada Akdeniz vejetasyonunun yangına ve bitki örtüsüne bağlı dinamiklerini araştırmak için FATELAND modeli kullanılmıştır [17], [20] FATELAND diğer vejetasyon modellerinden müdahale senaryolarını işleyebildiği için ayrılmaktadır. FATE modeline [98] konumsal özellikler eklenerek geliştirilmiştir [17]. FATE modelinden farklı olarak, FATELAND mekânsal örüntü içeren bir model olduğundan, alansal dinamikleri araştırmada başarılıdır. LASS içerisindeki diğer modellerden farklı olarak bir hücre içinde birden fazla tür ya da fonksiyonel grup var olabilmektedir. Farklı türlerin aynı hücre içerisinde var olabilmesi FATELAND'ın önemli bir özelliğidir ve çok sayıda türün (ya da fonksiyonel grubun) dinamiklerini bir arada çalışılmasına imkân tanımaktadır. FATELAND'ın FATE'ten bir başka farkı ise tohum dispersali karakterini bünyesinde barındırması ve bununla ilgili hesaplamalar yapabilmesidir. FATELAND'da türlerin alandaki başlangıç dağılımı rastgele şekilde ayarlanabileceği gibi, istenirse çeşitli peyzaj örüntüleri de yaratılabilmektedir. Yaygın olarak kullanılan birçok modelin yangın modülünün aksine FATELAND'ın da yangın modülü oldukça basit yapıdadır ve yangının büyüklüğünü ya da yanmış alanları tahmin etmek anlamında gerçekçi olması hedeflenmemiştir. Model yangının peyzaja etkisi ile ilgili olarak bitki mortalitesi ve yangın sonrası yenilenme süreçleri gibi ekosistem dinamiklerine odaklanmaktadır Yangın modelleri yanıcı madde yüküne bağlı olarak yangın çıkması, yangınların rastgele çıkması, tüm alanın yanması gibi seçeneklere sahiptir. Çalışmanın amacına göre farklı yaklaşımlar seçilebilir. Modelde ışığa ulaşılabilirlik, çimlenme ve hayatta kalma açısından en belirleyici kaynaklardan biridir. FATELAND içerisinde kaynak kullanımının en önemli koşulu ışık alabilmekten geçmektedir Modelde farklı tür ya da fonksiyonel gruplar için seçilebilecek 3 farklı ışığa ulaşılabilirlik değeri vardır (az, orta ve çok) ve bu seviyeler vejetasyondaki katmana göre belirlenmiştir. Çimlenme ve yeniden sürgün verme ışık alabilirliğe göre şekillenmektedir bu da türlerin hayatta kalmasını belirlemektedir [20]. Örneğin uzun boylu ağaçlar ve bu ağaçların oluşturduğu ormanların alt tabakasında kısa boylu bitkiler ışık kaynağına ulaşmakta zorlanırlar. Gölgeye toleranslı türler yüksek (çok) katmanlı vejetasyonda da güçlü bir şekilde hayatta kalabilirken, ışığa muhtaç ve gölgeye toleranssız türler o koşullarda çok fazla büyüyememektedir [20], [21], [99], FATELAND, mekânsal örüntülü dispersal

ve ekolojik müdahale hesaplama kapasitesine sahiptir [20]. Peyzaj içerisindeki herhangi bir hücreden, herhangi bir hücreye geçiş fonksiyonel grubun dispersal yeteneğine bağlı olarak mümkün olabilmektedir [22]. Modeldeki bolluk hesaplamaları karmaşık bir algoritmaya dayanmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. FATELAND Modelinde kullanılan farklı bolluk ölçütlerinin şematik gösterimi [100]'den değiştirilerek alınmıştır).

2.2. Model Yapılandırılması

FATELAND modeli, bu çalışmada belirli spesifik yapılandırma ayarları ile çalıştırılmıştır. Prensip olarak FATELAND ve benzeri modellerle gerçekleştirilmiş daha önceki çalışmalarda kullanılan temel ayarlar olan ortak bitki fonksiyonel karakterlere sahip bitki fonksiyonel grupları kullanılmıştır [19], [21], [22], [101]. Bununla birlikte FATELAND ile yapılan önceki çalışmalardan [20], [21] farklı olarak 5 yılda bir yangın (F5), 10 yılda bir yangın (F10), 20 yılda bir yangın (F20) ile bu frekanstaki yangınların 80. yılda durduğu versiyonları, 40 yılda bir yangın (F40), 80 yılda bir yangının olduğu (F80), hiç yangının olmadığı (NoFire) ve 39. yıldan sonra hiç yangının olmadığı (NoFire₃₉) senaryolar oluşturularak hesaplamalar yapılmıştır.

.Vejetasyon tabakası fonksiyonel gruplar olgun bireylerden oluştuğu zaman dört farklı katman oluşturacak şekilde yaratılmıştır. Fonksiyonel gruplar peyzaja herhangi bir hücrede var oluşu %10 ihtimalle olgunlaşmamış ya da olgun birey olması, bu bireylerin yaşları rastgele olarak dağıtılmıştır. Dispersal için yakın mesafeye, orta mesafeye, uzak mesafe olmak üzere üç ayrı seviyeden fonksiyonel grupların yeteneklerine göre ayarlanmıştır. Her bir fonksiyonel grup için tohumların, olgunlaşmamış bireylerin ve olgun bireylerin düşük, orta ve yüksek kaynak varken hayatta kalabilmelerini belirleyen 9 üyeden oluşan bir matris kullanılmıştır.

Çam fonksiyonel grubu önceki çalışmalardan farklı olarak Çam grubunun fonksiyonel karakterlerinde önceki çalışmalarda kullanılan tür olan *Pinus halepensis*'ten *Pinus brutia*'ya benzetilme yapılarak bir takım değişiklikler yapılmıştır. Çam'ın daha önceki çalışmalardaki modellerde modele girilen ömür uzunluğu 120 yıldan 150 yıla çıkartılmıştır [20], [21]. *Pinus brutia* olgunlaştığı zaman daha yüksek boylara ulaşabilmektedir. Böylece Çam'ın olgun birey olduğu zaman ulaşabildiği en yüksek katman sayısı "yüksek"ten "en yüksek" e çevrilmiştir.

2.3. Fonksiyonel Gruplar ve Fonksiyonel Karakterler

Bu çalışmada Akdeniz ekosisteminde birbirinden farklı büyüme ve gelişme özelliklerine sahip 5 tane bitki fonksiyonel grubu belirlenmiştir (Çizelge 1). Karmaşık flora yapılarını sadeleştirmek ve basite indirmek ve vejetasyon içindeki değişimleri takip etmek adına fonksiyonel sınıflandırma son derece önemlidir [102]. Seçilen gruplardan "Çam" serotin kozalaklara sahip iğne yapraklı ağaçtır. Çam, "Laden" ile birlikte ışığa en çok bağımlı bitki fonksiyonel grubudur. Meşe bu

simülasyonda herdemyeşil geniş yapraklı ağaçları ifade etmektedir ve gölgeye karşı en toleranslı bitki fonksiyonel grubudur. Funda erikoid yapraklı sürgün veren çalıdır. Laden çimlenmesi yangınla uyarılan çalı formlu bitkileri temsil etmektedir. Ot ise sürgün verme kapasitesine sahip çok yıllık graminoid otsu bitki fonksiyonel grubudur. Bu bitki fonksiyonel gruplarının çalışmaya dâhil edilmesinde, Akdeniz'deki en yaygın gruplar olması ve daha önceki benzer modelleme çalışmalarında kullanılmış olması göz önünde tutulmuştur.

Çizelge 1. Çalışmada incelenen bitki fonksiyonel gruplarının sahip olduğu fonksiyonel karakterler [19]–[21], [103].

Fonksiyonel karakterler	Çam	Meşe	Funda	Laden	Ot
İlk üreme yaşı	15	20	7	3	4
Ömür uzunluğu	150	200	40	15	20
Sürgün verme yeteneği	Yok	Yüksek	Orta	Yok	Yüksek
Tohumların yangında ölme oranı	Az	Çok yüksek	Yüksek	Çok az	Yüksek
Doğurganlık	Yüksek	Az	Yüksek	Yüksek	Az
Tohum dormansisi	Yok	Yok	Orta	Yüksek	Yok
Yangınla uyarılan tohum bankası	Var	Yok	Var	Var	Yok
Sürgün verdikten sonraki fonksiyonel yaşı	Yok	4-7	4-7	Yok	1-2
Yetişkin bireyin ulaşabildiği katman	En üst (4)	Üst (3)	Orta(2)	Orta(2)	Alçak(1)
Olgunlaşmamış bireyin yetişkin bireye göre kaynak kullanma oranı	Az	Az	Az	Az	Orta
Dispersal gücü (Yakına, Orta mesafeye, Uzağa)	Düşük, Orta, Yüksek	Yüksek, Yüksek, Yüksek	Yüksek, Düşük, Yok	Yüksek, Düşük, Düşük	Düşük, Düşük, Düşük

Bu fonksiyonel gruplar, Türkiye'nin Akdeniz ekosistemlerinde yer alan spesifik türleri temsil etmektedir. Çam; *Pinus brutia*'yı (serotin kozalaklara sahip ve sürgün yeteneği olmayan çam ağacı), Meşe; *Quercus coccifera*, *Q. infectoria*, *Arbutus andrachne* gibi çok iyi bir şekilde sürgün verebilen herdemyeşil çalı ve ağaççıkları, Funda; *Erica arborea*, *Calicotome villosa*, *Genista acanthoclada* gibi hem sürgün verebilme yeteneği olan hem de tohumla rejenere olabilen çalıları, Laden; *Cistus salviifolius* ve *Lavandula stoechas* gibi sürgün verme yeteneği olmayan ancak tohumla rejenere olabilen çalıları, Ot ise *Brachypodium pinnatum* ve *Piptatherum miliaceum* gibi sürgün verme yeteneğine sahip graminoid çok yıllık otları temsil etmektedir.

2.4. Simülasyon Senaryoları ve Modelleme

Bu tez çalışması kapsamında bitki fonksiyonel grupları yangın rejimleri ve vejetasyon kapalılıkları arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Tüm simülasyonlarda peyzaj rastgele olarak yaratılmış ve yangın sıklıklarıyla toplam başlangıç vejetasyon örtüsünü farklı kombinasyonlarda olacak şekilde 120 yıl süresince çalıştırılmıştır. Bu süre, peyzaj değişimlerini gözlemlemek adına uygun bir zaman aralığıdır, çünkü FATELAND iklimsel hesaplamaları içermediği için model seçilen süreden uzun çalıştırıldığında iklimsel değişimleri dikkate almaması nedeniyle elde edilen sonuçlar spekülatif olacaktır. Tüm senaryolar 3 farklı peyzaj (Çam ormanı, Meşe içermeyen Çam ormanı ve Maki çalılığı) peyzajlarında gerçekleştirilmiştir.

Farklı yangın sıklıkları oluşturulurken, 80. yıldan sonra yangın olmaması sağlanmış, böylelikle tüm senaryolarda vejetasyonun en az 40 yıllık bir yenilenme süresine sahip olması mümkün olmuştur. Simülasyonlar, her bir hücre 10×10 m'lik (100 m^2) büyüklüğe sahip olmak üzere 10.000 hücreden oluşan (toplam 100 ha) yapay/hayali bir peyzaj üzerinde gerçekleştirilmiştir. Fonksiyonel grupları temsil eden türler, senaryo başlangıçlarında peyzaja rastgele olarak dağıtılmışlardır.

Çalışma, 80 yıl içerisinde gerçekleşen 7 farklı yangın sıklığı senaryosu (5, 10, 20, 40 ve 80 yılda bir yangın; hiç yangının olmadığı senaryo; 40. yıldan sonra yangının olmadığı senaryo) (Çizelge 2) ve fonksiyonel grupların peyzajda 10 farklı toplam başlangıç vejetasyon örtüsü değerinde olduğu senaryoları ve bu ikisinin kombinasyonlarını içermektedir. Toplam başlangıç vejetasyon örtüsü senaryoları saptanırken, FATELAND modeline her bir fonksiyonel grubun farklı toplam başlangıç vejetasyon örtüsü oranları girilerek (0; 1,25; 2,5; 5; 10; 20; 40; 60; 80 ve 100%), modelin peyzajda bireyleri rastgele dağıtması sağlanmış ve ortaya çıkan peyzajda bitkilerin kapladığı hücre yüzdesi hesaplanmıştır. Bu sayede, farklı vejetasyon durumları için (çam ormanı, Meşe'nin olmadığı çam ormanı, maki çalılığı) farklı toplam başlangıç vejetasyon örtüsü senaryoları elde edilmiştir. Nihayetinde, içerisinde tüm fonksiyonel grupların yer aldığı çam ormanı peyzajı senaryoları için 0; 4; 8; 15; 28; 50; 79; 94; 99 ve 100 %,yüzde vejetasyon örtüsü değerleri elde edilmiştir (Çizelge 3). İçerisinde Meşe bulunmayan çam ormanı ve Çam bulunmayan maki çalılığı peyzajları için 0; 2,5; 5; 10; 19; 36; 64; 84; 96 ve 100 % toplam başlangıç vejetasyon örtüsü değerleri elde edilmiştir (Çizelge 3).

Modeldeki her bir senaryo 5 tekrarlı olarak çalıştırılmıştır. Çalışma süresince 3 farklı peyzajda, 7 farklı yangın sıklığında, 10 farklı toplam başlangıç bitki örtüsünde toplam 5250 senaryo test edilmiştir. Bu senaryolar sonucunda, 22750 satırlık bir nihai bolluk verisi elde edilmiştir. Senaryolar, yangının etkisi ile peyzajda hiçbir yetişkin (olgun) birey kalmayacak şekilde hesaplanmıştır. O yüzden tüm senaryolarda yangından sonra ya çimlenme ya da sürgün verme gerçekleşmiştir. Senaryonun başlangıcında peyzajda yetişkin bireylerle birlikte genç bireylerin de olduğu varsayılmış ve peyzaj bu şekilde yaratılmıştır. Yetişkin bireylerin yerleri ve yaşları peyzajdaki hücrelere rastgele dağıtılmıştır. Yangınlar rastgele ya da ortamdaki yanıcı madde miktarına bağlı olarak değil, belirli tarihlerde olacak şekilde belirlenmiş ve ortaya çıkan bir yangının peyzajın tüm alanını yakması sağlanmıştır. Bu yangın senaryoları, Akdeniz Havzası'nda farklı bölgelerde görülen ve gelecekte görülmesi beklenen yangın rejimlerinin bir göstergesi olarak kabul edilmiştir. Örneğin, 5, 10 ve 20 yılda bir yangın çıkan senaryolar yangın sıklığının görece yüksek olduğu yangın rejimlerini, 40 ve 80 yılda bir yangın çıkanları ise yangın sıklığının görece daha düşük olduğu yangın rejimlerine karşılık gelmektedir. Benzer şekilde, hiç yangının olmadığı senaryo ise yangın engelleme politikalarını simüle etmektedir.

Yukarıda değinilen yangın sıklığı ve toplam başlangıç vejetasyon örtüsü senaryoları, üç farklı peyzaj içerisinde yeniden çalıştırılmıştır. Bu peyzaj senaryoları içerisinde; (1) Çam, Meşe, Funda, Laden ve Ot fonksiyonel gruplarını barındıran “çam ormanı” peyzajı senaryoları; (2) Meşe, Funda, Laden ve Ot fonksiyonel gruplarını barındıran ve Çam'ın yer almadığı “maki çalılığı” peyzajı senaryoları; (3) Çam, Funda, Laden ve Ot fonksiyonel gruplarını barındıran ve Meşe'nin yer almadığı “çam ormanı” peyzajı senaryoları yer almaktadır (Şekil 2). Çalışma içerisinde geçen dominantlık kavramı çam ormanı peyzajında Çam'ın %20 ve fazlası bolluktan olması durumudur.

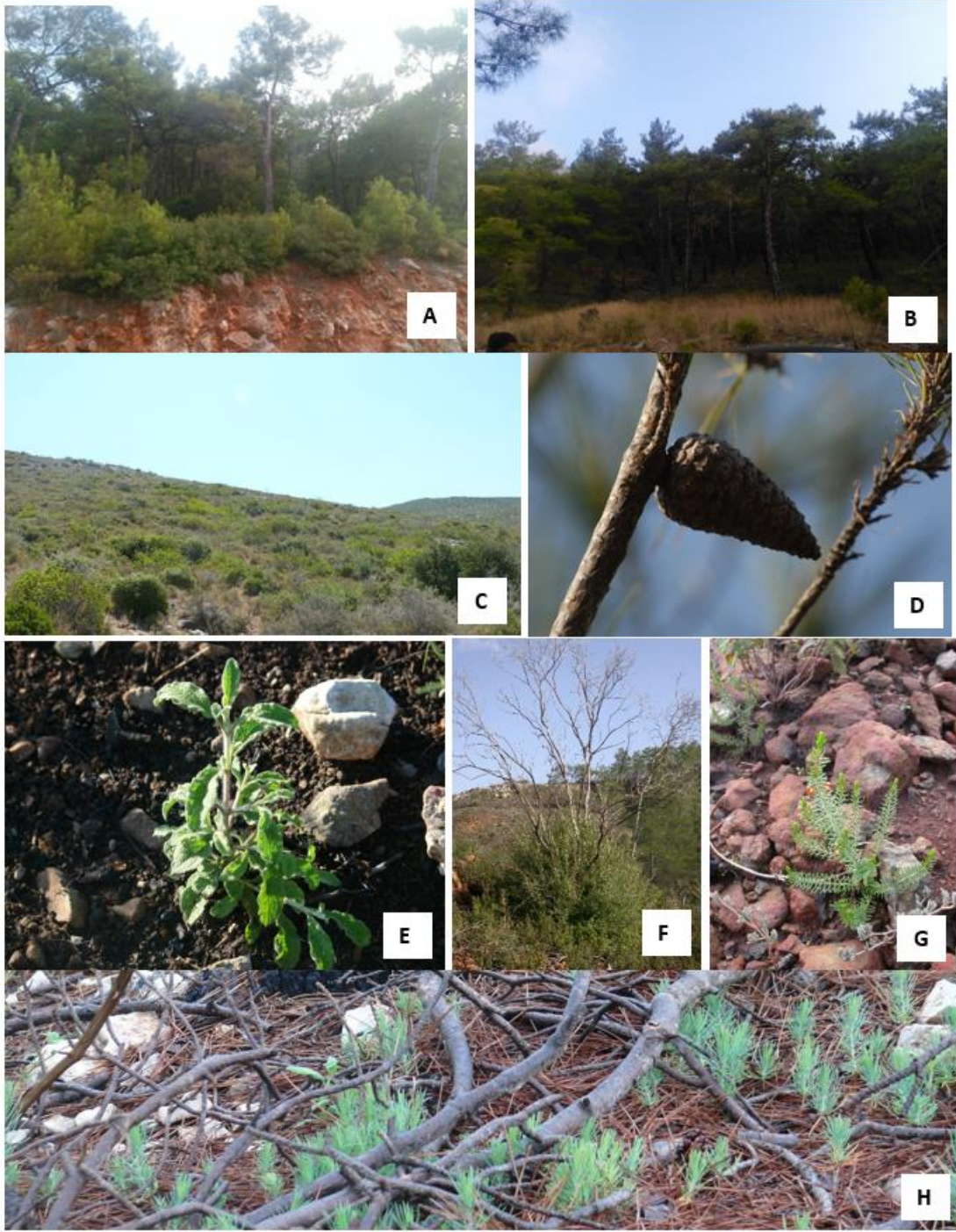
Modellerin çalıştırılması sonucunda, ele alınan her bir fonksiyonel grup için, her bir “toplam başlangıç vejetasyon örtüsü” × “yangın sıklığı” kombinasyonu senaryosunda beş adet nihai bolluk değeri elde edilmiştir. Modelde yer alan tohum, fide/yeni sürgün (olgunlaşmamış bireyler), olgun bireyler ve hepsini içeren dört farklı nihai bolluk çıktısı içerisinde, vejetasyon örtüsünü en iyi karakterize edecek olan olgun bireylere ait veriler ileriki analizler için kullanılmıştır.

Çizelge 2. Çalışmada kullanılan yangın sıklığı senaryoları.

Yangının olduğu senaryolar	Yangının olmadığı senaryolar
5 yılda bir (16 kez yanmış)	40 yıllık
10 yılda bir (8 kez yanmış)	120 yıllık
20 yılda bir (4 kez yanmış)	
40 yılda bir (2 kez yanmış)	
80 yılda bir (1 kez yanmış)	

Çizelge 3. Fonksiyonel grupların başlangıç bolluklarına göre çalışmada kullanılan toplam başlangıç vejetasyon örtüsü değerleri.

Fonksiyonel Grupların Başlangıç Bollukları		% 0	% 1.25	% 2.5	% 5	% 10	% 20	% 40	% 60	% 80	% 100
Toplam Başlangıç Vejetasyon Örtüsü	Çam Ormanı Peyzajı	% 0	% 4	% 8	% 15	% 28	% 50	% 79	% 94	% 99	% 100
	Maki Çalılığı Peyzajı	% 0	% 2.5	% 5	% 10	% 19	% 36	% 64	% 84	% 96	% 100
	Quercus'un olmadığı çam ormanı peyzajı	% 0	% 2.5	% 5	% 10	% 19	% 36	% 64	% 84	% 96	% 100
		% 0	% 2.5	% 5	% 10	% 19	% 36	% 64	% 84	% 96	% 100



Şekil 2. Farklı vejetasyon durumları ve rejenerasyon stratejilerine örnekler. Alt tabakasında sürgün veren türlerin bulunduğu (A) ve bulunmadığı (B) çam ormanı peyzajı; maki çalılığı (C); *Pinus brutia*'nın serotin kozalağı (D), yangın sonrası habitatlarda bir *Cistus creticus* fidesi (E), sürgün vermiş bir *Phillyrea latifolia* çalısı (F), *Erica manipuliflora* sürgünü (G), *P. brutia* fideleri (H). Foto: A ve B, Anıl Bahar (Milas), diğerleri Çağatay Tavşanoğlu (Milas, Marmaris, İzmir).

2.5. Model Çıktılarının İstatistiksel Analizi

FATELAND modelinin çalıştırılması sonucunda her bir fonksiyonel gruba ait nihai bolluk değerlerinin, toplam başlangıç vejetasyon örtüsü ve yangın sıklığından nasıl etkilendiğinin araştırılmasında, genel doğrusal karma etki modelleri kullanılmıştır. Analizlerden önce verilerin dağılımının normale yaklaştırılması için arcsin dönüşümü uygulanmıştır. Verilerin normal dağılımla uyumu Shapiro-Wilk testi ve histogramlar ile sınanmış, model sonucunun kalıntı grafiği de her seferinde kontrol edilmiştir. Analizlerde, fonksiyonel grubun nihai bolluğu bağımlı değişken olarak, yangın sıklığı ve toplam başlangıç vejetasyon örtüsü ise sabit faktörler olarak ele alınmıştır. Ön analizler, tüm fonksiyonel gruplarda toplam başlangıç vejetasyon örtüsünün fonksiyonel grubun nihai bolluğu üzerindeki etkisinin kısıtlı olduğunu gösterdiğinden, fonksiyonel grubun başlangıç bolluğu rassal etki olarak karma modellere dâhil edilmiştir. Analizler sonucunda tüm türlerde tüm faktörler istatistiksel olarak anlamlı etki yaptığı ortaya çıktığından, analiz sonuçlarının değerlendirilmesinde, bu durumda ekolojik olarak daha yorumlanabilir ve anlamlı sonuçlar veren açıklanan sapma yüzdesi dikkate alınmıştır [104]. Her bir fonksiyonel grubun her bir yangın senaryosunda elde edilen nihai bolluk değerlerinin, vejetasyonun toplam örtüsü bolluğu ile ilişkisinin araştırılmasında, doğrusal (“linear”) ya da eğrisel (“curvilinear”) regresyon analizleri kullanılmıştır. Tüm analizler arcsin dönüştürülmüş veri üzerinden yürütülmüştür ve verilerin normal dağılımla uyumu Shapiro-Wilk testi ve histogramlar ile sınanmıştır. Regresyon modeli seçimi süreci, [105]’de önerildiği şekilde gerçekleştirilmiştir; öncelikle veriye basit doğrusal regresyon analizi uygulanmış, daha sonra ise ikinci dereceden, daha sonra ise üçüncü dereceden fonksiyonlar aşamalı bir prosedür ile birbiri ile test edilmiştir. Bu aşamaların herhangi bir adımında bir önceki ve daha basit olan regresyon modeline göre istatistiksel olarak önemli bir ilerleme kaydedildi ise nihai bolluğun toplam başlangıç vejetasyon örtüsü ile açıklanmasında daha karmaşık olan model tercih edilmiştir. Bu şekilde, en basit modele öncelik verilmek kaydıyla, iki değişken arasındaki ilişkiyi istatistiksel olarak en iyi açıklayan regresyon denklemleri belirlenmiştir. Doğrusal karma etki modelleri *lme4* paketinde yer alan *lmer* fonksiyonu kullanılarak gerçekleştirilmiştir [106]. Verilerin grafiksel olarak gösteriminde *ggplot2* paketinde yer alan *ggplot* fonksiyonu [107] ve *Rmisc* paketinde yer alan *summarySE* fonksiyonu [108] kullanılmıştır. Tüm analizler R istatistiksel programı (v. 3.4.2) kullanılarak gerçekleştirilmiştir [109].

3. BULGULAR

3.1. Çam Ormanı Peyzajı Senaryoları

Farklı bitki fonksiyonel grupları, yangın sıklıklarına ve toplam başlangıç vejetasyon örtüsüne farklı yanıtlar göstermiştir. Bununla birlikte, yangın sıklığı Meşe üzerinde diğer fonksiyonel gruplara göre daha az etkili olmuştur (Çizelge 6 ve 7, Şekil 3) Buna ek olarak Meşe dışındaki fonksiyonel grupların simülasyon sonundaki bollukları ile çam ormanı ve maki çalılığı peyzajlarında toplam başlangıç vejetasyon örtüsünün vejetasyonunun farklı yangın sıklıkları altındaki etkileşimleri doğrusal ya da eğrisel regresyon modeline başarıyla uymuştur (Çizelge 5).

Çam yangın sıklığının artışından en olumsuz etkilenen grup olmuştur ve yalnızca yangının olmadığı iki senaryoda dominant durumda olmuştur (Şekil 3). Buna rağmen Çam vejetasyonda kendisine eşlik edecek türler bulunmadığında ya da az miktarda bulunduğu yangın sıklığının artışından daha az etkilenmiştir (toplam başlangıç vejetasyon örtüsü < 20% senaryoları; Şekil 3). Çam, toplam başlangıç vejetasyon örtüsünden yangın sıklığına göre daha az etkilenmiştir (Çizelge 4). Bununla birlikte, yangın sıklığının azalması ile birlikte, özellikle 40 yılda bir ya da az sıklıkta yangın koşullarında Çam'ın toplam başlangıç vejetasyon örtüsünden etkilenme miktarı artmıştır (Çizelge 5, Şekil 3).

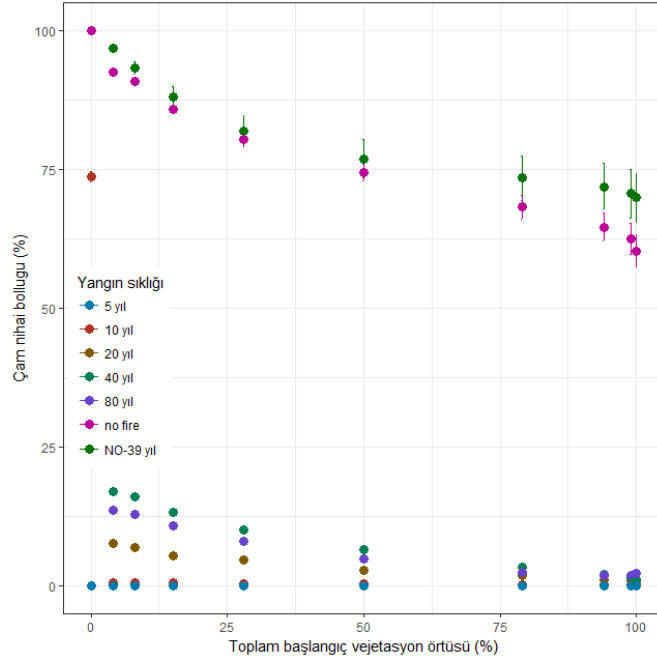
Yangın frekansının Meşe üzerine etkisi sınırlı kalmıştır ve bu bitki fonksiyonel grubu vejetasyonu yangın sıklığı ve toplam başlangıç vejetasyon örtüsü senaryolarının çoğunda vejetasyonu domine etmiştir (Şekil 4). Meşe'nin görülen en düşük bolluk verisi 5 yılda bir yangın olan senaryolarda ortaya çıkmıştır. Çam'ın tersine yangının uzun süre olmadığı senaryolarda Funda, Laden ve Ot'unda istatistiksel olarak anlamlı bir düşüş tespit edilmiş ve bu etki vejetasyon kapalılığı arttıkça daha da artış göstermiştir (Şekil 5, Şekil 6, Şekil 7, Çizelge 4). Bu bitki fonksiyonel grupları (Funda Laden ve Ot) toplam başlangıç vejetasyon örtüsüne bakılmaksızın en yüksek bolluklarına 5 yılda bir yangın senaryolarında ulaşmışlardır. Bir başka deyişle yangın sıklığının artışı Funda, Laden ve Ot'un bolluklarını pozitif olarak etkilemiştir. Aslında, Funda, Laden ve Ot hem yangın sıklığından hem de vejetasyon kapalılığından etkilenmiştir ve yangın sıklığı arttıkça yangının etkisi vejetasyon kapalılığına göre daha güçlü olmuştur (Şekil 5, Şekil 6, Şekil 7, Çizelge 4).

Çizelge 4. Çam ormanı peyzajında, bitki fonksiyonel gruplarının yangın sıklığı (YS) ve toplam başlangıç vejetasyon örtüsüne (VÖ) olan cevabını öngören genel doğrusal karma modellerin özeti. AIC, her bir fonksiyonel grubun tüm modelinin Akaike Ölçütü değeri, d.f. ise serbestlik derecesidir. Analizler arc-sin dönüştürülmüş veri üzerinden gerçekleştirilmiştir. Yangının olmadığı senaryolar arasından yalnızca NoFire₁₁₉ (120 yıl boyunca yangının olmaması) senaryosu kullanılmıştır. Bu analiz sonuçları, Şekil 3-7’de gösterilen verilere dayanmaktadır.

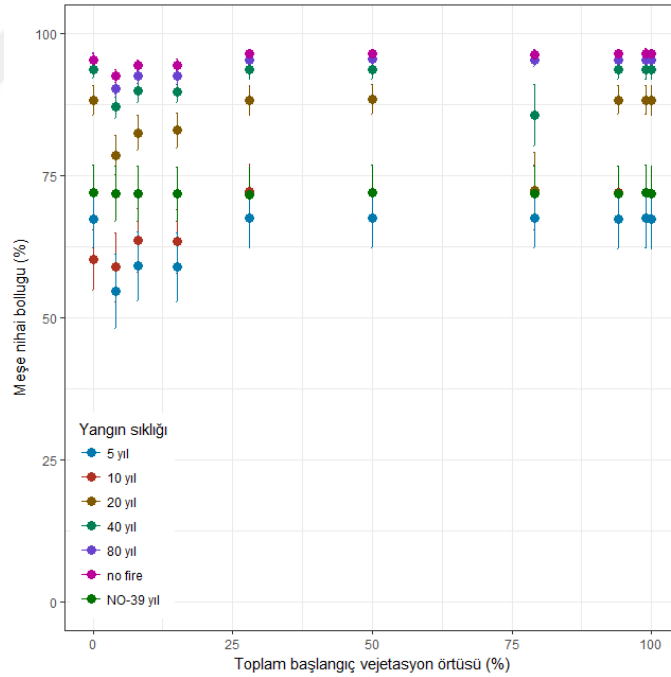
Sabit faktörler	Açıklanan sapma (%)	d.f.	χ^2	P	AIC
Çam					-8189.9
Sabit	71.4				
Yangın sıklığı	18.6	8	1525.4	<0.0001	
Vejetasyon örtüsü	7.2	9	589.5	<0.0001	
YS × VÖ	2.9	14	236.9	<0.0001	
Meşe					-9577.9
Sabit	92.1				
Yangın sıklığı	7.5	8	721.1	<0.0001	
Vejetasyon örtüsü	0.2	9	16.8	<0.0001	
YS × VÖ	0.2	14	20.3	0.001	
Funda					-13634.4
Sabit	49.9				
Yangın sıklığı	4.7	8	648.1	<0.0001	
Vejetasyon örtüsü	14.5	9	1986.6	<0.0001	
YS × VÖ	30.8	14	4215.1	<0.0001	
Laden					-13268.5
Sabit	50.9				
Yangın sıklığı	4.2	8	562.7	<0.0001	
Vejetasyon örtüsü	17.1	9	2272.2	<0.0001	
YS × VÖ	27.8	14	3695.0	<0.0001	
Ot					-14127.2
Sabit	55.7				
Yangın sıklığı	6.4	8	903.3	<0.0001	
Vejetasyon örtüsü	6.8	9	970.3	<0.0001	
YS × VÖ	31.1	14	4402.1	<0.0001	

Çizelge 5. Çam ormanı peyzajında, bitki fonksiyonel gruplarının farklı yangın sıklığı senaryolarında toplam başlangıç vejetasyon örtüsü ile olan ilişkisini gösteren doğrusal ve eğrisel regresyon analizi sonuçları. Toplam başlangıç vejetasyon örtüsünün, her bir fonksiyonel grubun her bir yangın sıklığı senaryosundaki etkisini gösteren birinci (b) ve ikinci (c) seviyeden regresyon katsayıları verilmiştir. Tüm analizler arc-sin dönüştürülmüş veri üzerinden gerçekleştirilmiştir. Katsayı değerlerinin standart hataları parantez içerisinde verilmiştir. Hem katsayı değerleri hem de standart hataları görsel amaçla 1000 ile çarpılarak verilmiştir. Bu analiz sonuçları, Şekil 3-7’de gösterilen verilere dayanmaktadır.

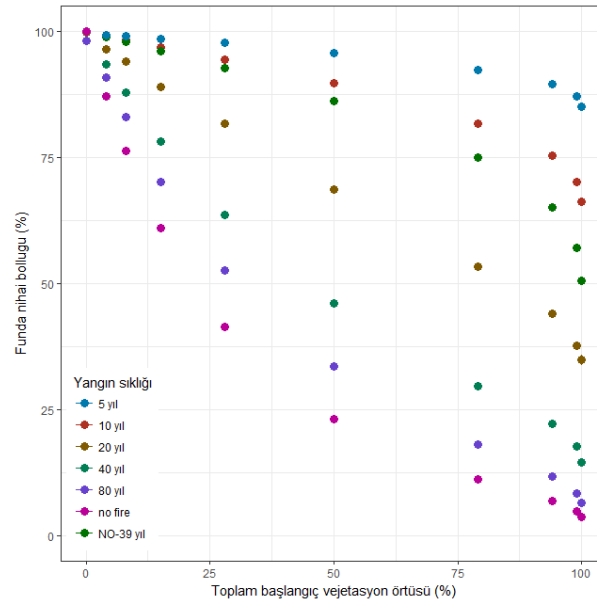
	Katsayılar		R ²	P
	b	c		
Çam				
NoFire ₁₁₉	-0.19 (0.009)	n/a	0.65	< 0.0001
NoFire ₃₉	-0.16 (0.015)	n/a	0.30	< 0.0001
F80	-1.54 (0.119)	0.01 (0.001)	0.62	< 0.0001
F40	-1.41 (0.113)	0.01 (0.001)	0.67	< 0.0001
F20	-1.55 (0.141)	0.01 (0.001)	0.52	< 0.0001
F10	-1.43 (0.151)	0.01 (0.001)	0.36	< 0.0001
F5	0.00 (0.001)	n/a	0.02	0.04
Meşe				
NoFire ₁₁₉	0.01 (0.004)	n/a	0.04	0.002
NoFire ₃₉	0.00 (0.024)	n/a	0.02	> 0.05
F80	0.01 (0.006)	n/a	0.03	0.011
F40	0.00 (0.016)	n/a	0.00	> 0.05
F20	0.00 (0.022)	n/a	0.00	> 0.05
F10	0.08 (0.026)	n/a	0.03	0.004
F5	0.05 (0.029)	n/a	0.01	0.057
Funda				
NoFire ₁₁₉	-0.74 (0.007)	n/a	0.98	< 0.0001
NoFire ₃₉	-0.25 (0.005)	n/a	0.92	< 0.0001
F80	-0.69 (0.006)	n/a	0.99	< 0.0001
F40	-0.57 (0.003)	n/a	0.99	< 0.0001
F20	-0.38 (0.003)	n/a	0.98	< 0.0001
F10	-0.16 (0.003)	n/a	0.94	< 0.0001
F5	-0.07 (0.001)	n/a	0.93	< 0.0001
Laden				
NoFire ₁₁₉	-0.74 (0.008)	n/a	0.97	< 0.0001
NoFire ₃₉	-0.29 (0.005)	n/a	0.93	< 0.0001
F80	-0.71 (0.005)	n/a	0.99	< 0.0001
F40	-0.59 (0.003)	n/a	0.99	< 0.0001
F20	-0.43 (0.004)	n/a	0.98	< 0.0001
F10	-0.23 (0.004)	n/a	0.94	< 0.0001
F5	-0.10 (0.002)	n/a	0.93	< 0.0001
Ot				
NoFire ₁₁₉	-0.66 (0.005)	n/a	0.98	< 0.0001
NoFire ₃₉	-0.05 (0.005)	n/a	0.34	< 0.0001
F80	-0.35 (0.006)	n/a	0.94	< 0.0001
F40	-0.18 (0.003)	n/a	0.96	< 0.0001
F20	-0.12 (0.002)	n/a	0.95	< 0.0001
F10	-0.02 (0.001)	n/a	0.86	< 0.0001
F5	0.00 (0.000)	n/a	0.73	< 0.0001



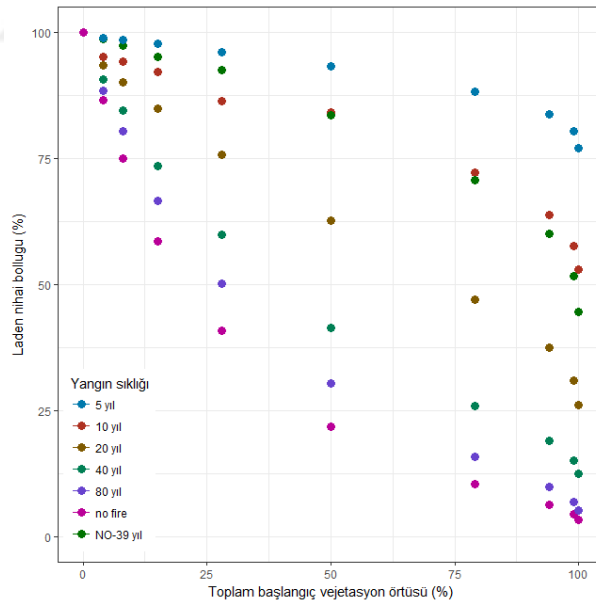
Şekil 3. Çam ormanı peyzajında farklı yangın sıklıkları altında toplam başlangıç vejetasyon örtüsüne göre Çam fonksiyonel grubunun nihai bollukları (kapladıkları hücre %). Bu verilerin istatistiksel analizleri Çizelge 4 ve 5'de verilmiştir.



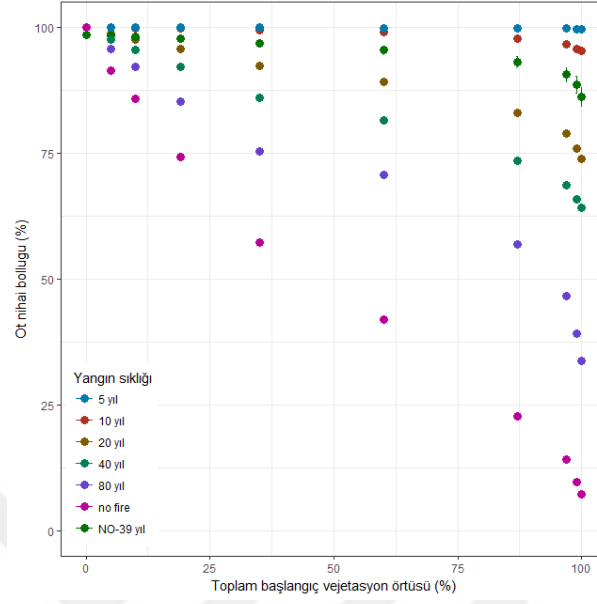
Şekil 4. Çam ormanı peyzajında farklı yangın sıklıkları altında toplam başlangıç vejetasyon örtüsüne göre Meşe fonksiyonel grubunun nihai bollukları (kapladıkları hücre %). Bu verilerin istatistiksel analizleri Çizelge 4 ve 5'de verilmiştir



Şekil 5. Çam ormanı peyzajında farklı yangın sıklıkları altında toplam başlangıç vejetasyon örtüsüne göre Funda fonksiyonel grubunun nihai bollukları (kapladıkları hücre %). Bu verilerin istatistiksel analizleri Çizelge 4 ve 5’de verilmiştir.



Şekil 6. Çam ormanı peyzajında farklı yangın sıklıkları altında toplam başlangıç vejetasyon örtüsüne göre Laden fonksiyonel grubunun nihai bollukları (kapladıkları hücre %). Bu verilerin istatistiksel analizleri Çizelge 4 ve 5’de verilmiştir.



Şekil 7. Çam ormanı peyzajında farklı yangın sıklıkları altında toplam başlangıç vejetasyon örtüsüne göre Ot fonksiyonel grubunun nihai bollukları (kapladıkları hücre %). Bu verilerin istatistiksel analizleri Çizelge 4 ve 5’de verilmiştir.

3.2. Maki alılığı Peyzajı Senaryoları

am'ın peyzajdan çıkartıldığı ve başlangıç vejetasyonunun maki çalılığı olarak kurulduğu senaryolarda, vejetasyondaki diğer fonksiyonel grupların kaderi am ormanı peyzajındaki sonuçlardan belirgin bir şekilde farklılaşmamıştır. Maki alılığı peyzajında farklı yangın sıklıklarında genel olarak Meşe peyzajın en baskın türü olmaya devam etmiştir (şekil 8). Meşe'nin görülen en yüksek nihai bolluk değerleri yangının olmadığı senaryolarda, en düşük nihai bolluk değerleri ise 5 yılda bir yangın senaryolarında gerçekleşmiştir. Yangın sıklıklarının değerimi Meşe'nin nihai bolluğu üzerinde etkili olmamıştır (izelge 6 ve 7). am ormanı peyzajıyla maki çalılığı peyzajı senaryolarının sonuçları Meşe açısından karşılaştırıldığında am'ın peyzajda olmamasının Meşe'nin nihai bolluğu üzerinde önemli bir etkisi olmamıştır (izelge 4 ve 6, şekil 4 ve 8).

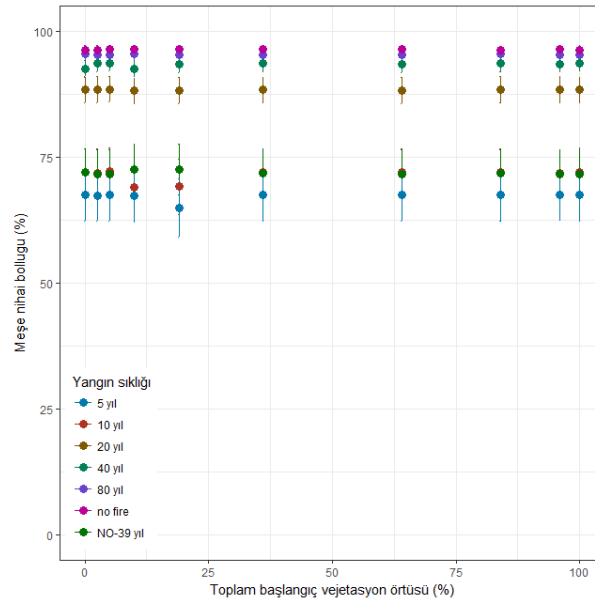
Maki alılığı peyzajında Funda, Laden ve Ot, yangın sıklığı arttıa nihai bollukları da artma eğilimindedir ve toplam başlangıç vejetasyon örtüsü de arttıa nihai bollukları düşmektedir (izelge 6 ve 7, şekil 9, 10 ve 11). Yangın sıklığı azaldıa (20 yılda bir yangın ve daha az sıklıktakiler) ve toplam başlangıç vejetasyon örtüsü arttıa nihai bollukları azalmıştır (izelge 6 ve 7, şekil 9, 10 ve 11). Yangın sıklığının Funda, Laden ve Ot zerindeki etkisi istatistiksel olarak anlamlıdır (izelge 6 ve 7). am'ın olmadığı maki çalılığı peyzajında Funda ve Laden nihai bollukları üzerindeki yangın sıklığının ve toplam başlangıç vejetasyon örtüsünün etkisi bir miktar artmıştır (izelge 4 ve 6). Ot'un üzerindeki yangın sıklığının etkisinin am'ın olmadığı senaryolarda değermediği, toplam başlangıç vejetasyon örtüsünün etkisinin ise azaldığı, yangın sıklığı ve toplam başlangıç vejetasyon örtüsünün birlikte etkisinin ise arttığı tespit edilmiştir (izelge 4 ve 6). Ot'un nihai bolluğunda ise bir miktar azalmanın olduğu görülmüştür (şekil 7 ve 11).

Çizelge 6. Maki çalılığı peyzajında, bitki fonksiyonel gruplarının yangın sıklığı ve toplam başlangıç vejetasyon örtüsüne olan cevabını öngören genel doğrusal karma modellerin özeti. AIC, her bir fonksiyonel grubun tüm modelinin Akaike Ölçütü değeri, d.f. ise serbestlik derecesidir. Analizler arc-sin dönüştürülmüş veri üzerinden gerçekleştirilmiştir. Yangının olmadığı senaryolar arasından yalnızca NoFire₁₁₉ (120 yıl boyunca yangının olmaması) senaryosu kullanılmıştır. Bu analiz sonuçları, Şekil 8-11’de gösterilen verilere dayanmaktadır.

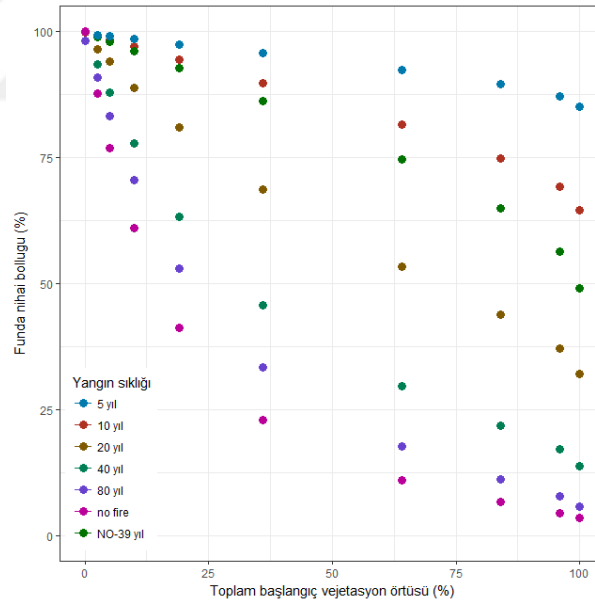
Sabit faktörler	Açıklanan sapma (%)	d.f.	χ^2	P	AIC
Meşe					-10815.1
Sabit	88.8				
Yangın sıklığı	11.2	8	1215.6	<0.0001	
Vejetasyon örtüsü	0.0	9	0.4	0.538	
YS × VÖ	0.0	14	0.5	> 0.05	
Funda					-12248.6
Sabit	55.2				
Yangın sıklığı	5.2	8	637.2	<0.0001	
Vejetasyon örtüsü	15.7	9	1933.0	<0.0001	
YS × VÖ	23.8	14	2927.3	<0.0001	
Laden					-11946
Sabit	56.3				
Yangın sıklığı	4.7	8	559.5	<0.0001	
Vejetasyon örtüsü	18.3	9	2193.2	<0.0001	
YS × VÖ	20.7	14	2478.2	<0.0001	
Ot					-14977
Sabit	52.5				
Yangın sıklığı	6.4	8	961.0	<0.0001	
Vejetasyon örtüsü	4.5	9	669.7	<0.0001	
YS × VÖ	36.7	14	5501.7	<0.0001	

Çizelge 7. Maki çalılığı peyzajında, bitki fonksiyonel gruplarının farklı yangın sıklığı senaryolarında toplam başlangıç vejetasyon örtüsü ile olan ilişkisini gösteren doğrusal ve eğrisel regresyon analizi sonuçları. Toplam başlangıç vejetasyon örtüsünün, her bir fonksiyonel grubun her bir yangın sıklığı senaryosundaki etkisini gösteren birinci (b) ve ikinci (c) seviyeden regresyon katsayıları verilmiştir. Tüm analizler arc-sin dönüştürülmüş veri üzerinden gerçekleştirilmiştir. Katsayı değerlerinin standart hataları parantez içerisinde verilmiştir. Hem katsayı değerleri hem de standart hataları görsel amaçla 1000 ile çarpılarak verilmiştir. Bu analiz sonuçları, Şekil 8-11’de gösterilen verilere dayanmaktadır.

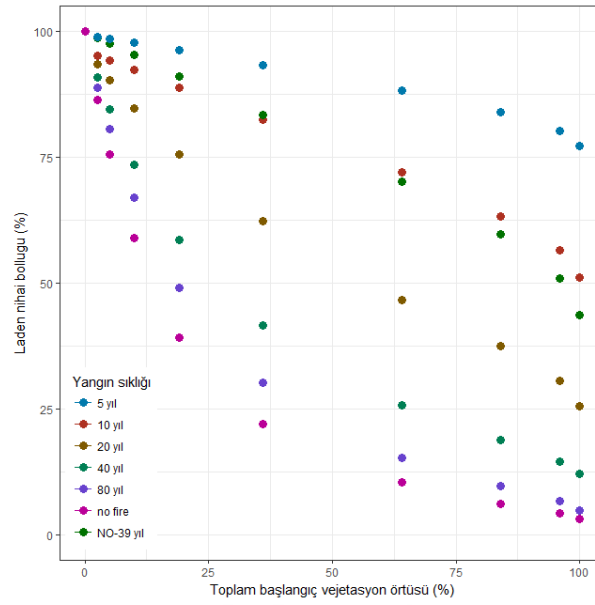
	Katsayılar		R ²	P
	b	c		
Meşe				
NoFire ₁₁₉	0.00 (0.003)	n/a	0.01	> 0.05
NoFire ₃₉	0.00 (0.025)	n/a	0.02	> 0.05
F80	0.00 (0.005)	n/a	0.00	> 0.05
F40	0.00 (0.007)	n/a	0.00	> 0.05
F20	0.00 (0.012)	n/a	0.00	> 0.05
F10	0.01 (0.026)	n/a	0.00	> 0.05
F5	0.00 (0.028)	n/a	0.09	> 0.05
Funda				
NoFire ₁₁₉	-0.75 (0.013)	n/a	0.93	< 0.0001
NoFire ₃₉	-0.31 (0.003)	n/a	0.97	< 0.0001
F80	-0.73 (0.010)	n/a	0.97	< 0.0001
F40	-0.61 (0.007)	n/a	0.98	< 0.0001
F20	-0.45 (0.003)	n/a	0.99	< 0.0001
F10	-0.25 (0.002)	n/a	0.98	< 0.0001
F5	-0.11 (0.001)	n/a	0.98	< 0.0001
Laden				
NoFire ₁₁₉	-0.75 (0.013)	n/a	0.93	< 0.0001
NoFire ₃₉	-0.29 (0.005)	n/a	0.98	< 0.0001
F80	-0.30 (0.002)	n/a	0.96	< 0.0001
F40	-0.30 (0.006)	n/a	0.97	< 0.0001
F20	-0.17 (0.004)	n/a	0.99	< 0.0001
F10	-0.01 (0.000)	n/a	0.98	< 0.0001
F5	0.00 (0.000)	n/a	0.98	< 0.0001
Ot				
NoFire ₁₁₉	-0.74 (0.005)	n/a	0.99	< 0.0001
NoFire ₃₉	-0.12 (0.006)	n/a	0.62	< 0.0001
F80	-0.35 (0.006)	n/a	0.99	< 0.0001
F40	-0.18 (0.003)	0.00 (0.000)	0.96	< 0.0001
F20	-0.12 (0.002)	0.00 (0.000)	0.96	< 0.0001
F10	0.01 (0.002)	n/a	0.98	< 0.0001
F5	0.00 (0.000)	0.00 (0.000)	0.96	< 0.0001



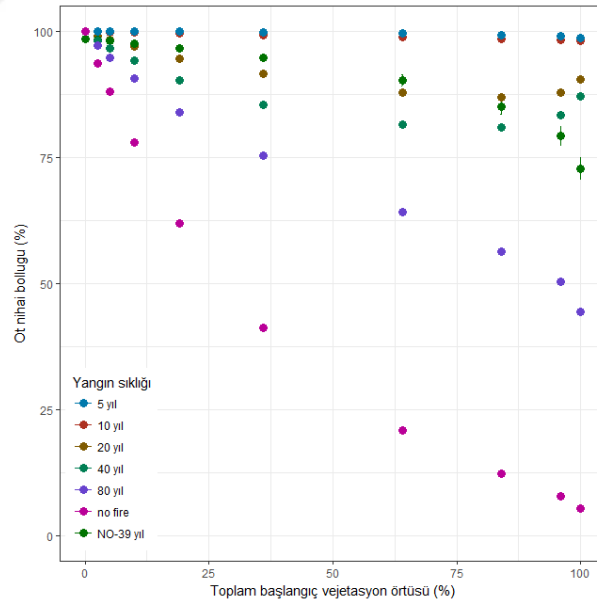
Şekil 8. Maki çalılığı peyzajında farklı yangın sıklıkları altında toplam başlangıç vejetasyon örtüsüne göre Meşe fonksiyonel grubunun nihai bollukları (kapladıkları hücre %).



Şekil 9. Maki çalılığı peyzajında farklı yangın sıklıkları altında toplam başlangıç vejetasyon örtüsüne göre Funda fonksiyonel grubunun nihai bollukları (kapladıkları hücre %).



Şekil 10. Maki çalılığı peyzajında farklı yangın sıklıkları altında toplam başlangıç vejetasyon örtüsüne göre Laden fonksiyonel grubunun nihai bollukları (kapladıkları hücre %).



Şekil 11. Maki çalılığı peyzajında farklı yangın sıklıkları altında toplam başlangıç vejetasyon örtüsüne göre Ot fonksiyonel grubunun nihai bollukları (kapladıkları hücre %).

3.3. Meşe'nin Olmadığı Çam Ormanı Peyzajı Senaryoları

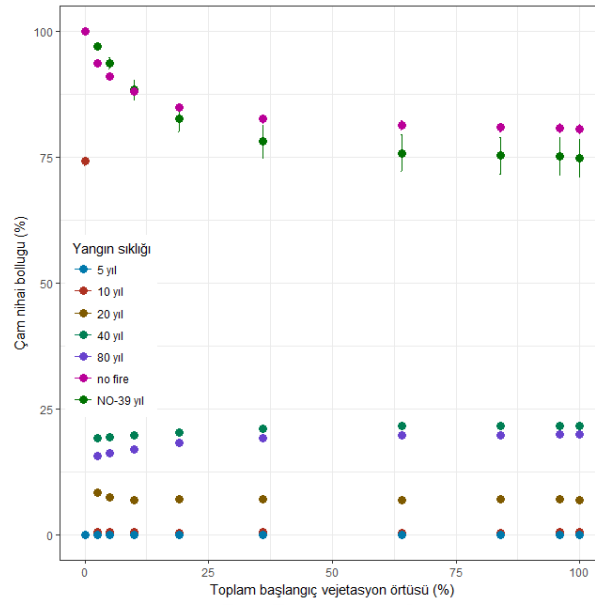
Meşe'nin yokluğu ise diğer fonksiyonel gruplar üzerinde daha belirgin etkilere yol açmıştır. Meşe'nin olmadığı çam ormanı peyzajında Çam 20 yılda bir yangın sıklığı ve fazlasında yüksek nihai bolluklara ulaşmaktadır (Şekil 12). Yangın sıklıkları Çam'ın nihai bolluğu konusunda belirleyici olmuştur (Çizelge 8 ve 9). Çam en yüksek nihai bolluklara yangının olmadığı senaryolarda ulaşırken (NoFire ve NoFire₃₉ senaryoları), en düşük bolluk değerleri 5 yılda bir yangın sıklığında oluşmuştur (Şekil 12). Çam'ın Meşe'nin peyzajda var olduğu senaryolara göre özellikle 20 yılda bir, 40 yılda bir ve 80 yılda bir yangın senaryolarında belirgin bir fark görülmektedir (Şekil 3 ve 11). Funda ve Laden ve Ot tüm yangın sıklıkları ve toplam başlangıç vejetasyon örtüsü senaryolarında Meşe'nin yokluğunda tüm senaryolarda %100 ya da %100'e yakın bolluk değerlerine ulaşmışlardır (Şekil 13, 14 ve 15). Meşe'nin peyzajda var olduğu senaryolara göre son derece yüksek bolluk değerleridir (Şekil 5, 6 ve 7). Bu senaryolarda, yangın sıklığı ve toplam başlangıç vejetasyon örtüsü Funda, Laden ve Ot üzerinde istatistiksel olarak önemli bir etkide bulunmamıştır (Çizelge 8 ve 9).

Çizelge 8. Çam ormanı peyzajında Meşe fonksiyonel grubunun yokluğunda, bitki fonksiyonel gruplarının yangın sıklığı ve toplam başlangıç vejetasyon örtüsüne olan cevabını öngören genel doğrusal karma modellerin özeti. AIC, her bir fonksiyonel grubun tüm modelinin Akaike Ölçütü değeri, d.f. ise serbestlik derecesidir. Analizler arc-sin dönüştürülmüş veri üzerinden gerçekleştirilmiştir. Yangının olmadığı senaryolar arasından yalnızca NoFire₁₁₉ (120 yıl boyunca yangının olmaması) senaryosu kullanılmıştır. Bu analiz sonuçları, Şekil 12-15’de gösterilen verilere dayanmaktadır.

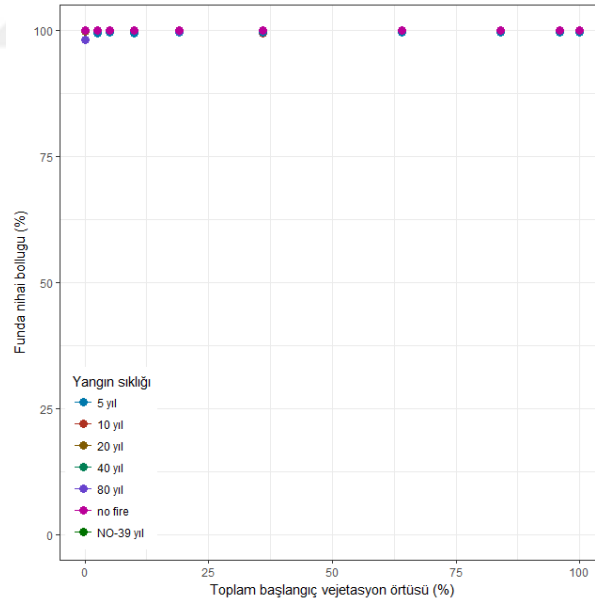
Sabit faktörler	Açıklanan sapma (%)	d.f.	χ^2	P	AIC
Çam					-8223.9
Sabit	71.5				
Yangın sıklığı	26.1	8	2151.3	<0.0001	
Vejetasyon örtüsü	1.7	9	141.0	<0.0001	
YS × VÖ	0.7	14	55.9	<0.0001	
Funda					-22977
Sabit	96.9				
Yangın sıklığı	2.2	8	648.1	<0.0001	
Vejetasyon örtüsü	0.0	9	1986.6	0.001	
YS × VÖ	0.8	14	4215.1	<0.0001	
Laden					-19617
Sabit	88.0				
Yangın sıklığı	10.6	8	2073.8	<0.0001	
Vejetasyon örtüsü	0.9	9	173.6	<0.0001	
YS × VÖ	0.6	14	117.9	<0.0001	
Ot					-29180
Sabit	99.9				
Yangın sıklığı	0.1	8	15.3	0.009	
Vejetasyon örtüsü	0.0	9	1.7	0.198	
YS × VÖ	0.0	14	5.9	0.319	

Çizelge 9. Çam ormanı peyzajında Meşe fonksiyonel grubunun yokluğunda, bitki fonksiyonel gruplarının farklı yangın sıklığı senaryolarında toplam başlangıç vejetasyon örtüsü ile olan ilişkisini gösteren doğrusal ve eğrisel regresyon analizi sonuçları. Toplam başlangıç vejetasyon örtüsünün, her bir fonksiyonel grubun her bir yangın sıklığı senaryosundaki etkisini gösteren birinci (b) ve ikinci (c) seviyeden regresyon katsayıları verilmiştir. Tüm analizler arc-sin dönüştürülmüş veri üzerinden gerçekleştirilmiştir. Katsayı değerlerinin standart hataları parantez içerisinde verilmiştir. Hem katsayı değerleri hem de standart hataları görsel amaçla 1000 ile çarpılarak verilmiştir. Bu analiz sonuçları, Şekil 12-15’de gösterilen verilere dayanmaktadır.

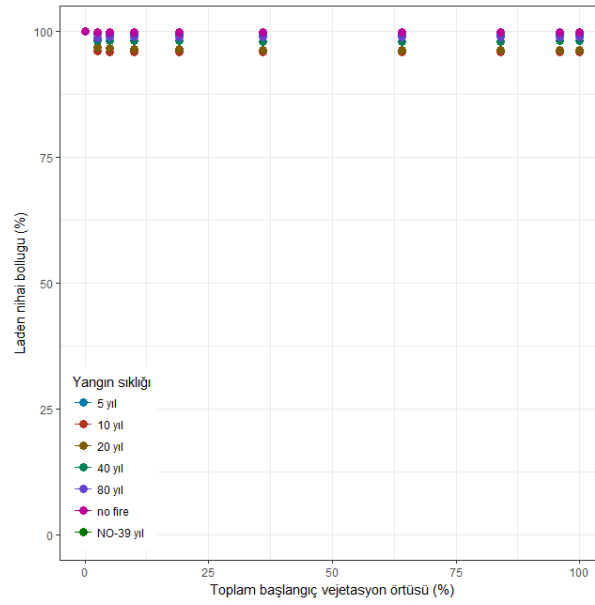
	Katsayılar		R ²	P
	b	c		
Çam				
NoFire ₁₁₉	-0.25 (0.017)	0.00 (0.000)	0.68	< 0.0001
NoFire ₃₉	-0.12 (0.014)	n/a	0.25	< 0.0001
F80	-0.78 (0.122)	0.01 (0.001)	0.17	< 0.0001
F40	-0.78 (0.113)	0.01 (0.001)	0.20	< 0.0001
F20	-1.15 (0.144)	0.01 (0.001)	0.27	< 0.0001
F10	-1.22 (0.155)	0.01 (0.002)	0.27	< 0.0001
F5	0.00 (0.001)	n/a	0.00	0.5610
Funda				
NoFire ₁₁₉	0.00 (0.000)	0.00 (0.000)	0.18	< 0.0001
NoFire ₃₉	0.00 (0.000)	n/a	0.43	< 0.0001
F80	0.01 (0.002)	0.00 (0.000)	0.25	< 0.0001
F40	0.00 (0.000)	n/a	0.04	0.001
F20	0.00 (0.000)	n/a	0.04	0.001
F10	0.00 (0.000)	0.00 (0.000)	0.15	< 0.0001
F5	0.00 (0.001)	0.00 (0.000)	0.16	< 0.0001
Laden				
NoFire ₁₁₉	0.00 (0.000)	0.00 (0.000)	0.19	< 0.0001
NoFire ₃₉	0.00 (0.000)	n/a	0.35	< 0.0001
F80	-0.01 (0.001)	0.00 (0.000)	0.18	< 0.0001
F40	-0.02 (0.002)	0.00 (0.000)	0.30	< 0.0001
F20	-0.03 (0.003)	0.00 (0.000)	0.39	< 0.0001
F10	-0.03 (0.004)	0.00 (0.000)	0.29	< 0.0001
F5	-0.01 (0.001)	0.00 (0.000)	0.36	< 0.0001
Ot				
NoFire ₁₁₉	0.00 (0.000)	n/a	0.02	0.039
NoFire ₃₉	0.00 (0.002)	n/a	0.00	> 0.05
F80	0.00 (0.000)	n/a	0.00	> 0.05
F40	0.00 (0.000)	n/a	0.01	0.209
F20	0.00 (0.000)	n/a	0.02	> 0.05
F10	0.00 (0.000)	n/a	0.00	0.269
F5	0.00 (0.000)	n/a	0.00	0.510



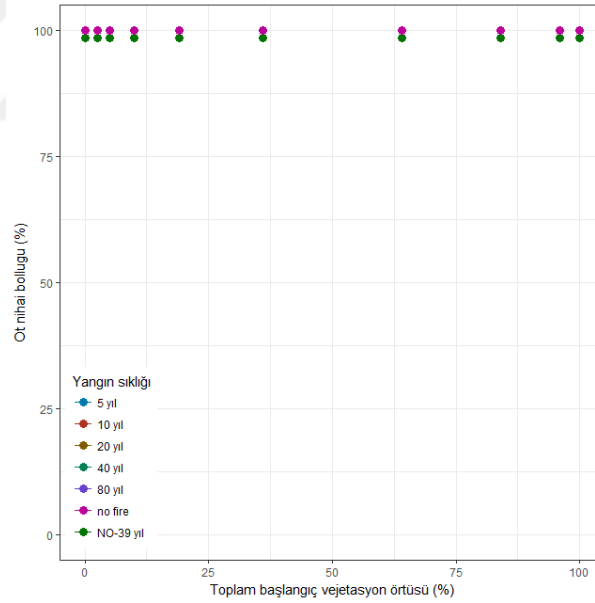
Şekil 12. Çam ormanı peyzajında Meşe fonksiyonel grubunun yokluğunda, farklı yangın sıklıkları altında toplam başlangıç vejetasyon örtüsüne göre Çam fonksiyonel grubunun nihai bollukları (kapladıkları hücre %).



Şekil 13. Çam ormanı peyzajında Meşe fonksiyonel grubunun yokluğunda, farklı yangın sıklıkları altında toplam başlangıç vejetasyon örtüsüne göre Funda fonksiyonel grubunun nihai bollukları (kapladıkları hücre %).



Şekil 14. Çam ormanı peyzajında Meşe fonksiyonel grubunun yokluğunda, farklı yangın sıklıkları altında toplam başlangıç vejetasyon örtüsüne göre Laden fonksiyonel grubunun nihai bollukları (kapladıkları hücre %).



Şekil 15. Çam ormanı peyzajında Meşe fonksiyonel grubunun yokluğunda, farklı yangın sıklıkları altında toplam başlangıç vejetasyon örtüsüne göre Ot fonksiyonel grubunun nihai bollukları (kapladıkları hücre %).

4. TARTIŞMA

Akdeniz havzasındaki vejetasyon dinamiklerinin türlerin ve fonksiyonel grupların yangından sonraki yenilenme kabiliyetlerine göre şekillenmekte olduğu bilinmektedir [19], [53], [110]. Geçmişte Akdeniz vejetasyon dinamikleri üzerine yangının etkisi konusunda yapılmış olan modelleme çalışmaları da, farklı fonksiyonel karakterlere sahip grupların incelenmesinin, bu bölgedeki vejetasyon dinamiklerini iyi bir şekilde açıklayabildiğini göstermiştir [19], [21], [101]. Bu nedenle, Akdeniz Havzası'nda fonksiyonel karakterlere ve müdahale senaryolarına dayanan vejetasyon modelleri, arazi gözlemleri ile uyumlu sonuçlar vermiştir [53], [101] .

Bu tez çalışmasından elde edilen modelleme bulguları da, geçmişteki çalışmaları desteklemiş ve yangınla ilişkili Akdeniz vejetasyonu dinamiklerinin açıklanmasında bitki fonksiyonel gruplarının kullanılmasının önemini göstermiştir. Buna ek olarak, bu tez çalışmasında, Akdeniz Havzası ekosistemleri için ilk kez, başlangıç vejetasyonun örtüsünün yangın ile birlikte vejetasyon dinamikleri üzerine etkisi olduğu saptanmış ve özellikle herdem yeşil sürgün veren bitkilerin oluşturduğu Meşe fonksiyonel grubunun, geriye kalan tüm vejetasyon bileşenleri üzerinde belirgin bir etkiye sahip olduğu bulunmuştur.

Yangının var olduğu ekosistemlerde yağış ve birincil üretimin artışının yangın aktivitesini de arttırdığını bilinmektedir [62], [111]. Akdeniz ekosistemlerinde sürgün verenler bitkiler, yangın aktivitesinin fazlalaşmasından olumlu olarak etkilenmektedir [24]. Bu ekosistemlerde, vejetasyon içerisinde sürgün veren türlerin oranı daha nemli ve üretimin yüksek olduğu ortamlarda daha fazla olmaktadır [53]. Nemli bir çevrenin, ekosistemin üretim kapasitesini arttıracak bunun da yangının büyüklüğünü şiddetini ve sıklığını arttırabilecek şekilde yanıcı madde miktarının artmasına neden olmasından kaynaklı yangın aktivitesi nemli bölgelerde artış göstermektedir [55], [62]. Bu nedenle, Akdeniz ekosistemlerinde, türlerin yangına karşı geliştirmiş oldukları uyarlanmalar (sürgün verme, tohumla yenilenme), bu türlerin vejetasyon dinamikleri süresince başarılarını belirleyen en önemli olgulardır ve bu ekosistemlerde işleyen süreçleri anlamak için dikkate alınması son derece önemlidir [112], [113].

Akdeniz havzasında çam ormanlarıyla yapılmış olan arazi temelli araştırmalarda [114]–[117] ve modelleme çalışmalarında [20], [21] en sık kullanılan tür Avrupa'daki

geniş yayılışı sebebiyle de *Pinus halepensis* (Halep çamı) olmuştur. Bu nedenle, bu tez çalışmada kullanılan türün *Pinus brutia* (Kızılçam) olması, bu türle ilgili ilk uzun dönemli vejetasyon modeli çalışması olması sebebiyle önem arz etmektedir. *P. brutia* Akdeniz havzasının doğusunda yangına eğilimli ekosistemlerde geniş bir yayılışa sahip bir türdür [118] ve Türkiye’de de ormanlarının %20’sini oluşturan yaklaşık 4 milyon hektarlık alanı kaplamaktadır. Her ne kadar *P. brutia* *P. halepensis* ile benzer iklimsel kuşağında yetişse de (sıcak ve kurak bir yaz; nemli ve ılıman bir kış iklimi), *P. brutia* nemli bölgelerde daha fazla, kurak bölgelerde daha az yayılım göstermesinden dolayı daha fazla yağış isteyen bir tür olduğu belirtilmiştir [118]. *P. brutia*, *P. halepensis*’e göre daha uzun ömürlü [118], daha uzun, serotinlik seviyesi daha düşük ve kabuğu daha kalın bir türdür (Kazancı, Tavşanoğlu ve Pausas, yayınlanmamış veri). Vejetasyon içerisinde bolluğunun düştüğü dönemler olsa da [119], daha uzun ömürlü oluşları (yaklaşık 150 yıl) 100 yıllık bir süre içerisinde vejetasyonda bolluk açısından avantaj sağlamaktadır [53].

Ormancılık açısından en iyi ve güçlü *P. brutia* ormanlarının güneşten çok gölgenin hâkim olduğu yerlerde yetiştiği belirtilmiştir [118] (Zech ve Çepel, 1972; [121]de belirtildiği şekliyle). Yangından sonra hemen fide vermeye başlayabilse de yangın olmadan da yenilenebilmektedir [118]. Fidelerinin kök uzunluğu 5-6 ay gibi kısa bir süre içerisinde 65 cm’e ulaşabilmektedir [120]. Olağanüstü kısa bir juvenil evreye sahip *P. brutia* 2 yılda çiçek vermeye başlayıp, 4-6 yıl içinde kozalak gelişimine başlayabilmektedir [121]. Bununla birlikte, *P. brutia* bireyleri ormanı yenileyebilecek bir kozalak birikimine 15 yıldan önce ulaşmamaktadır. *P. brutia* yangın sonrası yenilenme için kozalaklarına bağlı bir türdür. Tohumla yenilenen çam türlerinin oluşturduğu ormanlarındaki yangın sonrası süksesyonda, yangın sonrası tohumla yenilenme ve yangın sonrası sürgün verme gibi fonksiyonel gruplandırmanın, Akdeniz havzasında vejetasyonu sınıflandırmak için uygun bir yöntem olduğu gösterilmiştir [53], [114], [122]. Yangın sonrasında tohumla yenilenen bir tür olan *Pinus brutia*, bu tez çalışmasında incelenen diğer tohumla yenilenen türlerden, tohum bankasının konumu itibari ile ayrılmaktadır. *P. brutia*’da tohumlar toprakta değil kozalakta saklanmaktadır (tepe tohum bankası), bu nedenle yangın sırasında kozalaklar içerisinde kalan tohumlar yangının öldürücü sıcaklık etkisinden korunabilmektedirler. Diğer tohumla yenilenen Laden ve Funda fonksiyonel grupları

ise tohumlarını toprakta biriktirmekte (toprak tohum bankası) ve yangın sonrası sıcaklık ve dumanın ortaya çıkışı bu tohumların çimlenmesini uyarmaktadır.

Bu tez çalışmasındaki modellemelerde *Pinus brutia*'yı temsil eden Çam fonksiyonel grubu, yangın sıklığının artışıyla olumsuz olarak etkilenmiş, ancak 120 yıl boyunca yangının olmadığı senaryonun sonunda en yüksek bolluk değerlerine sahip olmuştur. Çam grubu, yangının olmadığı senaryoda yüksek vejetasyon örtüsü koşulunda dahi %70 bolluğa ulaşmıştır. Çam, yangın sıklığının artışıyla ilgili olarak vejetasyondan silinmeye başlamıştır. Bu bulgular, daha sık yangınların görüldüğü ortamlarda Çam fonksiyonel grubunda yer alan türlerin yangına karşı geliştirmiş olduğu serotinitik ve tohumla yenilenebilme uyarlanmalarına rağmen, peyzaj içerisinde çok seyrek bir şekilde yer alacakları anlamına gelmektedir. Çam fonksiyonel grubunun 5 yılda bir 10 yılda bir yangın frekansına sahip senaryolarda ortamda rekabet olmamasına karşın vejetasyondan tamamen silindiği görülmüştür. Çam grubunda yer alan çam türlerinin fideleri hızlı gelişim gösterebilir ve üreme olgunluğuna erişme yaşları düşük olsa da, populasyondaki bireylerin kendilerini yenileyebilecek bir tohum birikimine sahip olmaları 15-20 yılda gerçekleşebilmektedir. Bu süreden önce yangın gibi ekolojik bir müdahale geçirdikleri takdirde, çam ormanındaki bireyler, kendilerinin yerlerine gelecek yeteri kadar yeni birey oluşturamadan ölümler vejetasyonu çalı ve otsu türlerin hakim olduğu çalılık ve çayırılara bırakılmaktadırlar [123]. Çam'ın yangın ve Meşe'nin peyzajda olmadığı senaryoda peyzajın tamamına yayılabilmesi, bu grubun ortamda sürgün veren türler ile rekabetten ve yüksek yangın sıklığıyla olumsuz olarak etkilendiğini açık bir şekilde göstermiştir.

Sürgün veren türlerin Akdeniz vejetasyonu içerisinde, diğer türlere göre uzun ömür uzunlukları, yüksek yenilenebilme yeteneklerinin yangın şartı aramaması bu kadar başarılı olmasını kılın özellikler arasındadır. Bu çalışmada da sürgün veren fonksiyonel grupların başarılı olmasını sağlayan nedenlerden birisi budur. Ot, Funda ve Meşe sürgün veren fonksiyonel gruplar arasındadır. Ancak bu tez çalışmasındaki modelleme senaryolarında, bu gruplar arasından en başarılısı Meşe grubu olmuştur. Bunun sebepleri arasında Meşe'nin yüksek ömür uzunluğu (>200 yıl), yüksek gölge toleransı yenilenme yeteneğinin yangına bağımlı olmayışı (sürgün verebilme) ve vejetasyonda yüksek katlara ulaşabilmesi (boy yüksekliği) gösterilebilir. Tohumla yenilenen fonksiyonel gruplarda yer alan türler ise sürgün

verme yeteneğine sahip değildir ve toprak tohum bankası dışında bir yenilenme mekanizmaları olmadığından yenilenme yetenekleri yangına bağımlıdır. Bu gruplardaki (Laden, Funda) türler 15-20 yıl içerisinde vejetasyonu hızlıca kaplasa da, sürgün veren türlerin vejetasyona yerleşmesiyle birlikte, gölgeye karşı toleranssız olduklarından vejetasyon örtüşlerinde düşüş başlamaktadır.

Meşe fonksiyonel grubunun yangın sıklığı artsa da peyzaj içerisinde diğer fonksiyonel gruplar kadar bundan etkilenmediği görülmüştür. Vejetasyon örtüsünün Funda, Laden ve Ot üzerindeki olumsuz etkilerinin ortaya çıkması, Meşe ile girdikleri rekabet ile ilişkili olduğu anlaşılmaktadır. Çünkü çam ormanı peyzajında ve maki çalılığı peyzajında bu üç fonksiyonel grubun bollukları vejetasyon örtüsünün artışıyla azalırken, Meşe'nin olmadığı çam ormanı senaryosunda bu gruplar vejetasyon örtüsünden etkilenmemişlerdir. Hatta Meşe'nin olmadığı senaryolarda Laden, Funda ve Ot tüm yangın sıklıklarında peyzajın tamamına yayılabilmektedir. Benzer şekilde, Çam fonksiyonel grubunun nihai bolluğunda da Meşe'nin olmadığı çam ormanı senaryosunda, Meşe'nin de olduğu çam ormanı senaryosuna göre bir artış olduğu görülmüştür. Bu bulgular, modellenen Akdeniz ekosisteminde rekabette en başarılı türlerin Meşe fonksiyonel grubuna ait türler olduğunu önermektedir. Bu sonuçlar literatürdeki arazi gözlemleriyle de örtüşmektedir [81], [95]. Ayrıca, benzer bir modelleme çalışmasında farklı yangın rejimlerinin *Quercus* ve diğer çalılardan oluşan bir vejetasyonu Meşe'nin var olmadığı bir çalı vejetasyonuna çeviremeyeceği, ancak kuraklık gibi bir faktörün de dâhil olmasıyla bu dönüşümün gerçekleşebileceği belirtilmiştir [124]. Benzer şekilde, Çam -Meşe karışık ormanlarından dominansinin büyük ölçüde ortamda suya ulaşılabilirlik seviyesine bağlı olduğu, ancak ormanın tepe tabakasının müdahaleden sonra kapanmasının da bu dominansiye etkileyebileceği belirtilmiştir [125].

Modelleme çıktıları, Funda ve Laden fonksiyonel gruplarının, yangın sıklığı ve vejetasyon örtüsü miktarına benzer cevaplar verdiğini göstermiştir. Her ne kadar Funda grubu yangından sonra fakültatif sürgün verme yeteneğine sahip türlerden (hem sürgünle hem tohumla yenilenme) oluşsa da, *Erica manipuliflora* ve *Sarcoterium spinosum* gibi bu türler 15-40 yıl arasında ömür uzunluğuna sahiptir [101], [126]. Bu nedenle, görece kısa ömür uzunlukları bu türlerin vejetasyon içerisinde yangın sonrası dönemde dominant oldukları bir aralığın olmasına ancak daha sonradan düşüş yaşayarak vejetasyondaki rollerinin azalmasına yol

açmaktadır [53]. Laden fonksiyonel grubu ise yangından sonra sürgün verme yetenekleri olmadığından zorunlu olarak tohumla yenilenen türlerden oluşmaktadır. Bu türlerin Funda grubundaki türler gibi ömür uzunluğu görece düşüktür (<15 yıl). Bu iki grupta (Funda ve Laden), artan yangın sıklığı bu türlere yangından sonra bir fırsat yaratmakta ve alanı domine etmelerini sağlamaktadır. Ancak vejetasyon örtüsünün artması, bu iki fonksiyonel grubun başarısının düşmesine yol açmıştır. Yangının 5 ve 10 yıllık aralıklarla gerçekleştiği senaryolarda Laden grubunun peyzajı domine ettiği yönündeki bulgular, yangından sonraki ilk 5 yılda başlayarak 10-15 yıl boyunca *Cistus* türlerinin vejetasyonda hâkim olması ve sonrasında bolluk ve örtüşlerinde azalma görülmesi yönündeki arazi gözlemiyle de örtüşmektedir [53], [114], [127], [128]. Meşe'nin olmadığı senaryolarda Laden ve Funda grubunun peyzajda %100' yaklaşan bolluklara ulaşması da, bu grupta yer alan türlerin ışık ve diğer kaynakların etkin bir şekilde kullanımını engelleyecek rekabetçi herdem yeşil sürgün veren türlerin olmaması sayesinde gerçekleşmiştir.

Yangın sıklığı azaldıkça ve vejetasyon örtüsü arttıkça simülasyon sonundaki bolluğu düşen Ot fonksiyonel grubunun yangın sıklığının artması ve vejetasyon örtüsünün azalmasından pozitif olarak etkilendiği görülmüştür. Bu durum, sürgün veren çok yıllık otsu Poaceae türlerinin, çok sık yangınların olduğu ve sürgün veren çalıların olmadığı ortamlarda vejetasyonda hâkim duruma geçebileceğini önermektedir. Ayrıca Ot'un nihai bolluğunda Çam'ın peyzajda var olmadığı maki çalılığı senaryolarında, çam ormanı senaryolarına göre bir miktar artış görülmüştür. Bunun nedeni de çam ormanının alt tabakasında Laden ve Funda gruplarının vejetasyon dinamiği sonunda azalması neticesinde Ot için daha az rekabet olmasıdır.

Meşe'nin rekabet ve ekolojik müdahaleler altında son derece başarılı bir grup olmasından kaynaklı olarak, Meşe'nin olmadığı senaryolarda diğer grupların başarılarının arttığı görülmüştür. Funda, Laden ve Ot tüm yangın sıklıklarında peyzajın tamamına yayılabilmektedir.

Yangına karşı geliştirmiş oldukları adaptasyonlar farklı olsa da artan yangın frekansı bu türlere yangından sonra bir fırsat yaratmakta ve alanı domine etmelerini sağlamaktadır. Ancak vejetasyonun kapalılığı arttıkça bu fonksiyonel grupların da başarısı düşmüştür. 5 ve 10 yıllık yangın sıklıklarına sahip yangın rejimi içeren vejetasyonun Laden grubunun domine etmesi, yangından sonraki 5 yıl içerisinde başlayarak 10-15 yıl boyunca Laden türlerinin domine edilmesi sonrasında azalma

görülmesi gözlemiyle örtüşmektedir [73], [114], [127]. Çünkü Laden türlerinin simulasyonda olduğu gibi ışık ve kaynak kullanımını engelleyecek rekabetçi türlerin olmaması bu türlerin güçlü ve geniş bir yayılım göstermesini sağlamaktadır.

Çam ormanı vejetasyonundan maki çalılığı peyzajına dönüşün diğer fonksiyonel gruplar üzerinde büyük bir etkiye sahip olmamıştır. Bunda Çam'ların bir arada değilde aralıklı olmalarının etkisi olmuş olabilir.

Bu tez çalışmasında elde edilen bulgular FATELAND ile yapılmış önceki çalışmalar ile [20], [21] karşılaştırıldığında, Meşe bolluğunun Çam bolluğu üzerine etkisi açısından benzerlikler göstermektedir. Bununla birlikte, daha önce yapılan modelleme çalışmaları ile Çam bolluğu açısından tek fark yüksek sıklıkta yangın olduğunda (5 yıl, 10 yıl ve 20 yılda bir yangın) bu tez çalışmasında elde ettiğimiz bulgularda Çam peyzajdan kaybolurken, önceki çalışmada Çam yangın sıklığından olumsuz yönde etkilense de peyzajdan tamamen kaybolmamıştır [20]. Bunun temel sebebi, önceki çalışmalarda üreme olgunluğuna erişmemiş olan fidelerin de peyzajdaki hücrelerde sayılması, ancak bu tez çalışmasında yalnızca olgun bireylerin varlığının dikkate alınmasıdır. Bu şekilde bir model ayarlamasının, vejetasyon durumlarını karşılaştırırken daha faydalı olabileceği ve gerçekte görülen durumu daha iyi yansıtabileceği düşünülmektedir. Ayrıca, Çam'ın simulasyon başındaki peyzajdaki yayılış örüntüsünün de simulasyonun sonundaki Çam bolluğunu etkilemektedir [20]. Yani, kaba taneli bir peyzaj yapılanması, ince taneli bir peyzaj yapılanmasına göre Çam'ın peyzajdaki uzun dönemli varlığını yangın ve rekabete karşı daha iyi koruyabilmektedir. Bu tez çalışmasındaki başlangıç yayılış örüntüsü "rasgele" olarak seçildiğinden, Çam bireylerinin peyzajın bir bölümünde sık bir alansal yapılanması söz konusu değildir. Bu durum da, bu tez çalışmasındaki bulgularda Çam'ın nihai bolluğunun daha önce yapılmış olan diğer modellerden görece az olarak ortaya çıkmasına katkı yapmış olabilir. Çam ormanı vejetasyonundan maki çalılığı peyzajına dönüşün diğer fonksiyonel gruplar üzerinde büyük bir etkiye sahip olmamasının sebeplerinden birisi de bu olabilir. Çünkü sık bir yapılanmaya sahip çam ormanı yüksek katmanlı bir örtü oluşturmakta, bu da çam ormanının alt tabakalarına ulaşan ışık miktarının az olmasına neden olarak diğer türlerin ormanın içine doğru girişini ve yerleşmesini zorlaştırmaktadır [20].

Pinus türleri, Akdeniz Havzası'nda yapılan ağaçlandırma çalışmalarında en çok kullanılan türler arasında yer almaktadır [42], [129] Bununla birlikte, Akdeniz

ekosistemlerinin restorasyonu ve rejenerasyonu için yapılan çalışmalarda sadece çam türlerinin kullanılması bir eksiklik ve başarısızlığa yol açmaktadır. Çünkü çamlar her koşulda ekolojik müdahalelere ayak uydurma konusunda tam başarı sağlayamamaktadır [42]. Özellikle, ağaçlandırma yapılması durumunda, *Pinus* türlerinin dışında yeniden sürgün veren *Quercus* türlerinin de kullanılması ile, çamların hızlı yenilenme yeteneklerinin yanına yüksek yenilenme yeteneğine sahip meşeler eklenerek vejetasyonda fonksiyonel bir çeşitlilik ortaya çıkarma ve ekolojik müdahaleler sonrasında daha iyi bir şekilde toparlanabilir vejetasyon yaratmak mümkündür [130].

Akdeniz havzası ekosistemleri insan ve yangın etkisiyle Yerküre üzerinde orijinaline göre en çok değişim gösteren ekosistemler arasındadır [67], [118]. Orman ekosistemlerinin sürekli değişim ve dönüşüm halinde olmasından dolayı, asla nihai bir durumunun olmadığı belirtilmiştir [131]. İnsan ve yangın etkisiyle değişim geçiren *P. brutia* ormanları da farklı yenilenme yönlerine doğru ilerleyebilmektedir. *P. brutia* ormanları sık yangınların ya da kesimlerin olduğu durumlarda makilikler tarafından işgal edilmekte ve karışık ormanlara dönüşmektedir [118]. Alternatif kararlı durum teorisi, farklı komünitelerin yapılarının birbiri arasında geçiş yapması ve bunu etkileyen çevresel etmenleri inceler [132]. Yağış miktarı yangının tekrarlanma sayısını etkileyerek vejetasyonlar arasında geçişi etkilemektedir. Yağış miktarı az iken, yangın ağaç örtüşünü düşük miktarda etkilerken, orta derecede yağışta (1000 – 2000 mm) yangının etkisiyle ormanlardan savanlara doğru bir geçiş olmaktadır. Yüksek yağış miktarında ise yangının nadir olmasıyla ormanların baskınlığı ortaya çıkmaktadır [133]. Serengeti'de savanlar üzerinde yapılmış bir çalışmada, fillerin tek başına savanların azalmasının sorumlusu olmadığı ancak yangınla birlikte savanların çayır vejetasyonuna dönüşümüne neden olduğu bulunmuştur [134]. Yangının tekrarlanma sayısındaki artışın savanlardaki ağaç ve çalılıkların yoğunluğunda azalmaya neden olduğu, fillerin de vejetasyonun çayır durumunda kalmasını sağladığı anlaşılmıştır [134].

Yangının vejetasyon durumlarını etkilediği en çarpıcı örnek tropikal bölgelerdeki savan ve orman ekosistemleridir. Savanlar ile orman ekosistemleri arasındaki temel fark savanların daha sık, ormanların daha nadir yanmasıdır. Bunda ormanların sürgün vermeyen türler tarafından, savanların ise sürgün veren türler tarafından domine edilmesinin etkisi büyüktür [135]. Buna ek olarak ormanlarda yetişen otsu

bitkiler, savanlarda yetişenlere göre daha az yanıcı madde içermektedir. Nadir olsa da kurak dönemlerde ormanların nem oranı düştüğünde yangına daha elverişli olmasıyla yangın sonrasında bir savan vejetasyonuna dönüşebilmektedir [135]. Savanlar ise yalnızca bol yağış alan bir dönemden sonra, sürgün veremeyen türlerin alana geçişiyle ormana dönüşebilmektedir [135]. Ekolojik müdahalelerin alternatif vejetasyon durumlarını açıklamaya önemli ölçüde yardımcı oldukları artık kanıtlanmıştır [136]. Bu tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen modellemelerin sonunda, farklı yangın sıklıklarında farklı nihai vejetasyon yapılarının ortaya çıktığı görülmüştür. Yüksek yangın sıklıklarında (5 yılda bir, 10 yılda bir ve 20 yılda bir) peyzaj Meşe, Laden, Funda ve Ot gibi hızlı yenilenebilen fonksiyonel grupların hâkim olduğu vejetasyonla kaplanmaktadır. Çam ormanları 40 yıldan yüksek yangın sıklıklarında peyzajdan silinmektedir. Çam fonksiyonel grubunun yüksek yangın sıklığında vejetasyondan silinmesiyle maki çalılığı vejetasyonuna doğru bir dönüşüm görülmektedir. Yangının olmadığı uzun dönemli senaryolarda Laden, Funda ve Ot gibi grupların bolluğunda ciddi oranda bir azalma görülmektedir ve bu nedenle yangının olmadığı senaryolarda çam – meşe karışık ormanları oluşmaktadır. Bu tez çalışması, alternatif vejetasyon durumları açısından bitki türleri arasındaki rekabetin de önemli olabileceğini göstermiştir. Özellikle Meşe grubunun olmadığı başlangıç vejetasyon durumlarında, diğer fonksiyonel grupların çok daha yüksek nihai bolluk değerlerine ulaşması, türlerin etkileşiminin de vejetasyon durumlarının incelenmesi sırasında dikkate alınması gerektiği yönünde bir çıkarım sağlamaktadır.

İklimsel modellerin sonuçları ve yakın geçmişe dönük yapılan çalışmalar Akdeniz havzasında yangın sıklığının artacağını göstermektedir [137]. Son 30 yılda İber yarımadasında çıkan yangın sayısında artış görülmüştür [138]. Bu bölgede, yangınların başlaması insan kaynaklı olsa da, iklimsel değişimlerin yıllık yanan alanların üzerinde etkili olduğu bulunmuştur [138]. Küresel iklim değişimiyle birlikte maki çalılıklarında yangının ortalama 20 yıldan 16 yıla, ormanlarda 72 yıldan 62 yıla kadar inebileceği, yangın sıklığındaki artışın peyzajları maki çalılıklarının domine edeceği yönde değiştireceği öngörülmektedir [110]. Bu tez çalışması kapsamında kızılçam ormanlarının 40 yıldan sık yangın senaryolarında çamların bolluğunda ciddi bir düşüş olduğu, 5 ya da 10 yılda bir yangın olduğunda ise çamların vejetasyondan tamamen silindiği gözlemlenmiştir. Özellikle orman yapısında maki

çalılıklarıyla bir arada bulunan çamların daha sık yangına maruz kalması hem çam fidelerinin yeterince gelişemeden ya da kozalak oluşturmamadan yok olmasına neden olup hem de çalı türleri ile rekabet edememelerine neden olacaktır. Bu ise çam ormanı vejetasyonuna büyük ölçüde zarar verebilecektir.



KAYNAKÇA

- [1] Bastian, O., Landscape Ecology–towards a unified discipline?, *Landscape Ecology*, 16, 8, 757-766, **2001**.
- [2] Turner, Monica G., Robert H. Gardner, Robert V. O'Neill. *Landscape ecology in theory and practice*. Vol. 401. New York: Springer, **2001**.
- [3] Forman, R. T. T., Some general principles of landscape and regional ecology, *Landscape Ecology*, 3, 133–142, **1995**.
- [4] Dale, M.R.T., *Spatial Pattern Analysis in Plant Ecology*., Cambridge University Press, **2001**.
- [5] Odum, E.P., Barrett, G.W., *Fundamentals of Ecology*, The National Academies Press, **1971**.
- [6] Whittfeld, T. J. S., Kress, W. J., Erickson, D. L., Weiblen, G. D., Change in community phylogenetic structure during tropical forest succession: evidence from New Guinea, *Ecography*, 35, 9, 821–830, **2012**.
- [7] Kraft, N. J., Adler, P. B., Godoy, O., James, E. C., Fuller, S., Levine, J. M., Community assembly, coexistence and the environmental filtering metaphor, *Functional Ecology*, 29, 5, 592-599, **2015**.
- [8] Mouquet, N., Loreau, M., Community patterns in source-sink metacommunities, *The American Naturalist*, 162, 5, 544-557, **2003**.
- [9] Logue, J. B., Mouquet, N., Peter, H., Hillebrand, H., Metacommunity Working Group, Empirical approaches to metacommunities: a review and comparison with theory. *Trends in Ecology & Evolution*, 26, 9, 482-491, **2011**.
- [10] Resetarits, E. J., Cathey, S. E., Leibold, M. A., Testing the keystone community concept: effects of landscape, patch removal, and environment on metacommunity structure, *Ecology*, 99, 1, 57-67, **2018**.
- [11] Cadotte, M. W., Tucker, C. M., Should environmental filtering be abandoned?, *Trends in Ecology & Evolution*, 32, 6, 429-437, **2017**.
- [12] Baker, W. L., A review of models of landscape change, *Landscape Ecology*, 2, 2, 111-133, **1989**.
- [13] Roberts, D. W., Landscape vegetation modelling with vital attributes and fuzzy systems theory, *Ecological Modelling*, 90, 2, 175-184, **1996**.
- [14] Pausas, J. G., Fernández-Muñoz, S., Fire regime changes in the Western Mediterranean Basin: from fuel-limited to drought-driven fire regime, *Climatic Change*, 110, 1-2, 215-226, **2012**.
- [15] Dunning, J. B., Stewart, D. J., Danielson, B. J., Noon, B. R., Root, T. L., Lamberson, R. H., Stevens, E. E., Spatially explicit population models: current forms and future uses, *Ecological Applications*, 5, 1, 3-11, **1995**.
- [16] Perry, G. L., Millington, J. D., Spatial modelling of succession-disturbance dynamics in forest ecosystems: Concepts and examples, *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 9, 3-4, 191-210, **2008**.
- [17] Pausas, J. G., Ramos, J. I., Landscape analysis and simulation shell (LASS), *Environmental Modelling & Software*, 21, 5, 629-639, **2006**.

- [18] Pausas, J. G. Modelling fire-prone vegetation dynamics. *Fire Management and Landscape Ecology. Int. Ass. Wildland Fire*, 327-334 **1998**.
- [19] Pausas, J. G., Mediterranean vegetation dynamics: modelling problems and functional types, *Plant Ecology*, 140, 1, 27-39, **1999**.
- [20] Pausas, J. G., Simulating Mediterranean landscape pattern and vegetation dynamics under different fire regimes, *Plant Ecology*, 187, 2, 249-259, **2006**.
- [21] Pausas, J. G., Lloret, F., Spatial and temporal patterns of plant functional types under simulated fire regimes, *International Journal of Wildland Fire*, 16, 4, 484-492, **2007**.
- [22] Pausas, J. G., Lloret, F., Vila, M., Simulating the effects of different disturbance regimes on *Cortaderia selloana* invasion, *Biological Conservation*, 128, 1, 128-135, **2006**.
- [23] Pausas J. G., Vallejo R., Ecological bases for coexisting with forest fire in the Mediterranean Region - Decalogue, *Ecosistemas*, 17, 2, **2008**.
- [24] 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, NewYork, NY, US, **2012**.
- [25] Keeley, J. E., Fire in mediterranean climate ecosystems—a comparative overview, *Israel Journal of Ecology & Evolution*, 58, 123–135, **2012**.
- [26] Bradshaw, S. D., Dixon, K. W., Hopper, S. D., Lambers, H., Turner, S. R., Little evidence for fire-adapted plant traits in Mediterranean climate regions, *Trends in Plant Science*, 16, 2, 69-76, **2011**.
- [27] Pausas, J. G., Pratt, R. B., Keeley, J. E., Jacobsen, A. L., Ramirez, A. R., Vilagrosa, A., ... & Davis, S. D. (2016). Towards understanding resprouting at the global scale. *New Phytologist*, 209(3), 945-954 **2016**.
- [28] Tavşanoğlu Ç., Pausas, J.G., A functional trait database for Mediterranean Basin plants, *Scientific Data, baskıda*, **2018**.
- [29] Lamont, B. B., Downes, K. S., Fire-stimulated flowering among resprouters and geophytes in Australia and South Africa, *Plant Ecology*, 212, 12, 2111-2125, **2011**.
- [30] Ergen, G., *Akdeniz bitkilerinin yangınla olan ilişkisinin incelenmesi ve yangın efemerallerinin tespiti*, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, **2017**.
- [31] Baskin, C. C., & Baskin, J. M *Seeds: ecology, biogeography, and, evolution of dormancy and germination* (2nd ed.) Elsevier **2014**.
- [32] 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**.
- [33] Tavşanoğlu, Ç., Ergen, G., Çatav, Ş. S., Zare, G., Küçükakyüz, K., Özüdoğru, B., Multiple fire-related cues stimulate germination in *Chaenorhinum rubrifolium* (Plantaginaceae), a rare annual in the Mediterranean Basin, *Seed Science Research*, 27, 1, 26-38, **2017**.

- [34] Neyişçi, T., Ecological adaptive traits of *Pinus brutia* Ten. to fires, *Uluslararası Kızılçam Sempozyumu*, 18-23 Ekim, Marmaris, **1993**.
- [35] Hernández-Serrano, A., Verdú, M., González-Martínez, S. C., Pausas, J. G., Fire structures pine serotiny at different scales, *American Journal of Botany*, 100, 12, 2349-2356, **2013**.
- [36] Lamont, B. B., Le Maitre, D. C., Cowling, R. M., Enright, N. J., Canopy seed storage in woody plants, *The Botanical Review*, 57, 4, 277-317, **1991**.
- [37] He, T., Lamont, B. B., Downes, K. S., Banksia born to burn, *New Phytologist*, 191, 1, 184-196, **2011**.
- [38] Pausas, J. G., Keeley, J. E., A burning story: the role of fire in the history of life, *BioScience*, 59, 7, 593-601, **2009**.
- [39] Schwilk, D. W., Ackerly, D. D., Flammability and serotiny as strategies: correlated evolution in pines, *Oikos*, 94, 2, 326-336, **2001**.
- [40] Catry, F. X., Moreira, F., Pausas, J. G., Fernandes, P. M., Rego, F., Cardillo, E., Curt, T., Cork oak vulnerability to fire: the role of bark harvesting, tree characteristics and abiotic factors. *PLoS One*, 7, 6, **2012**.
- [41] Fernandes, P. M., Vega, J. A., Jimenez, E., Rigolot, E., Fire resistance of European pines, *Forest Ecology and Management*, 256, 3, 246-255, **2008**.
- [42] Pausas, J. G., Llovet, J., Rodrigo, A., Vallejo, R., Are wildfires a disaster in the Mediterranean basin?—A review, *International Journal of Wildland Fire*, 17, 6, 713-723, **2009**.
- [43] Bond, W. J., Woodward, F. I., Midgley, G. F., The global distribution of ecosystems in a world without fire, *New Phytologist*, 165, 2, 525-538, **2005**.
- [44] Pausas, J. G., Alessio, G. A., Moreira, B., Corcobado, G., Fires enhance flammability in *Ulex parviflorus*, *New Phytologist*, 193, 1, 18-23, **2012**.
- [45] Moreira, B., Castellanos, M. C., Pausas, J. G., Genetic component of flammability variation in a Mediterranean shrub, *Molecular Ecology*, 23, 5, 1213-1223, **2014**.
- [46] Pérez-Harguindeguy, N., Díaz, S., Garnier, E., Lavorel, S., Poorter, H., Jaureguiberry, P., Bret-Harte, M. S., Cornwell W. K., Craine, J. M., Gurvich, D. E., Urcelay, C., Veneklaas, E. J., Reich P. B., Poorter L., Wright I. J., Ray, P., Enrico, L., Pausas, J. G., de Vos A. C., Buchmann, N., Funes, G., Quétier, F., Hodgson J. G., Thompson, K., Morgan H. D., ter Steege H., van der Heijden, M. G. A. Sack, L., Blonder, B., Poschlod, P., Vaieretti M. V., Conti, G., Staver, A. C., Aquino, S., Cornelissen, J. H. C., New handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide. *Australian Journal of botany*, 61(3), 167-234. **2013**.
- [47] Díaz, S., Cabido, M., Vive la difference: plant functional diversity matters to ecosystem processes, *Trends in Ecology & Evolution*, 16, 11, 646-655, **2001**.
- [48] Kattge, J., Diaz, S., Lavorel, S., Prentice, I. C., Leadley, P., Bönisch, G., Garnier, E., Westoby, W., Reich, P. B., Wright, I. J., Cornelissen, J. H. C., Violle, C., Harrison, S. P., Van Bogaard, P. M., Enquist, B. J.,

- Soudzilovskaia, N. A., Ackerly, D. D., Anand, M., Atkin, O., Bahn, M., Baker, T. R., Baldocchi, D., Bekker, R., Blanco, C. C., Blonder, B., Bond, W. J., Bradstock, R., Bunker, D. E., Casanoves, F., Cavender-Bares, J., Chambers, J. Q., Chapin, F. S., Chave, J., Coomes, D., Cornwell, W. K., Craine, J. M., Dobrin, B. H., Duarte, L., Durka, W., Elser, J., Esser, G., Estiarte, M., Fagan, W. F., Fang, J., Fernández-Méndez, F., Fidelis, A., Finegan, B., Flores, O., Ford, H., Frank, D., Freschet, G. T., Fyllas, N. M., Gallagher, R. V., Green, W. A., Gutierrez, A. G., Hickler, T., Higgins, S. I., Hodgson, J. G., Jalili, A., Jansen, S., Joly, C. A., Kerkhoff, A. J., Kirkup, D., Kitajima, K., Kleyer, M., Klotz, S., Knops, J. M. H., Kramer, K., Kühn, I., Kurokawa, H., Laughlin, D., Lee, T. D., Leishman, M., Lens, F., Lenz, T., Lewis, S. L., Lloyd, J., Llusià, J., Louault, F., Ma, S., Mahecha, M. D., Manning, P., Massad, T., Medlyn, B. E., Messier, J., Moles, A. T., Müller, S. C., Nadrowski, K., Naeem, S., Niinemets, Ü., Nöllert, S., Nüske, A., Ogaya, R., Oleksyn, J., Onipchenko, V. G., Onoda, Y., Ordoñez, J., Overbeck, G., Ozinga, W. A., Patiño, S., Paula, S., Pausas, J. G., Peñuelas, J., Phillips, O. L., Pillar, V., Poorter, H., Poorter, L., Poschlod, P., Prinzing, A., Proulx, R., Rammig, A., Reinsch, S., Reu, B., Sack, L., Salgado-Negret, B., Sardans, J., Shiodera, S., Shipley, B., Siefert, A., Sosinski, E., Soussana, J. F., Swaine, E., Swenson, N., Thompson, K., Thornton, P., Waldram, M., Weiher, E., White, M., White, S., Wright, S. J., Yguel, B., Zaehle, S., Zanne, A. E., Wirth, C., TRY—a global database of plant traits, *Global Change Biology*, 17, 9, 2905-2935, **2011**.
- [49] Díaz, S., Cabido, M., Zak, M., Martínez Carretero, E., Aranibar, J., Plant functional traits, ecosystem structure and land-use history along a climatic gradient in central-western Argentina, *Journal of Vegetation Science*, 10, 5, 651-660, **1999**.
- [50] Garnier, E., Lavorel, S., Ansquer, P., Castro, H., Cruz, P., Dolezal, J., Eriksson, O., Fortunel, C., Freitas, H., Golodets, C., Grigulis, K., Jouany, C., Kazakou, E., Kigel, J., Kleyer, M., Lehsten, V., Lepš, J., Meier, T., Pakeman, R., Papadimitriou, M., Papanastasis, V. P., Quested, H., Quétier, F., Robson, M., Roumet, C., Rusch, G., Skarpe, C., Sternberg, M., Theau, J. P., Thébault, A., Vile, D., Zarovali, M. P., Assessing the effects of land-use change on plant traits, communities and ecosystem functioning in grasslands: a standardized methodology and lessons from an application to 11 European sites, *Annals of Botany*, 99, 5, 967-985, **2006**.
- [51] Cornelissen, J. H. C., Lavorel, S., Garnier, E., Diaz, S., Buchmann, N., Gurvich, D. E., Reich, P. B., ter Steege, H., Morgan, H. D., van der Heijden, M. G. A., Pausas, J. G., Poorter, H., A handbook of protocols for standardised and easy measurement of plant functional traits worldwide, *Australian Journal of Botany*, 51, 4, 335-380, **2003**.
- [52] Keith, D. A., Holman, L., Rodoreda, S., Lemmon, J., Bedward, M., Plant functional types can predict decade-scale changes in fire-prone vegetation, *Journal of Ecology*, 95, 6, 1324-1337, **2007**.
- [53] Tavşanoğlu, Ç., Gürkan, B., Long-term post-fire dynamics of co-occurring woody species in *Pinus brutia* forests: the role of regeneration mode, *Plant Ecology*, 215, 3, 355-365, **2014**.
- [54] Lavorel, S., Ecological diversity and resilience of Mediterranean vegetation to disturbance, *Diversity and Distributions*, 5, 1-2, 3-13, **1999**.

- [55] Tavşanoğlu, Ç., *Marmaris çevresi Pinus brutia (Kızılçam) ormanlarında yangın sonrası vejetasyon dinamikleri*, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, **2008**.
- [56] Lavorel, S., Garnier, É., Predicting changes in community composition and ecosystem functioning from plant traits: revisiting the Holy Grail, *Functional Ecology*, 16, 5, 545-556, **2002**.
- [57] Rykiel, E. J. , Towards a definition of ecological disturbance, *Austral Ecology*, 10, 3, 361-365, **1985**.
- [58] Tavşanoğlu, Ç., Yangın Coğrafyası: Vejetasyon Yangınlarının ve Ekolojik Sonuçlarının Alansal Dağılımı, *Kebikeç: İnsan Bilimleri İçin Kaynak Araştırmaları Dergisi*, 43, 289-300, **2017**.
- [59] Glasspool, I. J., Edwards, D., Axe, L., Charcoal in the Silurian as evidence for the earliest wildfire, *Geology*, 32, 5, 381-383, **2004**.
- [60] LeHouérou, H. N. Fire and vegetation in the Mediterranean basin, *Plant Production and Protection Division*. **1974**.
- [61] Callaway, R. M., Davis, F. W., Vegetation dynamics, fire and the physical environment in coastal central California, *Ecology*, 74, 5, 1567-1578, **1993**.
- [62] Pausas, J. G., Ribeiro, E., The global fire–productivity relationship, *Global Ecology and Biogeography*, 22, 6, 728-736, **2013**.
- [63] Krawchuk, M. A., Moritz, M. A., Parisien, M. A., Van Dorn, J., Hayhoe, K., Global pyrogeography: the current and future distribution of wildfire, *PLoS One*, 4, 4, **2009**.
- [64] Bond, W. J., Keeley, J. E., Fire as a global ‘herbivore’: the ecology and evolution of flammable ecosystems, *Trends in Ecology & Evolution*, 20, 7, 387-394, **2005**.
- [65] Johnson, E. A., *Fire and vegetation dynamics: studies from the North American boreal forest*, Cambridge University Press, **1996**.
- [66] Thonicke, K., Venevsky, S., Sitch, S., Cramer, W., The role of fire disturbance for global vegetation dynamics: coupling fire into a dynamic global vegetation model. *Global Ecology and Biogeography*, 10, 6, 661-677, **2001**.
- [67] Naveh, Z., The evolutionary significance of fire in the Mediterranean region, *Vegetatio*, 29, 3, 199-208, **1975**.
- [68] Keeley, J. E., Role of fire in seed germination of woody taxa in California chaparral, *Ecology*, 68, 2, 434-443, **1987**.
- [69] Hanes, T. L., Succession after fire in the chaparral of southern California, *Ecological Monographs*, 41, 1, 27-52, **1971**.
- [70] Canadell, J., López-Soria, L., Lignotuber reserves support regrowth following clipping of two Mediterranean shrubs, *Functional Ecology*, 12, 1, 31-38, **1998**.
- [71] Paula, S., Ojeda, F., Resistance of three co-occurring resprouter *Erica* species to highly frequent disturbance. *Plant Ecology*, 183, 2, 329-336, **2006**.
- [72] Suc, J. P., Origin and evolution of the Mediterranean vegetation and climate in

- Europe. *Nature*, 307(5950), 429, **1984**.
- [73] Tavşanoğlu, Ç., Gürkan, B. Akdeniz havzasında bitkilerin kuraklık ve yangına uyumları, *Ot Sistematiik Botanik Dergisi*, 11, 1, 119-132, **2004**.
- [74] Ozturk, M. A., Recovery and Rehabilitation of Mediterranean Type Ecosystem: A Case Study from Turkish Maquis, In *Evaluating and Monitoring the Health of Large-Scale Ecosystems*, 319-331, **1995**.
- [75] Atalay, İ., Vegetation levels of the taurus mountains of mediterranean region in Turkey (Akdeniz Bölgesi'ndeki Toros Dağları'nın vejetasyon kuşakları), *Ege Coğrafya Dergisi*, 4, 1, **1988**.
- [76] Sheffer, E., A review of the development of Mediterranean pine–oak ecosystems after land abandonment and afforestation: are they novel ecosystems?, *Annals of Forest Science*, 69, 4, 429-443, **2012**.
- [77] Baeza, M. J., Valdecantos, A., Alloza, J. A., Vallejo, V. R., Human disturbance and environmental factors as drivers of long-term post-fire regeneration patterns in Mediterranean forests, *Journal of Vegetation Science*, 18, 2, 243-252, **2007**.
- [78] Martín-Alcón, S., Coll, L., Ameztegui, A., Diversifying sub-Mediterranean pinewoods with oak species in a context of assisted migration: responses to local climate and light environment, *Applied Vegetation Science*, 19, 2, 254-266, **2016**.
- [79] Karavani, A., Boer, M. M., Baudena, M., Colinas, C., Díaz-Sierra, R., Pemán, J., de Luis, M., Enríquez-de-Salamanca, Á., Resco de Dios, V., Fire-induced deforestation in drought-prone Mediterranean forests: drivers and unknowns from leaves to communities, *Ecological Monographs*, **2018**.
- [80] Uğurlu, E., Roleček, J., Bergmeier, E., Oak woodland vegetation of Turkey—a first overview based on multivariate statistics, *Applied Vegetation Science*, 15, 4, 590-608, **2012**.
- [81] Delitti, W., Ferran, A., Trabaud, L., & Vallejo, V. R. Effects of fire recurrence in *Quercus coccifera* L. shrublands of the Valencia Region (Spain): I. plant composition and productivity. *Plant Ecology*, 177(1), 57-70. **2005**.
- [82] Rundel, P. W., Arroyo, M. T., Cowling, R. M., Keeley, J. E., Lamont, B. B., Vargas, P., Mediterranean biomes: Evolution of their vegetation, floras, and climate. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 47, 383-407, **2016**.
- [83] Lloret, F., Fire, canopy cover and seedling dynamics in Mediterranean shrubland of northeastern Spain, *Journal of Vegetation Science*, 9, 3, 417-430, **1998**.
- [84] Kavgacı, A., Tavşanoğlu, Ç., Akdeniz tipi ekosistemlerde yangın sonrası vejetasyon dinamiği, *Turkish Journal of Forestry*, 2, 149-166, **2010**.
- [85] Hill, J., Stellmes, M., Udelhoven, T., Röder, A., Sommer, S., Mediterranean desertification and land degradation: mapping related land use change syndromes based on satellite observations, *Global and Planetary Change*, 64, 3-4, 146-157, **2008**.
- [86] Keeley, J. E., Seed-germination patterns in fire-prone Mediterranean-climate

- regions, In *Ecology and biogeography of Mediterranean ecosystems in Chile, California, and Australia*, 239-273, **1995**.
- [87] Pérez, B., Moreno, J. M., Fire-type and forestry management effects on the early postfire vegetation dynamics of a *Pinus pinaster* woodland, *Plant Ecology*, 134, 1, 27-41, **1998**.
- [88] Kazanis, D., Arianoutsou, M., Vegetation composition in a post-fire successional gradient of *Pinus halepensis* forests in Attica, Greece. *International Journal of Wildland Fire*, 6, 2, 83-91, **1996**.
- [89] Kazanis, D., Arianoutsou, M., Long term post-fire dynamics of *Pinus halepensis* forests of Central Greece: plant community patterns, In *Book of Abstracts of the 4th International Conference on Forest Fire Research*, 18-23, **2002**.
- [90] Kavgaci, A., Örtel, E., Torres, I., Safford, H., Early postfire vegetation recovery of *Pinus brutia* forests: effects of fire severity, prefire stand age, and aspect. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 40, 5, 723-736, **2016**.
- [91] Carrion, J. S., Sánchez-Gomez, P., Mota, J. F., Yll, R., Chaín, C., Holocene vegetation dynamics, fire and grazing in the Sierra de Gádor, southern Spain, *The Holocene*, 13, 6, 839-849, **2003**.
- [92] Trabaud, L., *The Role of Fire in Mediterranean-Type Ecosystems*, New York, Springer, **1994**.
- [93] Trabaud, L., Lepart, J., Diversity and stability in garrigue ecosystems after fire, *Vegetatio*, 43, 1-2, 49-57, **1980**.
- [94] Màrcia, E., Iraima, V., Francisco, L., Maria, E. J., Recruitment and growth decline in *Pinus halepensis* populations after recurrent wildfires in Catalonia (NE Iberian Peninsula), *Forest Ecology and Management*, 231, 1-3, 47-54, **2006**.
- [95] Naveh, Z., Transdisciplinary challenges in landscape ecology and restoration ecology-an anthology, *Springer Science & Business Media*, **2007**.
- [96] Delitti, W., Ferran, A., Trabaud, L., Vallejo, V. R., Effects of fire recurrence in *Quercus coccifera* L. shrublands of the Valencia Region (Spain): I. plant composition and productivity. *Plant Ecology*, 177, 1, 57-70, **2005**.
- [97] Trabaud, L., Fire regimes and phytomass growth dynamics in a *Quercus coccifera* garrigue, *Journal of Vegetation Science*, 2, 3, 307-314, **1991**.
- [98] Moore, A. D., Noble, I. R., An individualistic model of vegetation stand dynamics, *Journal of Environmental Management*, 31, 1, 61-81, **1990**.
- [99] Pausas, J. G., & Ramos, J. I. (2004). Landscape pattern, fire regime and vegetation dynamics—A modelling approach. In *Ecology, conservation and management of Mediterranean climate ecosystems of the world. Proceedings of the MEDECOS 10th international conference, Rhodes, Greece. Millpress, The Netherlands* **2004**.
- [100] Pausas, J. G. ve Ramos, J. "LASS Help", ss. 1–57. Available at: <https://www.uv.es/jgpausas/lass.htm> **2004**.
- [101] Lloret, F., Pausas, J. G., Vilà, M., Responses of Mediterranean plant species to different fire frequencies in Garraf Natural Park (Catalonia, Spain): field

- observations and modelling predictions, *Plant Ecology*, 167, 2, 223-235, **2003**.
- [102] Lavorel, S., Díaz, S., Cornelissen, J. H. C., Garnier, E., Harrison, S. P., McIntyre, S., Pausas, J. G., Pérez-Harguindeguy, N., Roumet, C., Urcelay, C., Plant functional types: are we getting any closer to the Holy Grail?, In *Terrestrial ecosystems in a changing world*, 149-164, *Springer*, Berlin, Heidelberg, **2007**.
- [103] Paula, S., Arianoutsou, M., Kazanis, D., Tavsanoğlu, Ç., Lloret, F., Buhk, C., Ojeda, F., Luna, B., Moreno, J. M., Rodrigo, A., Espelta, J. M., Palacio, S., Fernández-Santos, B., Fernandes, P. M., Pausas J. G., Fire-related traits for plant species of the Mediterranean Basin, *Ecology*, 90, 5, 1420-1420, **2009**.
- [104] Bekar, İ., Tavşanoğlu, Ç., Modelling the drivers of natural fire activity: the bias created by cropland fires, *International Journal of Wildland Fire*, 26, 10, 845-851, **2017**.
- [105] Rohlf, F. J., Sokal, R. R., *Statistical Tables*, Macmillan, **1995**.
- [106] Bates, D., Mächler, M., Bolker, B., & Walker, S., Fitting linear mixed-effects models using lme4, *Journal of Statistical Software*, **2014**.
- [107] Wickham, H. "Positioning In ggplot2", *Springer*, ss. 115–137., **2009**.
- [108] Hope, R. M. "Rmisc: Ryan miscellaneous", *R package version 1*, **2013**.
- [109] Team, R. D. C. "A language and environment for statistical computing". Available at: <http://www.r-project.org>. **2009**.
- [110] Mouillot, F., Rambal, S., Joffre, R., Simulating climate change impacts on fire frequency and vegetation dynamics in a Mediterranean-type ecosystem, *Global Change Biology*, 8, 5, 423-437, **2002**.
- [111] Pausas, J. G., Paula, S., Fuel shapes the fire–climate relationship: evidence from Mediterranean ecosystems, *Global Ecology and Biogeography*, 21, 11, 1074-1082, **2012**.
- [112] Pausas, J. G., Resprouting vs seeding – a Mediterranean perspective, *Oikos*, 94, 1, 193-194, **2001**.
- [113] Paula, S., Pausas, J. G., Burning seeds: germinative response to heat treatments in relation to resprouting ability, *Journal of Ecology*, 96, 3, 543-552, **2008**.
- [114] Kazanis, D., Arianoutsou, M., Long-term post-fire vegetation dynamics in *Pinus halepensis* forests of Central Greece: a functional group approach, *Plant Ecology*, 171, 1-2, 101-121, **2004**.
- [115] Maestre, F. T., Cortina, J., Are *Pinus halepensis* plantations useful as a restoration tool in semiarid Mediterranean areas?, *Forest Ecology and Management*, 198, 1-3, 303-317, **2004**.
- [116] Pausas, J. G., Ribeiro, E., Vallejo, R., Post-fire regeneration variability of *Pinus halepensis* in the eastern Iberian Peninsula. *Forest Ecology and Management*, 203, 1-, 251-259, **2004**.
- [117] Rigolot, E., Predicting postfire mortality of *Pinus halepensis* Mill. and *Pinus pinea* L, *Plant Ecology*, 171, 1-2, 139-151, **2004**.

- [118] Boydak, M., Silvicultural characteristics and natural regeneration of *Pinus brutia* Ten.—a review, *Plant Ecology*, 171, 1-2, 153-163, **2004**.
- [119] Tsitsoni, T., Ganatsas, P., Zagaz, T., Tsakalimi, M., Dynamics of postfire regeneration of *Pinus brutia* Ten. in an artificial forest ecosystem of northern Greece, *Plant Ecology*, 171, 1-2, 165-174, **2004**.
- [120] Boydak, M., "Ecological characteristics of *Pinus brutia*, Applicable Natural Regeneration Methods and Application Principles", *Uluslararası Kızılçam Sempozyumu*, 18-23 Ekim, Marmaris, **1993**.
- [121] 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**.
- [122] Pausas, J. G. Response of plant functional types to changes in the fire regime in Mediterranean ecosystems: a simulation approach. *Journal of vegetation Science*, 10(5), 717-722. **1999**.
- [123] Moreira, F., Viedma, O., Arianoutsou, M., Curt, T., Koutsias, N., Rigolot, E., Barbatig, A., Piermaria, C., Vaza, P., Xanthopoulos, G., Mouillot, F., Bilgili, E., Mouillot, F., Landscape–wildfire interactions in southern Europe: implications for landscape management, *Journal of Environmental Management*, 92, 10, 2389-2402, **2011**.
- [124] Curt, T., & Pausas, J. Are changes in fire regime threatening cork oak-shrubland mosaics?. In *IUFRO-IALE International Conference "Landscapes Forest and Global Change: New Frontiers in Management, Conservation and Restoration* (pp. p-60). IUFRO-IALE, **2010**.
- [125] Zavala, M. A., Espelta, J. M., Retana, J., Constraints and trade-offs in Mediterranean plant communities: the case of holm oak-Aleppo pine forests, *The Botanical Review*, 66, 1, 119-149, **2000**.
- [126] Seligman, N. A., Henkin, Z., Persistence in *Sarcopoterium spinosum* dwarf-shrub communities, *Plant Ecology*, 164, 1, 95-107, **2003**.
- [127] Roy, J., Sonie, L., Germination and population dynamics of *Cistus* species in relation to fire, *Journal of Applied Ecology*, 647-655, **1992**.
- [128] Tavşanoğlu, Ç., Gürkan, B., Post-fire dynamics of *Cistus* spp. in a *Pinus brutia* forest, *Turkish Journal of Botany*, 29, 5, 337-343, **2005**.
- [129] Özel, H. B., Karayılmazlar, S., Demirci, A., Bartın Havzasında Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) Yöntemiyle Akdeniz Çam Türleri (*Pinus brutia* Ten. ve *Pinus pinea* L.) Kullanılarak Yapılacak Ağaçlandırma Çalışmaları İçin Yer Seçimi, *Ulusal Akdeniz Orman ve Çevre Sempozyumu "Akdeniz ormanlarının geleceği: Sürdürülebilir toplum ve çevre*, 22-24, **2014**.
- [130] Pausas, J. G., Bladé, C., Valdecantos, A., Seva, J. P., Fuentes, D., Alloza, J. A., Vilagrosa, A., Bautista, S., Cortina, J., Vallejo, R., Pines and oaks in the restoration of Mediterranean landscapes of Spain: new perspectives for an old practice—a review, *Plant Ecology*, 171, 1-2, 209-220, **2004**.
- [131] Kelt, Matthew J. "Comparative productivity of monocultures and mixed-species stands." In *The ecology and silviculture of mixed-species forests*, pp. 125-141. Springer, Dordrecht, **1992**.

- [132] Beisner, B. E., Haydon, D. T., Cuddington, K. Alternative stable states in ecology, *Frontiers in Ecology and the Environment*, 1, 7, 376-382, **2003**.
- [133] Staver, A. C., Archibald, S., Levin, S., Tree cover in sub-Saharan Africa: rainfall and fire constrain forest and savanna as alternative stable states, *Ecology*, 92, 5, 1063-1072, **2011**.
- [134] Dublin, H. T., Sinclair, A. R., McGlade, J., Elephants and fire as causes of multiple stable states in the Serengeti-Mara woodlands, *Journal of Animal Ecology*, 1147-1164, **1990**.
- [135] Pausas, J. G., Alternative fire-driven vegetation states, *Journal of Vegetation Science*, 26, 1, 4-6, **2015**.
- [136] Dantas, V. D. L., Hirota, M., Oliveira, R. S., Pausas, J. G., Disturbance maintains alternative biome states, *Ecology Letters*, 19, 1, 12-19, **2016**.
- [137] Ozturk, T., Ceber, Z. P., Türkeş, M. and Kurnaz, M. L. "Projections of climate change in the Mediterranean Basin by using downscaled global climate model outputs." *International Journal of Climatology* 35, no. 14 ": 4276-4292. **2015**.
- [138] Pausas, J. G., Changes in fire and climate in the eastern Iberian Peninsula (Mediterranean basin), *Climatic Change*, 63, 3, 337-350, **2004**.

ÖZGEÇMİŞ

Kimlik Bilgileri

Adı Soyadı :Anıl Bahar
Doğum Yeri :Tokat, Zile
Medeni Hali :Bekar
E-posta :anilbahar10@gmail.com
Adresi :408. Cad 89/20 Demetevler / Yenimahalle ANKARA

Eğitim

Lisans : Hacettepe Üniversitesi Biyoloji Bölümü

Yabancı Dil ve Düzeyi

YÖKDİL: 85

İş Deneyimi

Deneyim Alanları

R istatistik programı
Landscape Analysis Simulation Shell (Vejetasyon Modelleme programı)

Tezden Üretmiş Projeler ve Bütçesi

Kızılçam ormanlarının yangın sıklığı ve çalı yoğunluğu ile ilişkili vejetasyon dinamiklerinin modellenmesi, Çağatay Tavşanoğlu, Hacettepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi FBB-2017 14074 No'lu proje (7500 TL)

Proje Türü: Bilimsel Başarı Desteği

Tezden Üretilmiş Yayınlar

Tezden Üretmiş Tebliğ ve/veya Poster Sunum ile Katıldığı Toplantılar

Bahar, A., Tavşanoğlu, Ç., Pausas J., Modeling vegetation dynamics in Mediterranean pine forests: Effect of fire frequency and plant abundance. Proceedings of the 5th Ecology and Evolutionary Biology Symposium 18-20 July İzmir, Turkey, **2018**.



HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS/DOKTORA TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU

HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
BİYOLOJİ ANABİLİM DALI BAŞKANLIĞI'NA

Tarih: 21/06/2018

Tez Başlığı / Konusu: Yangın Sıklığı ve Vejetasyon Örtüsünün Akdeniz Vejetasyonu Dinamikleri Üzerine Etkisinin Modellenmesi

Yukarıda başlığı/konusu gösterilen tez çalışmamın a) Kapak sayfası, b) Giriş, c) Ana bölümler d) Sonuç kısımlarından oluşan toplam 49 sayfalık kısmına ilişkin, 20/06/2018 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 3 'tür.

Uygulanan filtrelemeler:

- 1- Kaynakça hariç
- 2- Alıntılar hariç/~~dâhil~~
- 3- 5 kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Çalışması Orjinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Uygulama Esasları'nı inceledim ve bu Uygulama Esasları'nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini saygılarımla arz ederim.

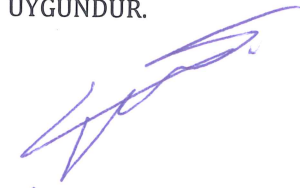
20.06.2018

Tarih ve İmza

Adı Soyadı: Anıl BAHAR
Öğrenci No: N16123561
Anabilim Dalı: Biyoloji
Programı: Ekoloji
Statüsü: ☒ Y.Lisans ☐ Doktora ☐ Bütünleşik Dr.

DANIŞMAN ONAYI

UYGUNDUR.


Doç. Dr. S. S. Tarsan
(Unvan, Ad Soyad, İmza)