

Doğal Yaşlı Kızılçam Meşceresinde Kontrollü Yakmaların Ağaçların Hayatta Kalma Oranına Etkisi

The Effect of Prescribed Burning on the Survival Rate of Trees in Mature Calabrian Pine (*Pinus brutia* Ten.) Stands

Abdullah SARI^{1*} , Ömer KÜÇÜK² 

¹Batı Akdeniz Ormancılık Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Orman Yangınları Araştırmaları Başmühendisliği, Orman Yangını Araştırmacısı, Antalya
²Kastamonu Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Orman Entomolojisi ve Koruma Anabilim Dalı, Kastamonu

Eser bilgisi/Article info

Araştırma makalesi/Research article

DOI: 10.17474/artvinofd.1932665

*Sorumlu yazar/Corresponding author

Abdullah SARI

e-mail: abdullahsari@ogm.gov.tr

Gönderilme tarihi/Submission date

17.04.2026

Kabul tarihi/Acceptance date

19.05.2026

Yayınlanma tarihi/Publication date

01.06.2026

Anahtar kelimeler:

Kontrollü yakma

Yangın ekolojisi

Hayatta kalma oranı

Ağaçlarda canlılık

Keywords:

Prescribed burning

Fire ecology

Survival rate

Tree mortality

Öz

Bu çalışmada, kontrollü yakma yapılan bir Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) meşceresindeki bireylerin canlılık durumu ve yangın kaynaklı hasarın bireylerin morfolojik özellikleriyle olan ilişkisi incelenmiştir. Araştırma kapsamında, 2024 yılında Antalya ili Döşemealtı ilçesinde, benzer topoğrafik ve yapısal özelliklere sahip altı adet 1.000 m²'lik örnek alanda kontrollü yakmalar yapılmıştır. Yangın şiddeti, alev boyu, ateşe maruz kalma süresi, kabuk kömürleşme kodu ve gövde kömürleşme yüksekliği göstergeleri ile ağaçlara ait morfolojik parametreler ölçülmüş ve istatistiksel analizler yapılmıştır. Yangın şiddeti ile tüketilen diri örtü ($r = 0.867$, $p < 0.01$) ve ölü örtü miktarı ($r = 0.864$, $p < 0.01$) arasında güçlü ve pozitif ilişki olduğu belirlenmiştir. Alev boyu, hem yangın şiddeti ($r = 0.748$ $p < 0.01$) hem de tüketilen yanıcı madde miktarıyla pozitif korelasyon gösterirken, ölü örtü derinliği ile yangın şiddeti arasında negatif ($r = -0.643$, $p < 0.01$) bir ilişki bulunmuştur. Isıl etki göstergeleri olan ortalama kabuk kömürleşme kodu ve gövde kömürleşme yüksekliği ise ateşe maruz kalma süresi ve ölü örtü derinliği ile anlamlı pozitif ilişkiler göstermiştir. Kontrollü yakma yapılan deneme alanlarında hiçbir ağaç ölümü gözlenmemiştir. Sonuç olarak, ilkbaharda uygun şartlarda gerçekleştirilen kontrollü yakmaların, Kızılçam bireylerinin hayatta kalmasını olumsuz etkilemediği aksine alt tabakadaki yanıcı madde miktarını güvenli bir şekilde azaltan yönetim aracı olduğu desteklenmiştir.

Abstract

This study investigated the vitality status of *Pinus brutia* individuals in a prescribed burn area and the relationships between fire-induced damage and morphological traits. Prescribed burning was conducted in 2024 in six 1 000 m² sample plots with similar topographic and structural characteristics in Döşemealtı (Antalya, Türkiye). Fire behavior parameters—fire intensity, flame height, residence time, bark char rating, and bole char height—together with tree morphological variables were measured and analyzed statistically. Fire intensity exhibited strong and positive correlations with consumed live surface fuels ($r = 0.867$, $p < 0.01$) and dead fuel loads ($r = 0.864$, $p < 0.01$). Flame length was positively correlated with both fire intensity ($r = 0.748$ $p < 0.01$) and fuel consumption, whereas a significant negative relationship was observed between litter depth and fire intensity ($r = -0.643$, $p < 0.000$). Thermal impact indicators, including mean bark char rating and bole char height, showed significant positive relationships with residence time and litter depth. No tree mortality was observed in the prescribed burn plots. These findings indicate that low-intensity prescribed burns conducted under suitable spring conditions do not adversely affect the survival of Turkish pine individuals and serve as an effective management tool for safely reducing surface fuel loads.

GİRİŞ

Son yıllarda iklim krizinin etkisiyle artan hava sıcaklıkları, orman yangınlarının dünya genelinde yaygınlaşmasına neden olmuştur. Türkiye de bu durumdan ciddi şekilde etkilenmektedir (Baybaş vd., 2024). Ülkemiz orman alanlarının yaklaşık %65' ine tekabül eden 15.03 milyon hektarlık kısmı yangına çok hassas bölgelerde yer almaktadır. Yangına birinci derecede hassas alan miktarı 8.8 milyon hektar, yangına ikinci derecede hassas alan miktarı ise 6.23 milyon hektardır (OGM, 2025).

Orman yangınlarının gelecekteki etkilerini azaltmak amacıyla, yanıcı madde miktarını düşürmeye yönelik uygulamalar giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Kontrollü yakma, yanıcı madde birikimini azaltarak yangın tehlikesini düşüren ve yangın rejimine uyum sağlamış orman ekosistemlerinde kullanılan etkili bir yöntemdir (Pollet ve Omi, 2002; Agee ve Skinner, 2005). Yangının ağaçlar üzerindeki fiziksel etkileri hem ağaçların hem de yangının özelliklerine bağlı olarak değişmektedir (Alexander ve Bisgrove, 1990). Yapraklar, tomurcuklar, gövdeler, kambiyum ve ince köklerde meydana

gelen hasarın derecesi, büyük ölçüde ağacın ölüm olasılığını belirlemektedir. Canlı dokulara verilen zarar hem alevli hem de içten içe yanmalardan kaynaklanan yüksek sıcaklığın süresine bağlıdır. Bitki dokuları için bir dakika boyunca 60 °C'lik sıcaklığa maruz kalma ölümcül kabul edilmektedir (Hare, 1961). Yaşlı ağaçlar genellikle, daha kalın kabuk yapısına sahip olması, tepe altı yüksekliğinin fazla olması ve yaprakların daha yüksek konumu ve artan kütlelerine bağlı olarak ısı emici kapasitelerinin daha fazla olması nedeniyle yangın hasarına karşı daha dirençlidir (Martin, 1963; Costa vd., 1991).

Kontrollü yakmaların ardından gözlenen ağaç ölüm oranları; türü, boyutu, fenolojik evresi, yangının sebep olduğu yaralanmalar, yangın öncesi ve sonrası dönemdeki fizyolojik canlılık durumu, ayrıca yangın sonrasında ortaya çıkan çevresel şartlar gibi pek çok faktörün bir araya gelmesiyle şekillenmektedir (Knapp vd., 2009).

İlkbaharda gerçekleştirilen kontrollü yakmalar, yüksek yanıcı madde nemi nedeniyle genellikle daha düşük yangın şiddeti ve alan içerisinde düzensiz yayılan, yer yer yanmış yer yer yanmamış bölgelerin oluştuğu bir yanma paterni sergilemektedir (Knapp vd., 2005). Bununla birlikte, bitkilerin aktif büyüme döneminde bulunması nedeniyle açık tomurcuklar ve gelişmekte olan sürgünler yangın hasarına karşı daha duyarlı hale gelmekte; buna karşılık dormant dönemde uygulanan yakmalarda sürgün ölümü ve ağaç mortalitesi genellikle daha düşük düzeyde gerçekleşmektedir (Hood vd., 2018). Sonbahar döneminde yapılan yakmalar ise yaz kuraklığı sonrasında kuruyan ince yanıcı maddeler ve odunsu artıklar nedeniyle daha yüksek yangın şiddeti oluşturabilmekte ve özellikle örtü tabakası ile odunsu yanıcı maddelerde daha fazla tüketime yol açabilmektedir (Knapp vd., 2005). Bu nedenle mevsimsel etkinin değerlendirilmesinde yalnızca yangın şiddeti değil, aynı zamanda bitkilerin fenolojik durumu ve yangına karşı biyolojik duyarlılığı da dikkate alınmalıdır. Dolayısıyla yangın şiddeti ile vejetasyonun yangına verdiği biyolojik tepki, birbirinden bağımsız ancak birbiriyle ilişkili süreçler olarak ele alınmalıdır (Schwilk vd., 2009; Hood vd., 2018).

Kontrollü yakma uygulamaları, alt tabakadaki yanıcı maddelerin azaltılmasında etkili olmaktadır (Stephens vd., 2009). Bununla birlikte, yaşlı ağaçların kalın kabuk yapıları ve yüksek tepe altı yükseklikleri sayesinde yangın kaynaklı zararlara karşı daha dirençli olmaları beklenmektedir (Ryan ve Reinhardt, 1988; Hood vd., 2007; Woolley vd., 2012). Kontrollü yakmaların yaşlı meşcerelerde uygulanmasının gençleştirme çalışmaları olmak üzere birçok alanda işletme amaçlarına ulaşmak için kullanıldığı görülmektedir. Diğer taraftan maki vejetasyonunda da kullanılmaktadır (Bilgili ve Sağlam, 2003; Sağlam vd., 2008a; Sağlam vd., 2008b).

Kontrollü yangınların yönetim aracı olarak kullanım potansiyeli, Amerika Birleşik Devletleri'nde erken dönemlerde fark edilmiş ve 1960'lardan itibaren yoğun ilgi görmüştür; bu ilgi yangın sonrası çam rejenerasyonuna ilişkin gözlemler ve olgun bireylerin yangın kaynaklı zararlara karşı yüksek direnç göstermesiyle ilişkilendirilmiştir (Maissurow, 1935; Van Wagner, 1970). Bununla birlikte, yangın söndürme uygulamalarının yol açtığı olumsuz toprak altı koşullarının yaygınlaşmasıyla, araştırmalar büyük ölçüde kontrollü yakmaların orta ve alt tabaka bitki örtüsü dinamikleri, özellikle odunsu çalı türleri üzerindeki etkilerine odaklanmıştır (Buckman, 1964; Henning ve Dickmann, 1996; Neumann ve Dickmann, 2001). Ayrıca, kontrollü yangının ağaç yoğunluklarını azaltarak, tür kompozisyonunu değiştirerek ve yanıcı madde miktarını azaltarak orman ekosistemlerinin yapısını önemli ölçüde değiştirebileceğine dair kapsamlı kanıtlar da bulunmaktadır (Thomas ve Agee, 1986; Fajardo vd., 2007; Knapp vd., 2015).

Türkiye'de deneysel yangınlar (Sağlam, 2002; Bilgili ve Sağlam, 2003; Küçük, 2004; Bilgili vd., 2006; Küçük vd., 2007; Sağlam vd., 2008c; Küçük vd., 2008; Bilgili vd., 2010; Dinç Durmaz, 2014) ve kontrollü yakmalarla ilgili bazı çalışmalar yürütülmüştür. Ancak bu çalışmaların büyük bir bölümü, doğrudan yanıcı madde miktarının azaltılmasına odaklanmaktan ziyade; kontrollü yakmaların bitki örtüsü, toprak yapısı ve canlı toplulukları üzerindeki etkilerini incelemiştir. Bu kapsamda, Pinus brutia rejenerasyon süreçleri, mikroeklembacaklı faunası ile tohum çimlenmesi ve fidan büyüme-gelişimi gibi parametreler ele alınmıştır. Ayrıca kontrollü ve amaçlı yakma teknikleri ile ilgili çalışmalarda, yangının yalnızca bir afet

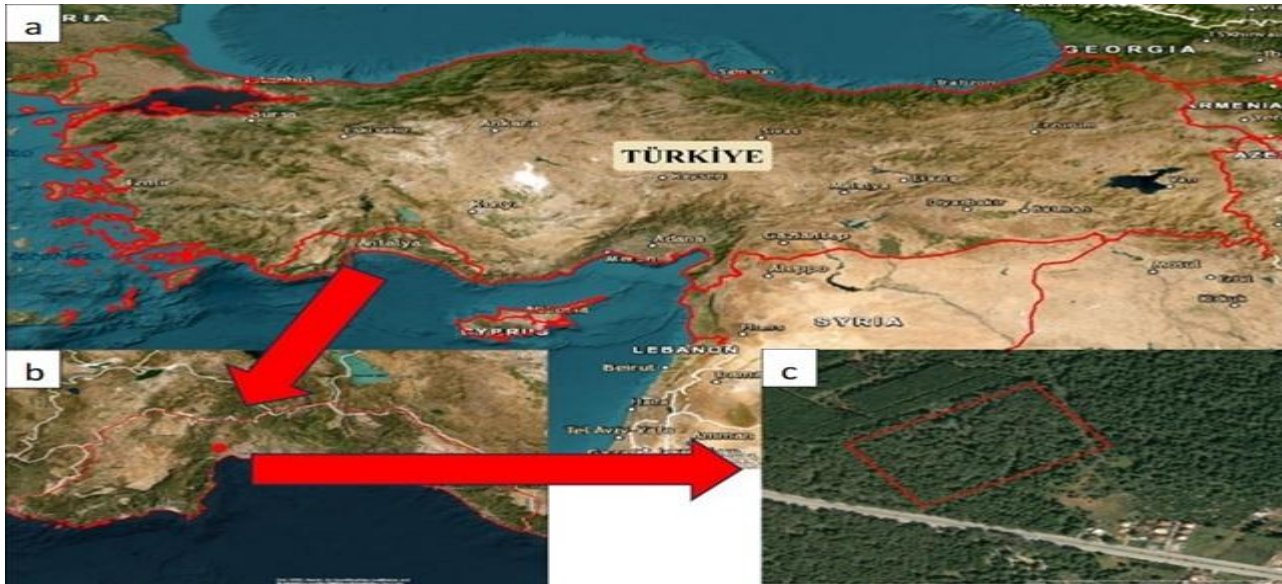
unsuru değil; orman ekosistemleri ve biyoçeşitliliğin korunması, restorasyonu ve sürdürülebilirliğinde kullanılabilecek bir amenajman aracı olduğu vurgulanmıştır. Nitekim TÜBİTAK 1001 programı kapsamında yürütülen “Saf Anadolu karaçamı (*Pinus nigra*) ve sarıçam (*Pinus sylvestris*) meşcerelerinde çıkan yangınlar ile kontrollü ve amaçlı yakma uygulamalarının; tohum çimlenmesi, fidan büyüme ve gelişimi ile toprak özellikleri (Tiryaki Güngör vd., 2024; Güngör vd., 2025a) ve mikroklimabacaklılar (Güngör vd., 2025b) üzerine olan etkilerinin belirlenmesi” başlıklı proje de bu yaklaşımın önemli bir örneğini oluşturmaktadır. Bu durum, Türkiye’de kontrollü yakma çalışmalarının ağırlıklı olarak ekosistemin farklı bileşenlerinin yangına verdiği tepkiler üzerine yoğunlaştığını, buna karşın doğrudan yanıcı madde dinamikleri ve yakıt azaltım etkinliğine yönelik çalışmaların sınırlı kaldığını göstermektedir (Neyişçi, 1986; Bilgili vd., 2005; Usta, 2023; Güngör, 2024; Bilgili vd., 2025).

Öte yandan, ülkemizde orman yangınları sonrasında ağaçların canlılık durumlarının değerlendirilmesine ve bu durumun modellenmesine yönelik çalışmalar da bulunmaktadır (Güney vd., 2024). Ancak literatürde, özellikle kontrollü yakmalar sonrasında ağaçların canlılık durumlarını ve mortalite/ölüm düzeylerini doğrudan inceleyen bir araştırmaya rastlanmamıştır. Bu durum, kontrollü yakmaların ağaç düzeyindeki etkilerine ilişkin önemli bir bilgi boşluğuna işaret etmekte olup, bu boşluğun giderilmesi, kontrollü yakma uygulamalarının ağaç sağlığı üzerindeki etkilerinin daha doğru değerlendirilmesi ve yönetim kararlarının bilimsel temelde desteklenmesi açısından gerekli görülmektedir; bu gereklilikten hareketle söz konusu çalışma gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmanın temel amacı, kontrollü yakma uygulaması sonrasında kızılçam ağaçlarının canlılık durumlarını değerlendirmek, yangının yanıcı madde özellikleri üzerine etkilerini incelemek ve bu durumu etkileyen çevresel ve yapısal faktörleri ortaya koymaktır. Ayrıca, elde edilen bulgularla hem saha uygulamalarına hem de gelecekteki benzer araştırmalara bilimsel veri sağlanması da amaçlanmaktadır. Bu yönüyle çalışma, ülkemizde kontrollü yakmalar sonrası ağaçlık çağında kızılçamın ağaç mortalitesini inceleyen ilk araştırmalardan biri olma niteliğini taşımakta ve yangın ekolojisi açısından literatüre önemli bir katkı sağlamaktadır.

MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışma, Antalya Orman Bölge Müdürlüğü'ne bağlı Konyaaltı Orman İşletme Müdürlüğü sınırları içerisinde yer alan Kırkgöz Orman İşletme Şefliği'nin 290 nolu bölmesinde gerçekleştirilmiştir (36°57'65″K, 30°36'55″D; rakım: 300 m) (Şekil 1). Ağaç türü kızılçam olup meşcere tipi Çzd2 ve Çzde2'dir.



Şekil 1. Çalışma alanının coğrafi konumu (a, b) ve kontrollü yakma uygulamasının gerçekleştirildiği parsel (c)

Çalışma alanı tipik Akdeniz iklimi özelliklerini göstermekte; yıllık ortalama sıcaklık 19.2 °C, nem %61.5, rüzgâr hızı 2.2 km/sa, yağış 1031.8 mm'dir. Kontrollü yakmaların yapıldığı ilkbahar döneminde ortalama sıcaklık 14.5 °C, nem %67.6 ve yağış miktarı 172.6 mm olarak gerçekleşmiştir (MGM, 2025). Düzlerçamı yöresi yaklaşık 300-350 m yükselti bandında yer almakta olup kızılcım için tanımlanan Akdeniz alt yükselti zonu içerisinde bulunmaktadır (Boydak, 2004). Bölge, Akdeniz iklim koşulları altında yarı nemli-kurak karakterde bir ekosistem olarak tanımlanmaktadır (Türkeş vd., 2018). Antalya'da yağışın kıydan iç kesimlere doğru belirgin mekânsal değişkenlik gösterdiği ve bazı alanlarda yıllık toplam yağış 1.000 mm'nin üzerine çıkarken diğer bölgelerde daha düşük seviyelerde kaldığı belirtilmektedir (Bekereci ve Erkan, 2004; Altın ve Barak, 2014). Arazinin eğimi ve bakısı, yangın yayılma oranı ve yangın şiddetini doğrudan etkileyen topoğrafik faktörlerdir. Eğimin artmasıyla birlikte ısı transferi artmakta, bu durum yangının daha hızlı yayılmasına ve şiddetinin yükselmesine neden olmaktadır (Curry ve Fons, 1938; Albini, 1974; Pyne vd., 1996). Düz alanlarla karşılaştırıldığında eğimin 10° artması yayılma oranını yaklaşık iki katına, 20° artması ise dört katına çıkarabilmektedir (McArthur, 1968). Güney bakılarda ise güneşlenme süresinin uzun olması yanıcı madde nemini düşürerek daha şiddetli yanmalara yol açabilmektedir (Rothermel, 1983; Küçük, 2004; Dinç Durmaz, 2014). Eğim ve bakı faktörlerinin etkisini ortadan kaldırmak için kontrollü yangınlar, düz alanda gerçekleştirilmiştir. Kontrollü yangınların yapıldığı parsellerin kapallılığı %60-88 arasında değişmekte olup, hektardaki ağaç sayısı 80 ile 160 arasındadır (Çizelge 1).

Çizelge 1. Örnek parsellerde ölçülen ağaç ve meşcere özellikleri

Değişken	Ortalama	Std. Dev.	Min	Max
Çap (d. 130) (cm)	55.59	13.03	19.00	82.00
Boy (m)	24.23	4.81	8.00	35.50
Tepe Altı Yüksekliği (m)	10.11	2.66	3.30	15.70
Ortalama Kabuk Kalınlığı (cm)	4.42	0.49	2.93	5.00
Parsellerdeki Kapallılık (%)	74.17	10.36	60	88
Parsellerdeki Ağaç Sayısı (adet)	10.67	2.80	8	16
Eğim (%)	0	0	0	0

Çalışmada, üç blok ve her bir blokta 2 parsel olmak üzere herbiri 1 000 m² olmak üzere toplam 6 parselde deneme alanları kurulmuştur. Bu çalışmada kullanılan yakma parsellerinin büyüklüğü belirlenirken, deneysel tekrar sayısının artırılması ve uygulama koşullarının kontrol edilebilir olması temel kriterler olarak dikkate alınmıştır. Yangın ekolojisi çalışmalarında, bu amaçlarla gerçekleştirilen kontrollü yakmaların genellikle doğal yangınlar ve operasyonel uygulamalara kıyasla daha küçük ölçeklerde yürütüldüğü bilinmektedir (Sullivan vd., 2013). Nitekim araştırma parsellerinin büyüklüğü literatürde birkaç metrekareden (Redmann vd., 1993; Waterman ve Vermeire, 2011) birkaç hektara kadar değişebilmektedir (Whisenant ve Uresk, 1989; Smart vd., 2013). Bu kapsamda, çalışmada kullanılan parsel büyüklüğü, hem yangın davranışının gelişimine olanak sağlayacak hem de deneysel kontrolü sürdürebilecek şekilde 20x50 m olarak belirlenmiştir.

Kontrollü Yakma Sahalarının Hazırlanması ve Kontrollü Yakma Uygulaması

Kontrollü yakmalar için aynı arazi şartlarında 20x50 m=1 000 m² lik dikdörtgen şeklinde 6 parsel oluşturulmuştur. Yakmalar sırasında parsellerin birbirleri ile etkilenmemesi için parseller arasında 10 m'lik izolasyon zonu bırakılmıştır. Ayrıca, kontrollü yakma uygulamaları öncesinde yanıcı maddelerin nem ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan ölçümler sonucunda ortalama nem içerikleri; ölü ince yanıcı maddelerde %17.33, yarı ayrılmış organik tabakada %93.42 ve ince canlı yanıcı maddelerde %73.62 olarak belirlenmiştir. Tüm parsellerin çevresi boyunca, mineral toprak açığa çıkartılarak şeritler oluşturulmuştur. Tüm kontrollü yakmalar, her parselin bir kenarı boyunca yangın ibrği ile başlatılmıştır (Şekil 2). Yakma uygulamalarında şeritler halinde yakma tekniği kullanılmıştır. Yakma süresi, parselin başlangıç noktasında yakma işleminin başlatıldığı zaman ile yangının parselin son noktasına ulaşarak tamamlandığı zaman arasındaki süre esas alınarak hesaplanmıştır. Meteorolojik parametreler ve yakma şartlarına dair bilgiler Çizelge 2' de verilmiştir.



Şekil 2. Yapılan kontrollü yakmalar

Çizelge 2. Kontrollü yakma şartlarına dair bilgiler

Parsel No	Yakma Tarihi	Yakma Başlangıç Saati	Yakma Bitiş Saati	Ağaç Sayısı	Alan
1	11.03.2024	12:00	12:20	8	0.1
2	11.03.2024	12:22	12:35	10	0.1
3	11.03.2024	12:38	12:49	16	0.1
4	11.03.2024	12:50	13:00	10	0.1
5	11.03.2024	13:10	13:25	9	0.1
6	11.03.2024	13:27	13:40	12	0.1

Yanıcı Madde Miktarı Ölçümleri

Her bir parselde göğüs yüksekliğinde çap (d.130) ağaç sayısı (> 8.9 cm d.130), ağaç türü, eğim ve bakı verileri elde edilmiştir (Çizelge 1). Yanıcı madde miktarının belirlenmesi amacıyla sahada her parselin içinde 3 adet olmak üzere 2x2 m boyutlarında toplamda 18 örnek alan alınmıştır. Yanıcı madde yapısının ortaya konulması kapsamında, birim alandaki yanıcı madde miktarı diri örtü (kg/m²) ve ölü örtü (kg/m²) olarak belirlenmiş; ayrıca ortalama yanıcı madde boyu (cm) ölçülmüştür. Ölü örtü örnekleme, meşcere içerisinde rastgele yerleştirilen 50x50 cm'lik lata kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Lata içerisindeki tüm ölü yanıcı maddeler ile yarı ayrılmış organik tabaka mineral toprağa kadar toplanmıştır. Ayrıca örnek alanlarda bulunan canlı yanıcı maddeler toprak seviyesinden kesilerek örneklendirilmiştir. Kesilen ve toplanan örnekler, öncelikle canlı ve kuru (ölü) yanıcı maddeler olarak iki gruba ayrılmıştır. Daha sonra örnekler budanarak çaplarına göre üç sınıfa ayrılmıştır: ince yanıcı maddeler (0.6 cm'den küçük), orta kalınlıklardaki yanıcı maddeler

(0.6–2.5 cm arası) ve kalın yanıcı maddeler (2.5 cm’den büyük). Yanıcı madde gruplarına ait yanıcı madde nemi ölçümleri (ölü, canlı ve organik tabaka) gerçekleştirilmiştir (Anderson, 1982; Scott, 2005; Sağlam vd., 2008b).

Yanıcı maddelerin tamamı hassas terazi ile tartılarak alandaki toplam yanıcı madde miktarının yaş ağırlıkları belirlenmiştir. Tartım işlemi sonrasında, her çap sınıfını temsil edecek şekilde seçilen yanıcı madde örneklerinin yaş ağırlıkları belirlenmiş ve kuru ağırlıklarının tespiti amacıyla laboratuvara götürülmüştür. Örnekler, 105 °C’de 24 saat veya sabit ağırlığa ulaşmaya kadar kurutulduktan sonra yanıcı madde nem içerikleri belirlenmiştir (Sağlam vd., 2008a, 2008b). Yanıcı maddelerin nem içerikleri belirlenirken aşağıdaki formül kullanılmıştır. Yanıcı maddeler tekrar tartılarak kuru ağırlıkları belirlenmiştir.

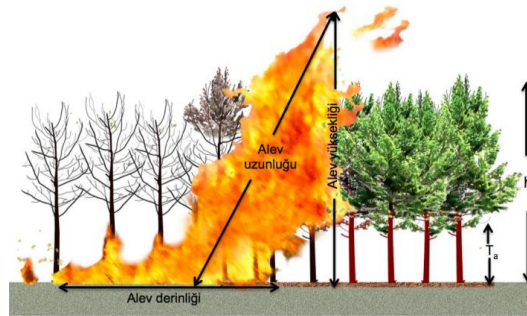
$$\text{Yanıcı madde nem içeriği (\%)} = \frac{\text{Yaş ağırlık} - \text{Kuru ağırlık}}{\text{Kuru ağırlık}} \times 100$$

Ateşe Maruz Kalma Süresinin Belirlenmesi

Ateşe maruz kalma süresi (flame residence time), belirli bir noktadaki yanıcı maddenin alevli yanma süresi olarak tanımlanmakta olup, o noktadaki tutuşma anı ile alevin sönmesi arasındaki zaman farkını ifade eder. Bu süre, yangının yayılma oranı (R) ve alev derinliği (D) kullanılarak hesaplanmakta ve alev cephesinin bu mesafeyi kat etmesi için geçen süreye eşit kabul edilmektedir (Rothermel, 1972). Bu bağlamda ateşe maruz kalma süresi aşağıdaki şekilde ifade edilir:

$$t_r = \frac{D}{R}$$

Yangın yayılma oranı, yangın hattının birim zamanda kat ettiği mesafe olarak tanımlanmakta olup, belirli bir mesafenin yangın tarafından kat edilme süresinin ölçülmesiyle hesaplanmaktadır (Rothermel, 1972). Bu çalışmada, yangının ilerlediği mesafe parsel uzunluğu olarak kabul edilmiş; yakmanın başlatıldığı an başlangıç zamanı, yangın hattının parselin son noktasına ulaştığı an ise bitiş zamanı olarak kaydedilmiştir. Elde edilen zaman farkı kullanılarak yangın yayılma oranı hesaplanmıştır (m/dk). Alev derinliği, alev boylarının belirlendiği yöntemle aynı şekilde belirlenmiştir.



Şekil 3. Alev özellikleri (Dinç Durmaz, 2014)

Alev Boylarının Belirlenmesi

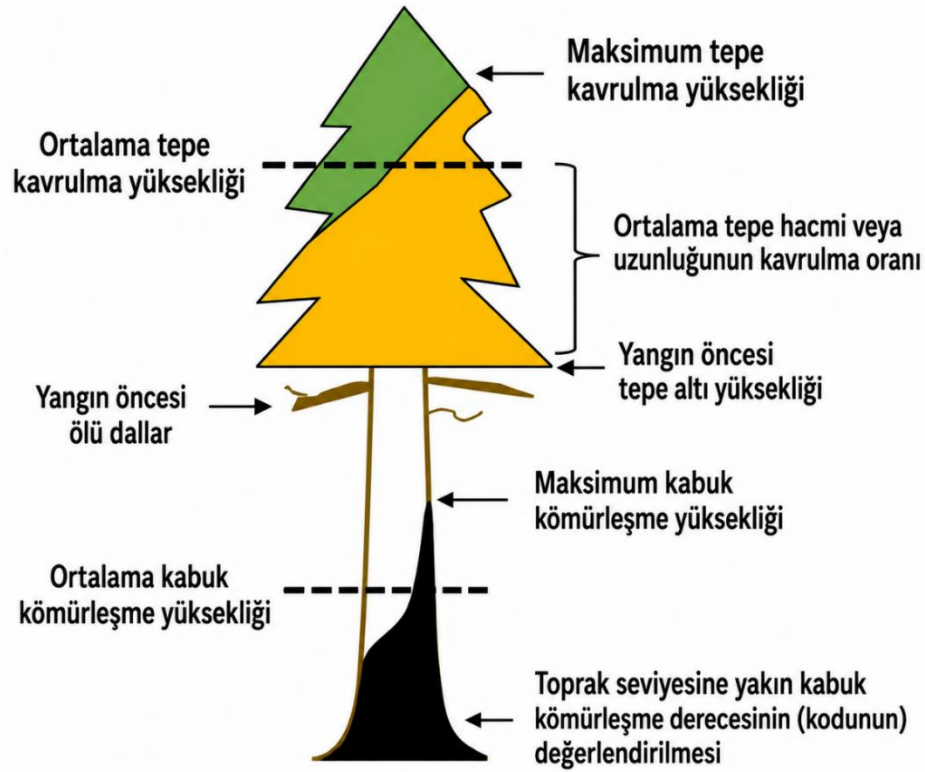
Alev boyu, yangın hattı şiddetinin sahada görsel olarak tahmin edilmesine olanak sağlayan temel yangın davranışı değişkenlerinden biridir. Yangın hattı şiddeti ile alev boyu arasındaki empirik ilişki sayesinde yangının enerji çıkışı nicel olarak değerlendirilebilmekte ve yangın davranışı sınıflandırılabilir (Byram, 1959; Alexander, 1982). Örtü yangını şiddetinin tepe yangınına geçiş potansiyelinin belirlenmesinde kullanılması nedeniyle, alev boyu tepe yangını riskinin değerlendirilmesinde de dolaylı bir parametre olarak yer almaktadır (Scott, 2001). Dolayısıyla alev boyuna bağlı olarak,

yangın şiddetinin ağaçların canlı kalmasındaki etkisini gözlemlemek için bu parametre orman yangını araştırmalarında sıkça kullanılmaktadır.

Alev boylarının belirlenmesi hem sahada çekilen fotoğraflar hem de video kayıtlarından elde edilen kareler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ölçümlerde tek görüntülü fotogrametri (single-image photogrammetry) tekniği uygulanmıştır. Bu yöntemde, her görüntüde alevle aynı düzlemde bulunan ve gerçek boyutu bilinen referans nesneler kullanılarak ölçeklendirme yapılmıştır. Fotoğraf ve videolardan seçilen karelerde alev yüksekliği, referans uzunluklar kullanılarak piksel-uzunluk dönüşümüyle hesaplanmış; her yanma denemesi için birden fazla görüntü analiz edilerek ortalama alev boyu elde edilmiştir. Bu işlemlerde Adobe Photoshop (Version 25.0) yazılımındaki Cetvel Aracı kullanılmıştır (Adobe Inc., 2024).

Ağaç Tepe Hasarı Yüzdesinin Belirlenmesi

Ağaç tepehasarı yüzdesi, ağaç tepe yanıklığı uzunluğu ile tüketimin yanmadan önceki toplam ağaç tepe uzunluğuna bölünmesiyle belirlenmiştir (Hood vd., 2020). Tüm yükseklikler elektronik boy ölçer (HAGLOF Vertex IV) kullanılarak ölçülmüştür (Şekil 4).



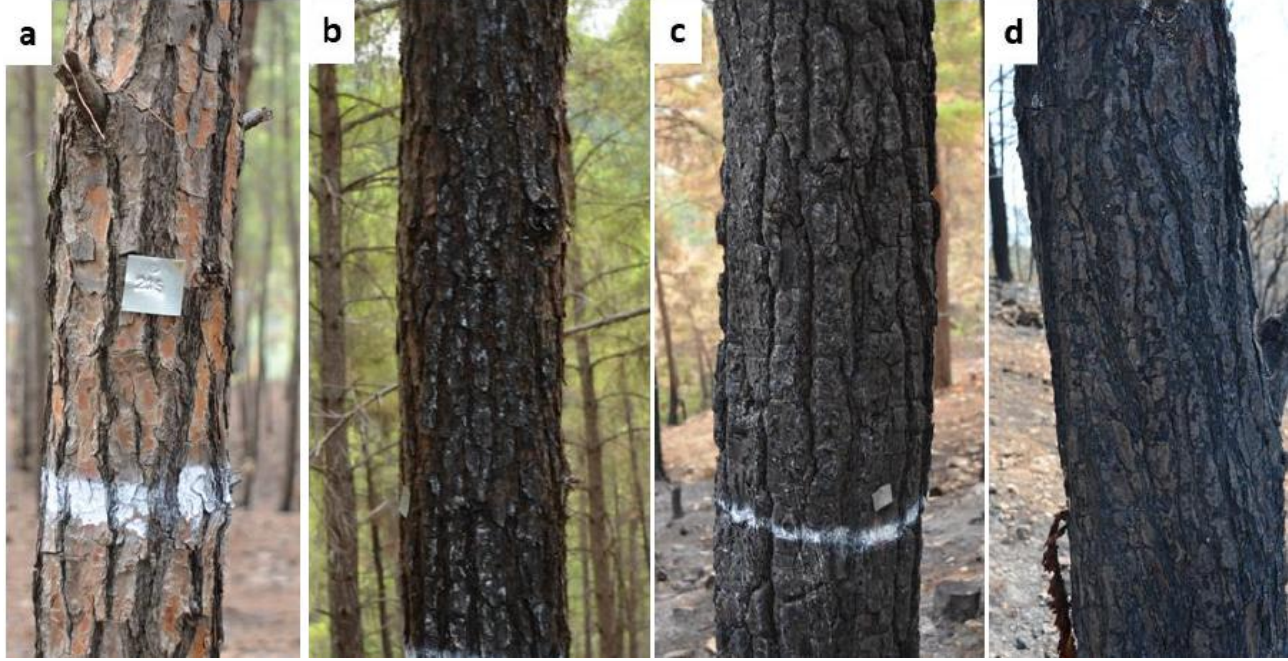
Şekil 4. Tepe kavrulması ve kabuk kömürleşmesinin nasıl değerlendirileceğine ilişkin örnek gösterim (Hood vd., 2020)

Gövde Hasarının Belirlenmesi

Gövde hasarı belirlenirken, her ağaç gövdesi ana yönler (kuzey, güney, doğu ve batı) dikkate alınarak dört eşit bölüme (kadrana) ayrılmış, her bölümdeki hasar düzeyi ayrı ayrı gözlemlenip kaydedilmiştir (0: Hasar yok, 1: Düşük, 2: Orta, 3: Derin hasar). Ortalama kabuk kömürleşme kodu dört yöndeki değerlerin ortalaması alınarak hesaplanmıştır (Şekil 4, 5, Çizelge 3).

Çizelge 3. Kabuk kömürleşme kodları ve kabuk görünümünün tanımlanması (Ryan, 1982; Hood vd., 2008) den uyarlanmıştır

Kabuk kömürleşme kodu	Kabuk görünümü
0 Hasar yok	Kömürleşme yoktur
1 Düşük	Türün kabuk özellikleri seçilebilir, plaka kenarları kömürleşmiş ama tam kararmamıştır.
2 Orta	Kabuk iç çatlaklar dışında siyah, tür özellikleri ayırt edilebilir.
3 Derin	Kabuk oduna doğru yanmış, dış kabuk özellikleri kaybolmuştur.



Şekil 5. Ağaç gövdesinde kabuk kömürleşme kodlarının tanımlanması (1.30 m yüksekliğinde kızılçam örneği)
a) Yanmamış (Hasar yok) b) Az yanmış c) Orta derecede yanmış d) Çok yanmış (Derin) (Güney ve Güney, 2024)

Kambiyum Hasarının Belirlenmesi

Kambiyum hasarının değerlendirilmesi amacıyla, her ağaç gövdesi ana yönler (kuzey, güney, doğu ve batı) esas alınarak dört bölüme ayrılmıştır. Her bölümün orta noktasından bir kambiyum örneği alınarak her ağaç için kambiyum öldürme derecesi belirlenmiştir (0: Hasar yok (canlı), 1: Hasar var (ölü)). Örnekleme işlemi, Hood vd. (2007)'de tanımlanan yöntemlere benzer biçimde, artım burgusu kullanılarak kabuktan başlayıp öz oduna kadar delinmek suretiyle gerçekleştirilmiştir (Şekil 6). Alınan örnekler sahada renk ve doku özellikleri açısından görsel olarak değerlendirilmiştir. Ölü kambiyum genellikle koyu renkli, reçine ile doymuş ve sert dokuluyken; canlı kambiyum açık renkli, nemli ve esnektir (Fettig vd., 2010) (Şekil 6).



Şekil 6. Artım burgusu (a) ile artım kalemi alma (b) ve kambiyum zararı tespiti (c)

Her bir parselde, ölü ve ölmekte olan ağaçları belirlemek amacıyla parseldeki ağaçların tamamı incelenmiştir. Ağaç ölümünün geri döndürülemez bir göstergesi olarak kabul edilen ağaç tepelerinin genelinde solma durumu, her bir ağaç için tür bilgisi, göğüs çapı, ağaç tepe rengi, gövde kömürleşmesinin minimum, maksimum ve ortalama yükseklikleri ile ağaç tepe hasar oranı (%) belirlenmiştir. Araştırmalar yakma işlemlerinden sonra başlamış ve yıl boyunca gözlemler devam etmiştir.



Şekil 7. Tepe zararı, gövde kömürleşme yüksekliği, tepe altı yüksekliği ve ağaç boyunun arazi koşullarında ölçümü



Şekil 8. Kabuk kalınlıklarının ölçümü

Verilerin Değerlendirilmesi

Bu çalışmada incelenen temel parametre, ağaç ölüm oranıdır. Kontrollü yakmalar sonrasında alanda ölçülen değişkenler; çap (cm), boy (m), kabuk kalınlığı (cm), tepe altı yüksekliği (m), ortalama kabuk kalınlığı (cm), ortalama kömürleşme yüksekliği (m), tepe zararı (%), diri örtü boyu (m), ölü ve diri örtü derinlikleri (cm) ve kambiyum zararı (0: Hasar yok (canlı), 1: Hasar var (ölü)) olarak belirlenmiştir (Şekil 5-9). Ağaç ölüm oranı ile ölüm oranını etkileyen faktörler arasındaki ilişkiyi

belirlemek amacıyla, IBM SPSS Statistics (Version 29.0) programı kullanılarak korelasyon analizi gerçekleştirilmiştir. (IBM Corp., 2024).

SONUÇ VE TARTIŞMA

Yapılan ölçümler sonucunda ortalama nem içerikleri; ölü ince yanıcı maddelerde %17.33, yarı ayrılmış organik tabakada %93.42 ve ince canlı yanıcı maddelerde %73.62 olarak belirlenmiştir. Kontrollü yakmaların yapıldığı saatlerde ortalama sıcaklık 18 °C, rüzgâr hızı 7.97 km/s, ortalama nispi nem %41.14 olarak kaydedilmiştir. Sıcaklık en düşük 17.3 °C, en yüksek 18.3 °C, rüzgâr hızı en düşük 5.04, en yüksek 11.16 m/dk, nispi nem en düşük %37, en yüksek %45 olarak gerçekleşmiştir (Çizelge 4-5).

Çizelge 4. Kontrollü yakma sonuçlarına ait bilgiler

Değişken	Ortalama	SS	Min	Maks
Yangın yayılma oranı (m/dk)	3.84	0.882	2.50	5.0
Yangın şiddeti (kW/m)	844.938	458.28	206.15	1425.51
Tüketilen ölü örtü yanıcı miktarı (kg/ m ²)	0.307	0.278	0.10	0.76
Tüketilen diri örtü yanıcı miktarı (kg/ m ²)	0.43	0.198	0.17	0.76

Çizelge 5. Mevsimlere göre gerçekleşen meteorolojik parametreler

İstasyon Adı	Mevsim	Yıl	Ortalama Sıcaklık (°C)	Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	Ortalama Rüzgâr Hızı (km/s)	En Yüksek Rüzgâr Hızı (km/s)	Hâkim Rüzgâr Yönü	Ortalama Nisbi Nem (%)	En Yüksek Nisbi Nem (%)
Nebiler	İlkbahar	2024	14.5	8.9	21.1	2.2	15.0	N	67.6	98.7
Nebiler	Yaz	2024	18.6	12.6	25.4	2.2	14.4	NNW	63.0	97.2
Nebiler	Sonbahar	2024	18.8	12.7	25.7	2.2	14.5	N	62.1	96.9

Ölçülen minimum ve maksimum değerler arasındaki dar aralık, yanma sürecinin ani şiddet değişimleri göstermeden mutedil şekilde ilerlediğini ortaya koymaktadır. Bu durum, özellikle örtü yangınlarında alev boyu, yayılma hızı ve ısı açığa çıkışının yönetilebilir seviyelerde kalmasını sağlayarak hem uygulama güvenliği hem de hedeflenen yanıcı madde tüketiminin homojenliği açısından uygun bir ortam oluşturmuştur. Bu bulgular, en uygun kontrollü yakma koşullarının genellikle 8-16 °C hava sıcaklığı, %40–65 bağıl nem ve 4–12 km/s aralığında sabit yüzey rüzgâr hızlarının birlikte sağlandığı durumlarda oluştuğunu belirten Fernandes vd. (2022) ile büyük ölçüde uyumludur. Ayrıca yangın şiddeti değerleri en düşük 206.15 kW/ m en yüksek 1425.51 kW /m/m/molarak belirlenmiştir (Çizelge 6).

Çizelge 6. Kontrollü yakma günündeki gerçekleşen meteorolojik parametreler

İstasyon Adı	Tarih	Saat	Sıcaklık (°C)	Rüzgâr hızı (km/s)	Rüzgâr yönü	Nisbi Nem (%)
Nebiler	11.03.2024	11:52	17.4	7.92	SE	45
Nebiler	11.03.2024	12:02	17.3	9.36	SSE	44
Nebiler	11.03.2024	12:12	17.7	5.04	E	43
Nebiler	11.03.2024	12:22	17.9	7.56	SE	42
Nebiler	11.03.2024	12:32	17.9	11.16	SSW	40
Nebiler	11.03.2024	12:42	18.1	5.04	SSE	40
Nebiler	11.03.2024	12:52	18.2	11.16	S	42
Nebiler	11.03.2024	13:02	18.3	5.04	S	37
Nebiler	11.03.2024	13:12	18.4	6.84	SSW	40
Nebiler	11.03.2024	13:22	18.4	6.84	SSE	38
Nebiler	11.03.2024	13:32	18.7	8.64	SSE	39
Nebiler	11.03.2024	13:42	18.2	10.44	S	42
Nebiler	11.03.2024	13:52	17.4	11.16	S	40
Nebiler	11.03.2024	14:02	18.1	5.4	SSE	44

Bu değerler, Bilgili (2014) tarafından önerilen yangın şiddeti sınıflandırmasına göre düşük, orta ve yer yer yüksek şiddetli örtü yangını aralığında yer almakta olup, üst sınır değerleri sınırlı düzeyde pasif tepe yangını eşiğine yaklaşmaktadır. Buna rağmen çalışma alanında herhangi bir ağaç ölümü gözlenmemiştir. Literatürde, yangın şiddetinin ağaç ölümü üzerinde önemli bir belirleyici olduğu ve özellikle 500 kW m⁻¹'nin üzerindeki yangınlarda mortalitenin artma eğiliminde olduğu belirtilmektedir (Chatto ve Tolhurst, 2004; Bilgili, 2014; Bilgili vd., 2021).

Ancak bu çalışmada mortalitenin gözlenmemesi; örneklenen bireylerin büyük çaplı olması, kalın kabuk yapısına sahip bulunmaları, yüksek tepe altı yükseklikleri sayesinde alev temasının sınırlı kalması ve kontrollü yakmanın ilkbahar döneminde, daha yüksek yanıcı madde neminin olduğu zamanlarda yapılması ile açıklanabilir. Nitekim kalın kabuk yapısı ve yüksek tepe altı yüksekliği gibi morfolojik özelliklerin ağaçların yangına dayanıklılığını artırdığı, özellikle düşük ve orta şiddetli yangınlarda kambiyum hasarını sınırlayarak mortaliteyi azalttığı; benzer şekilde uygun mevsim koşullarında gerçekleştirilen kontrollü yakmaların ise ağaç ölümlerini önemli ölçüde düşürdüğü farklı çalışmalarda ortaya konmuştur (Pausas, 2015; Battipaglia vd., 2016; Hood vd., 2018; Niccoli vd., 2019). Nitekim düşük ve orta şiddetli yangınlarda gövde ve ağaç tepe hasarının sınırlı kalması ağaçların hayatta kalma olasılığını artırırken, yüksek şiddetli yangınlarda artan kabuk ve ağaç tepe hasarı mortaliteyi yükseltebilmektedir (Chatto ve Tolhurst, 2004).

Bu çalışmada kontrollü yakmaların yapıldığı dönemde bağıl nemin yüksek, hava sıcaklığının ve rüzgâr hızının ise düşük seviyelerde seyretmesi yangın davranışını sınırlayarak yangın şiddetinin ve gövdeye aktarılan ısı miktarının düşük kalmasına sebep olabilir. Yapılan ölçümler sonucunda özellikle yarı ayrılmış organik tabaka ile canlı yanıcı maddelerde belirlenen yüksek nem içerikleri, yanmanın sürekliliğini ve ısı üretimini sınırlandıran etkenler olarak ta değerlendirilebilir. Bu durum, yangının büyük ölçüde ölü örtüde bulunan yanıcı maddeler ile sınırlı kalmasına ve ağaç gövdelerinde kambiyum dokusunun ölümüne yol açabilecek düzeyde bir ısı etkisinin oluşmamasına sebep olabildiği değerlendirilmiştir. Bu bulgu, kontrollü yakmalarda meteorolojik koşulların yangın şiddeti ve buna bağlı ekolojik etkiler üzerindeki belirleyici rolünü ortaya koyması açısından önem taşımaktadır.

Ağaç tepe/Tepe Hasarı Sonuçları

Tepe zararı ile yangın şiddeti ($r = -0.284$, $p < 0.05$), alev boyu ($r = -0.258$, $p < 0.05$), tepe altı yüksekliği ($r = -0.269$, $p < 0.01$) ve tüketilen diri örtü miktarı ($r = -0.335$, $p < 0.01$) arasında negatif ilişki saptanmış; tepe zararı, ortalama gövde kömürleşme yüksekliği ($r = 0.338$, $p < 0.01$) ve ortalama kabuk kömürleşme kodu ($r = 0.375$, $p < 0.01$) ile pozitif ilişkili bulunmuştur. Tepe zararı ile yangın şiddeti, alev boyu, tepe altı yüksekliği ve tüketilen diri örtü miktarı arasındaki negatif ilişkiler, kontrollü yakma koşullarında yangının büyük ölçüde örtü yangını karakterinde kaldığını göstermektedir. Tepe altı yüksekliği ile tepe zararı arasındaki negatif ilişki, yanıcı maddelerin dikey sürekliliğinin tepe yangını oluşumundaki belirleyici rolünü desteklemekte olup, tepe yangınına geçişin yalnızca yangın şiddetine değil, aynı zamanda tepe altı yüksekliği ve yanıcı madde sürekliliğine de bağlı olduğunu göstermektedir (Wagner, 1977; Alexander ve Cruz, 2012; Guo vd., 2024; Sharaf vd., 2025). Benzer şekilde, diri örtü tüketimi ile tepe zararı arasındaki negatif ilişki, yangın enerjisinin yüzey yanıcılarında tüketildiğini ve tepeye taşınmadığını ortaya koymakta, bu durum yanıcı madde sürekliliğinin azaltılmasının tepe yangını riskini düşürdüğünü belirten çalışmalarla uyum göstermektedir (Agee ve Skinner, 2005; Yi vd., 2025). Alev boyu ile tepe zararı arasındaki negatif ilişki, alev boyunun tek başına ağaç tepe hasarını açıklayan bir değişken olmadığını düşündürmektedir. Yangın davranışı çalışmalarında alev boyunun yangın şiddetinin önemli bir göstergesi olduğu ve alev boyu arttıkça ağaç tepe kavrulma yüksekliğinin de artma eğilimi gösterdiği belirtilmektedir (Burrows vd., 1989; Chatto ve Tolhurst, 2004).

Bununla birlikte, tepe tacında meydana gelen hasarın düzeyi yalnızca alev boyuna değil, aynı zamanda tür özellikleri, ağaç boyutu ve ağaç tepe yapısına bağlı olarak da değişebilmektedir. Özellikle tür direnci ve tepe tacı morfolojisi, yangın sonrasında gözlenen tepe tacı kavrulması ile gerçek doku ölümü arasındaki farklılıkların açıklanmasında önemli rol oynamaktadır. Bazı türlerde ibreler yüksek sıcaklık etkisiyle kavrulmuş görünmesine rağmen sürgün ve tomurcuk dokuları canlılığını koruyabilmektedir. Büyük ve yaşlı ağaçlarda tepe altı yüksekliğinin daha fazla olması, bu bireylerin düşük alev uzunluğuna sahip örtü yangınlarından daha az etkilenmesine neden olmaktadır. Buna karşılık fidanlar ve genç ağaçlar (özellikle 20 yaş altı bireyler), düşük şiddetli yangınlarda dahi tepe ağaç tepelerinin tamamen kavrulması nedeniyle daha yüksek ölüm riski taşımaktadır (De Ronde, 1982; Wirth vd., 1999; Fernandes vd., 2008). Bunun yanı sıra, tepe tacı kavrulma yüksekliği yalnızca yangının davranışıyla değil, aynı zamanda çevresel koşullarla da ilişkilidir. Hava sıcaklığı, rüzgâr hızı ve yaprakların nem içeriği gibi faktörler yangın sırasında oluşan ısı transferini etkileyerek ağaç tepe kavrulmasının düzeyini değiştirebilmektedir (Peterson ve Ryan, 1986; Burrows vd., 1989).



Şekil 9. Ağaç tepelerindeki sararmalar ve yeniden canlanmalar

Tepe zararı ile ortalama gövde kömürleşme yüksekliği ve ortalama kabuk kömürleşme kodu arasında belirlenen pozitif ilişkiler, yangın sırasında ağaçların maruz kaldığı ısı akışı ve yangın şiddeti ile doğrudan ilişkilidir. Yangın şiddeti arttıkça alevlerin dikey gelişimi ve gövde üzerinde oluşan termal etki artmakta, bunun sonucunda gövde kömürleşme yüksekliği de artmaktadır. Aynı zamanda artan konveksiyon ve radyasyon ısı, tepe tacı dokularının daha yüksek sıcaklıklara maruz kalmasına neden olarak tepe yanığı veya tepe zararının artmasına yol açmaktadır (Rothermel, 1972; Wagner, 1973).

Deneysel ve gözlemsel çalışmalar, gövde kömürleşme yüksekliğinin ve kabuk kömürleşme şiddetinin yangın sırasında oluşan alev boyu ve örtü yangınında oluşan şiddetin önemli göstergeleri olduğunu ortaya koymuştur (Ryan ve Reinhardt, 1988; Hood vd., 2008). Bu nedenle gövde kömürleşmesi ve tepe kavrulması gibi yangın etkisi göstergeleri, yangın sonrası ağaç hasarının değerlendirilmesinde birlikte kullanılan temel parametrelerdir (Peterson ve Ryan, 1986). Bu bağlamda çalışmada elde edilen bulgular, yangın sırasında gövde üzerinde oluşan kömürleşme şiddeti ve yüksekliğinin artmasının, ağacın ağaç tepe kısmına ulaşan ısı etkisinin arttığını ve bunun da tepe zararının artmasında etkili olduğu ifade edilebilir.

Yangın hasarı, genellikle tepe tacı, gövde ve kök düzeyinde ortaya çıkar. Bu hasar türleri arasında ağaç tepe hasarı en kolay gözlemlenebilirken, kök hasarının çoğunlukla ölçülmesi güçtür. Gövde kömürleşme yüksekliği ile kavrulan veya tüketilen ağaç tepe yüzdesi, ağaç ölçeğinde yangın hasarını tanımlamak için yaygın olarak kullanılan göstergelerdir (Peterson, 1985; Stephens ve Finney, 2002).

Çalışma alanında yapılan kontrollü yakma uygulaması sonrasında incelenen bazı ağaçların tepelerinde zararlar gözlemlenmiştir. Toplam 64 ağacın 16'sında (%25) farklı şiddet düzeylerinde tepe zararları meydana gelmiştir (Şekil 9). Yakılan alanda örtü tabakasında başlayan yangın tepe yangınına dönüşmese de alt tabakada bulunan diri örtünün yanmasıyla birlikte oluşan radyasyon ve konveksiyon ısıyla birlikte ağaçların alt dallarındaki ibrelerin bu ısıdan kaynaklı olarak kavrulduğu ve sonrasında sarardığı görülmüştür. İlerleyen zaman diliminde kavrulan ve sararan ağaçların tamamının ağaç tepelerini yeniden oluşturduğu gözlemlenmiştir. Tepe tacı hasarı, birçok kozalaklı türde yangın sonrası ölümlerin başlıca nedeni olarak tanımlanmıştır (Ryan ve Reinhardt, 1988; Rigolot, 2004).

Bununla birlikte, yaprak dökümüne verilen tepkilerde türler arasında önemli farklılıklar bulunmaktadır. Bazı türler yaprak dökümünde belli bir eşik aşıldığında tamamen ölürken, diğerleri tüm yapraklarını kaybetse dahi epikormik sürgünler (Bond ve Van Wilgen, 2012) veya yaprak tomurcuklarından gelişen yeni sürgünlerle ağaç tepe taçlarını yeniden oluşturabilmektedir (Thies vd., 2006).

Türkiye’de yürütülen yangın sonrası ağaçların canlılık durumlarının incelenmesi ve modellenmesine yönelik bir çalışmada, Güney vd. (2024), epikormik tomurcuk oluşturma kapasitesi yüksek ve yangına adaptasyon göstermiş türler düşük tomurcuk kaybı nedeniyle %100 ağaç tepe yanıklığına rağmen yangından sonraki ilk büyüme sezonunda hayatta kalabildiğini ve yeni yapraklar geliştirebildiğini bildirmiştir. Bu bulgular, çalışmamızda elde edilen sonuçlarla da uyum göstermektedir.

Hayatta Kalma Değerleri

Korelasyon analizleri (Şekil 10), incelenen değişkenler arasında çeşitli düzeylerde anlamlı ilişkiler bulunduğunu ortaya koymuş ve kontrollü yakmaların oluşturduğu ısıl etkinin ağaç bileşenleri üzerindeki etkilerini daha ayrıntılı biçimde değerlendirme imkânı sunmuştur.

(Açıklamalar: YŞ: Yangın şiddeti, ATMS: Ateşe maruz kalma süresi, AB: Alevboyu, TD: Tüketilen diri örtü, TÖ: Tüketilen ölü örtü, ÖD: Ölü örtü derinliği, DB: Diri örtü boyu, GY: Ortalama gövde kömürleşme yüksekliği, KKK: Ortalama kabuk kömürleşme kodu, KK: Ortalama kabuk kalınlığı, TAY: Tepe altı yüksekliği, TZ: Tepe zararı, BOY: Boy, ÇAP: Çap)

Parametre	YŞ	ATMS	AB	TD	TÖ	ÖD	DB	GY	KKK	KK	TAY	TZ	BOY	ÇAP
YŞ	1.000	-0.586**	0.748**	0.867**	0.864**	-0.643**	0.146	-0.355**	-0.383**	0.359**	0.110	-0.284*	0.160	0.197
ATMS	-	1.000	-0.297*	-0.478**	-0.206	0.824**	-0.090	0.433**	0.513**	-0.239	-0.165	0.124	0.124	0.067
AB	-	-	1.000	0.530**	0.788**	-0.232	0.012	-0.153	-0.234	0.176	0.071	-0.258*	0.151	0.198
TD	-	-	-	1.000	0.612**	-0.641**	0.185	-0.384**	-0.363**	0.243	-0.038	-0.335**	0.095	0.043
TÖ	-	-	-	-	1.000	-0.287*	0.103	-0.144	-0.183	0.328**	0.116	-0.197	0.267*	0.367**
ÖD	-	-	-	-	-	1.000	-0.218	0.422**	0.414**	-0.287*	-0.021	0.209	0.038	0.056
DB	-	-	-	-	-	-	1.000	0.076	0.413**	0.103	0.076	0.129	-0.002	0.017
GY	-	-	-	-	-	-	-	1.000	0.390**	-0.124	-0.211	0.338**	0.094	0.103
KKK	-	-	-	-	-	-	-	-	1.000	-0.185	-0.113	0.375**	-0.136	0.047
KK	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.000	0.140	0.049	0.346**	0.456**
TAY	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.000	-0.269*	0.403**	0.144
TZ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.000	-0.098	0.046
BOY	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.000	0.422**
ÇAP	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.000



Şekil 10. Korelasyon analizi sonuçları

Korelasyon analizleri, yangın şiddetinin tüketilen diri örtü yanıcı madde miktarı ($r = 0.867$, $p < 0.01$) ve tüketilen ölü örtü yanıcı madde miktarı ($r = 0.864$, $p < 0.01$) ile pozitif yönlü ilişkili olduğunu göstermiştir. Alev boyu ile yangın şiddeti arasında pozitif bir ilişki ($r = 0.748$, $p < 0.01$), ölü örtü derinliği ($r = -0.643$, $p < 0.001$) ve ateşe maruz kalma süresi ($r = -0.586$, $p < 0.01$) ile yangın şiddeti arasında ise negatif bir ilişki belirlenmiştir. Bunun yanında yangın şiddeti ile gövde kömürleşme yüksekliği ($r = -0.355$, $p < 0.01$) ve kabuk kömürleşme kodu ($r = -0.383$, $p < 0.01$) arasında negatif ilişkiler de dikkat çekmektedir. Yangın şiddeti ile yanıcı madde tüketimi arasında karşılıklı ve doğrudan bir ilişki bulunmaktadır. Yangın şiddeti açığa çıkan termal enerji miktarını belirlerken, yanıcı madde tüketimi bu enerjinin temel kaynağını oluşturur (Byram, 1959; Küçük, 2004; Bilgili vd., 2021).

Bununla birlikte, bu ilişkinin nasıl gerçekleştiği; yanıcı maddelerin ölü veya canlı olması, boyutu ve nem içerikleri gibi özelliklere bağlı olarak değişebilmektedir. Özellikle yangın şiddeti ile tüketilen diri örtü yanıcı madde miktarı arasında belirlenen güçlü ilişki (Bilgili vd., 2002; Bilgili ve Sağlam, 2003; Bilgili vd., 2006; Küçük vd., 2007; Sağlam vd., 2007; Küçük vd., 2008; Sağlam vd., 2008; Küçük vd., 2009; Dinç Durmaz vd., 2010; Küçük vd., 2010; Küçük vd., 2012; Bilgili vd., 2015; Küçük vd., 2015; Yavuz vd., 2018; Küçük vd., 2018), yangın sırasında açığa çıkan enerjinin büyük ölçüde yanma sürecinde tüketilen yanıcı madde miktarı tarafından kontrol edildiğini göstermektedir.

Ölü örtü yanıcı madde miktarı ile yangın şiddeti arasında belirlenen pozitif ilişki ise örtü yangınlarının davranışında özellikle ince ölü yanıcı maddelerin önemli rol oynadığını ortaya koyan çalışmalarla (Sağlam, 2002; Küçük, 2004; Bilgili vd., 2006; Sağlam vd., 2007; Küçük vd., 2007; Küçük vd., 2008; Sağlam vd., 2008c; Dinç Durmaz, 2014) uyumludur. Ölü örtüde bulunan ince yanıcı maddeler düşük nem içerikleri nedeniyle hızlı tutuşmakta ve yangının yayılma hızını artırarak yangın şiddetinin yükselmesine katkı sağlamaktadır (Brown vd., 1982; Catchpole vd., 1998). Bu bağlamda elde edilen bulgular,

yangın şiddetinin yalnızca yangının yayılma oranına değil aynı zamanda yangın sırasında tüketilen diri ve ölü yanıcı madde miktarına da güçlü biçimde bağlı olduğunu ortaya koymaktadır.

Çalışmada alev boyu ile tüketilen diri örtü ($r = 0.530$, $p < 0.01$) ve tüketilen ölü örtü ($r = 0.788$, $p < 0.01$) arasında güçlü pozitif ilişkiler bulunmuştur. Bu durum, yanıcı madde miktarının yangın davranışının temel belirleyicilerinden biri olduğunu göstermekte olup, artan ölü örtüdeki yanıcı maddelerin yangın hattı şiddetini yükselterek alev boyunu artırdığını ortaya koymakta olup literatürle uyumludur. (Byram, 1959; Rothermel, 1972). Buna karşılık, alev boyu ile ateşe maruz kalma süresi ($r = -0.297$, $p < 0.05$) arasındaki negatif ilişki, yüksek alev boyuna sahip yangınların daha hızlı ilerleyerek belirli bir noktada daha kısa süre etkili olduğunu göstermektedir. Bu durum, yangın şiddeti ile ateşe maruz kalma süresinin her zaman paralel olmadığını ortaya koymaktadır (Ryan ve Frandsen, 1991).

Alev boyu ile yangın şiddeti arasında belirlenen pozitif ilişki, yangın davranışı literatüründe yaygın olarak elde edilen bulgularla uyumludur. Yangın şiddetinin artmasıyla birlikte alevlerin dikey gelişiminin arttığı ve bunun daha uzun alev boyları ile sonuçlandığı birçok çalışmada gösterilmiştir (Byram, 1959; Alexander ve Cruz, 2006).

Ölü örtü derinliği ile yangın şiddeti arasında belirlenen negatif ilişki ise yanıcı madde yatağının fiziksel yapısının yangın davranışı üzerindeki etkisini ortaya koyan çalışmalarla tutarlıdır. Yanıcı madde derinliği ve istiflenme oranının artması, alev gelişimini azaltabilmektedir (Rothermel, 1972). Bu bağlamda elde edilen bulgular, yangın şiddetinin yalnızca yanıcı madde miktarı ile değil, aynı zamanda yanıcı maddenin diğer özellikleri ile de ilişkili olduğunu göstermektedir.

Ateşe maruz kalma süresi ile yangın şiddeti arasındaki negatif ilişki, yüksek şiddetli yangınların daha hızlı ilerleyerek belirli bir noktada daha kısa süre etkili olduğunu göstermektedir. Benzer şekilde, yangın şiddeti ile gövde kömürleşme yüksekliği ve kabuk kömürleşme kodu arasındaki negatif ilişkiler, artan yangın şiddetinin her zaman daha yüksek gövde hasarı oluşturmadığını ortaya koymaktadır. Bu durum, gövde hasarının yalnızca yangın şiddetiyle değil, ısıya maruz kalma süresinin de etkili olduğunu göstermektedir (Ryan ve Frandsen, 1991; Michaletz ve Johnson, 2006; Hood vd., 2018).

Bu çalışmadaki yangın şiddeti değerlerinin ve ısıya maruz kalma sürelerinin ağaç ölümlerini tetikleyecek seviyede olmadığı değerlendirilmiştir. Ölçülen yangın davranışı parametreleri (alev boyu, alev cephesi derinliği ve ateşe maruz kalma süresi), oluşan ısı yükünün özellikle büyük çaplı ve kalın kabuklu bireylerde kambiyal hasar oluşturacak düzeye ulaşmadığını ortaya koymuştur.

Ateşe maruz kalma süresi ile tüketilen diri örtü miktarı ($r = -0.478$, $p < 0.01$) negatif yönde ilişkili bulunurken, ölü örtü derinliği ($r = 0.824$, $p < 0.01$), ortalama kabuk kömürleşme kodu ($r = 0.513$, $p < 0.01$ ve gövde kömürleşme yüksekliği ($r = 0.433$, $p < 0.01$) ile pozitif bir ilişki göstermiştir. Bu sonuçlar, yangının bir noktadaki etkisinin büyük ölçüde yanıcı maddenin özellikleri ve özellikle ölü örtü tabakasının kalınlığı ile ilişkili olduğu değerlendirilebilir. Tüketilen diri örtü miktarı ile ateşe maruz kalma süresi arasındaki negatif ilişki, ince ve daha hızlı yanan ölü örtüdeki yanıcıların yangının ilerleme hızını artırarak belirli bir noktada maruz kalma süresini kısaltabileceğini göstermektedir. Bu bulgular, yangın etkilerinin yalnızca yangın şiddetiyle değil, aynı zamanda yanma süresi ve yanıcı madde özellikleri ile belirlendiğini ortaya koyan çalışmalarla uyumludur (Frandsen, 1991; Ryan ve Frandsen, 1991; Michaletz ve Johnson, 2006; Reiner vd., 2009; Hood vd., 2018).

Çalışmada belirlenen 206.15-1425.51 kW/m aralığındaki yangın şiddeti değerlerinde ölümünün gözlenmemesi bu çalışmanın yapıldığı şartlar altında görülen bir durum olarak değerlendirilmesi gerekmektedir. Zira yangın etkilerinin değerlendirilmesinin sadece yangın şiddetiyle açıklanamayacağı ifade edilebilir. Nitekim yangın etkisi, maksimum şiddetten ziyade toplam ısı dozu (sıcaklık×süre) ile de ilişkilidir (Hare, 1965; Peterson ve Ryan, 1986).

Isıl hasarı temsil eden ortalama kabuk kömürleşme kodu; diri örtü boyu ($r = 0.413$, $p < 0.001$), ölü örtü derinliği ($r = 0.414$, $p < 0.01$), ateşe maruz kalma süresi ($r = 0.513$, $p < 0.01$) ve ortalama gövde kömürleşme yüksekliği ($r = 0.390$, $p < 0.01$) ile pozitif yönlü ilişkili bulunmuştur. Ortalama gövde kömürleşme yüksekliği ayrıca ateşe maruz kalma süresi ($r = 0.513$, $p < 0.01$) ve ölü örtü derinliği ($r = 0.414$, $p < 0.01$) ile pozitif ilişkili bulunmuştur. Benzer şekilde gövde kömürleşme yüksekliği ile ölü örtü derinliği ($r = 0.422$, $p < 0.01$) arasındaki ilişki, ısıl etkinin yanıcı madde derinliği ile doğrudan bağlantılı olduğunu göstermektedir. Kabuk kömürleşme kodunun diri örtü boyu ve ölü örtü derinliği ile pozitif ilişkili bulunması, bu parametrelerin yangın sırasında oluşan alev gelişimi ve ısı transferini doğrudan etkilemesi ile açıklanabilir. Diri örtü boyunun artması, alevlerin dikey sürekliliğini ve alev temas süresini artırarak gövde yüzeyine ulaşan konvektif ve radyatif ısı akısını yükseltmektedir. Benzer şekilde ölü örtü derinliğinin artması, daha fazla yanıcı maddenin daha uzun süre yanmasına neden olarak ateşe maruz kalma süresini uzatmakta ve gövde üzerinde biriken ısıl etkiyi artırmaktadır (Rossa ve Fernandes, 2017; Dickinson vd., 2021).

Bu süreç, gövde boyunca daha yüksek sıcaklıklara ve daha uzun süreli ısı etkisine yol açarak kabuk dokusunda daha yüksek düzeyde kömürleşme oluşmasına neden olmaktadır (Hood vd., 2008). Elde edilen bu bulgular, yangın sırasında oluşan ısıl hasarın yalnızca yangın şiddeti ile değil, aynı zamanda yanıcı madde miktarı, yapısı ve yanma süresi ile kontrol edildiğini gösteren çalışmalarla uyumludur (Atchley vd., 2021; Dickinson vd., 2021). Ölü örtü derinliği ile tüketilen diri örtü yanıcı madde miktarı arasında negatif ($r = -0.641$, $p < 0.01$), tüketilen ölü ve diri örtü yanıcı madde miktarları arasında pozitif bir ilişki ($r = 0.612$, $p < 0.01$) belirlenmiştir. Ayrıca tüketilen diri örtü ile gövde kömürleşme yüksekliği ($r = -0.384$, $p < 0.01$) ve kabuk kömürleşme kodu ($r = -0.363$, $p < 0.01$) arasındaki negatif ilişkiler, hızlı ve yoğun yanmanın gövde üzerinde daha kısa süreli ısıl etki oluşturduğunu göstermektedir. Tüketilen ölü ve diri örtü yanıcı madde miktarları arasındaki pozitif ilişki, yangının daha sürekli ve enerjisinin yüksek olduğu şartlarda farklı özelliklerdeki yanıcı maddelerin tüketildiğini göstermektedir. Tüketilen diri örtü ile gövde kömürleşme yüksekliği ve kabuk kömürleşme kodu arasındaki negatif ilişkiler, ince ve hızlı yanan yanıcı maddelerin yangın ilerleme hızını artırarak bir noktadaki ısıya maruz kalma süresini azalttığı şeklinde yorumlanmıştır. Yangın sırasında ortaya çıkan ısı transferinin ve yanma süresinin, kambiyum hasarı ve tepe kavrulması oluşumunda belirleyici olduğunu göstermektedir (Hood vd., 2018; Dickinson vd., 2021). Ayrıca yanıcı madde özellikleri ve yangın davranışı parametrelerinin ağaç ölümünü açıklamada birlikte değerlendirilmesi gerektiği vurgulanmaktadır (Stephens vd., 2018; Cansler vd., 2020).

Bireysel Ağaç Özellikleri ve Yangın Direnci

Bireysel ağaç özelliklerine göre; ağaç boyu ile ortalama kabuk kalınlığı ($r = 0.346$, $p < 0.05$) ve tepe altı yüksekliği ($r = 0.403$, $p < 0.01$) arasında pozitif ilişki, ağaç çapı ile ortalama kabuk kalınlığı ($r = 0.456$, $p < 0.01$) ve ağaç boyu ($r = 0.422$, $p < 0.01$) arasında pozitif ilişki tespit edilmiştir. Bunun yanında tüketilen ölü örtü ile çap ($r = 0.367$, $p < 0.01$) ve boy ($r = 0.267$, $p < 0.05$) arasındaki ilişkiler, daha büyük çap ve boya sahip ağaçların bulunduğu alanlarda yanıcı madde tüketiminin daha yüksek olabileceğini göstermektedir. Ağaç boyu ile kabuk kalınlığı ($r = 0.346$, $p < 0.01$) ve tepe altı yüksekliği ($r = 0.403$, $p < 0.01$) arasındaki pozitif ilişkiler, ağaçların gelişim süreci boyunca hem boyut hem de yapısal özelliklerinin birlikte arttığını göstermektedir. Artan kabuk kalınlığı kambiyumu ısıl etkilerden koruyarak ağaçların yangına karşı direncini artırırken, daha yüksek tepe altı yüksekliği alevlerin ağaç tepe kısmına ulaşma olasılığını azaltabilmektedir. Nitekim kabuk kalınlığı ve tepe altı yüksekliği, yangına dayanıklılığı belirleyen temel morfolojik özellikler arasında yer almaktadır (Wagner, 1977; Pausas, 2015).

Bu bağlamda, yangın sırasında oluşan hasar yalnızca yangın şiddeti ile değil, aynı zamanda ısı akısı (heat flux) ve ateşe maruz kalma süresinin (residence time) birleşik etkisi ile belirlenmektedir. Kabuk kalınlığındaki artış, kambiyuma ulaşan ısıyı sınırlayarak kritik sıcaklık eşiklerine ulaşılmasını geciktirirken, daha yüksek tepe altı yüksekliği alev temasını azaltarak ağaç tepe hasarını sınırlandırmaktadır. Bu nedenle daha büyük çaplı ve uzun boylu bireyler, daha düşük kambiyum hasarı

ve sınırlı tepe kavrulması sayesinde yangın sonrası mortaliteye karşı daha dirençli olmaktadır (Ryan ve Reinhardt, 1988; Hood vd., 2008; Hood vd., 2018; Dickinson vd., 2021).

Çalışma alanında incelenen 64 ağacın kambiyum tabakasında herhangi bir zarar ve ağaç ölümü gözlenmemiştir. Çalışma sahasındaki ağaçların çap değerleri 19 cm ile 82 cm arasında değişmekte olup, ortalama çap 55.59 cm olarak belirlenmiştir. Ortalama gövde kömürleşme yüksekliği 1.33 m, ortalama kömürleşme derinliği ise hafif düzeyde (1) olarak tespit edilmiştir (yanma yok :0, hafif :1, orta: 2, derin: 3). Literatürde, kabuk kalınlığının yangın hasarına karşı koruyucu bir özellik taşıdığı uzun yıllardır vurgulanmaktadır (Martin, 1963; Peterson ve Ryan, 1986; Ryan ve Reinhardt, 1988). Nitekim kabuk kalınlığı arttıkça kambiyumun ölümcül sıcaklıklara maruz kalma olasılığı azalmaktadır (Vines, 1968). Bu sonuçlar, Akdeniz ekosistemlerinde yaygın olan kızılçamda kabuk kalınlığı, ağaç boyutu ve tepe tacı özelliklerinin yangına dayanıklılık ve ağaç mortalitesi üzerinde belirleyici olduğunu ortaya koyan çalışmalarla uyumludur (Dimitrakopoulos ve Papaioannou, 2001; Fulé vd., 2002; Hood vd., 2007; Mitsopoulos ve Dimitrakopoulos, 2007; Güney vd., 2024).

Mevsimsellik Etkisi ve Genel Değerlendirme

Bu çalışmada yakma işlemi, ilkbahar döneminde (Mart 2024) gerçekleştirilmiştir. Bazı bireylerde ağaç tepe hasarı ve gövde kömürleşmesi meydana gelmiş, ancak kambiyum tabakasında zarar tespit edilmemiştir. Mevsimsel etkinin ortaya konulabilmesi için ilkbahar ve sonbaharda farklı şartlar altında çok sayıda kontrollü yakmaların yapılmasına ihtiyaç bulunmaktadır.

Elde edilen bulgular, Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) meşcerelerinde gerçekleştirilen kontrollü yakmaların bireyler üzerindeki etkilerini ve yangın davranışını etkileyen parametreler arasındaki ilişkileri değerlendirmeyi amaçlamıştır. Çalışma sürecinde kontrollü yakma uygulanan alanlarda herhangi bir ağaç ölümü gözlemlenmemiş olması, uygun koşullar altında gerçekleştirilen kontrollü yakmaların Kızılçam bireylerinin canlılığını olumsuz etkilemeyebileceğine dair önemli bir bulgu olarak değerlendirilebilir. Ancak doğal yaşlı kızılçam meşcerelerinde kontrollü yakma uygulamalarının ağaçların hayatta kalma oranları üzerindeki etkilerinin daha kapsamlı ortaya konulabilmesi için, farklı meteorolojik koşullar, farklı uygulama dönemleri, farklı yangın şiddetleri ve farklı meşcere yapıları altında gerçekleştirilecek ilave kontrollü yakma çalışmalarına ihtiyaç bulunmaktadır.

TEŞEKKÜR/BİLGİLENDİRME

Bu çalışma, “Kontrollü Yakma ve Otlatma Tekniklerinin Yanıcı Madde Miktarının Azaltılmasında Uygulama İmkânlarının Belirlenmesi” başlıklı OGM tarafından desteklenen proje çalışması kapsamında elde edilen arazi verilerine dayanmaktadır. Projenin planlanması, uygulanması ve veri toplama süreçlerinde katkı sağlayan OGM çalışanlarına ve saha ekiplerine teşekkür ederiz. Ayrıca, çalışmanın yürütülmesine sağladığı kurumsal destekten dolayı Orman Genel Müdürlüğü’ne teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

Adobe Inc. (2024). Adobe Photoshop (Version 25.0) [Computer software]. Adobe Inc.

Agee, J.K., & Skinner, C.N. (2005). Basic principles of forest fuel reduction treatments. *Forest Ecology and Management*, 211(1-2), 83-96. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.01.034>

Albini, F.A. (1974). *Fire behavior estimation* (Numarasız rapor, 76 s.). USDA Forest Service, Northern Forest Fire Laboratory.

Alexander, M., & Bisgrove, G.F. (1990). Alexander, M. E., & Bisgrove, G. F. (1990). *The art and science of fire management*. In Proceedings of the First Interior West Fire Council Annual Meeting and Workshop, Kananaskis Village, Alberta, October 24-27, 1988.

Alexander, M.E. (1982). Calculating and interpreting forest fire intensities. *Canadian Journal of Botany*, 60(4), 349-357.

Alexander, M.E., & Cruz, M.G. (2006). Evaluating a model for predicting active crown fire rate of spread using wildfire observations. *Canadian Journal of Forest Research*, 36(11), 3015-3028. <https://doi.org/10.1139/x06-174>

- Alexander, M.E., & Cruz, M.G. (2012). Interdependencies between flame length and fireline intensity in predicting crown fire initiation and crown scorch height. *International Journal of Wildland Fire*, 21(2), 95-113. <https://doi.org/10.1071/WF11001>
- Altın, T.B., & Barak, B. (2014). Changes and trends in total yearly precipitation of the Antalya District, Turkey. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 120, 586-599. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.02.139>
- Anderson, H.E. (1982). *Aids to determining fuel models for estimating fire behavior*. The Bark Beetles, Fuels, and Fire Bibliography, 143.
- Atchley, A.L., Linn, R., Jonko, A., Hoffman, C., Hyman, J.D., Pimont, F., Sieg, C., & Middleton, R.S. (2021). Effects of fuel spatial distribution on wildland fire behaviour. *International Journal of Wildland Fire*, 30(3), 179-189. <https://doi.org/10.1071/WF20096>
- Battipaglia, G., Savi, T., Ascoli, D., Castagneri, D., Esposito, A., Mayr, S., & Nardini, A. (2016). Effects of prescribed burning on ecophysiological, anatomical and stem hydraulic properties in *Pinus pinea* L. *Tree Physiology*, 36(8), 1019-1031. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpw034>
- Baybaş, S., Akgün, Ö., Adıgüzel, E.D.C., Gürvardar, E.E., & Gökpinar, E. (2024). Orman yangınlarının tahmini için makine öğrenimi yaklaşımı: Türkiye uygulaması. *Veri Bilimi*, 7(2), 1-10. <https://izlik.org/JA83RB47NM>
- Bekerci, A., & Erkan, A. (2004). *Nisan 2000 tarihinde ülkemizde meydana gelen orman yangınlarının meteorolojik analizi*. DMİ Yayınları. Yayın (2004/03).
- Bilgili, E., Küçük, Ö., & Sağlam, B. (2002). Yangın davranışının tahmini ve yangınlarla mücadeledeki önemi. *Gazi Üniversitesi Kastamonu Orman Fakültesi Dergisi*, 2(2), 124-134. ISSN: 1303-2399.
- Bilgili, E., & Sağlam, B. (2003). Fire behavior in maquis fuels in Turkey. *Forest Ecology and Management*, 184(1-3), 201-207. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(03\)00208-1](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(03)00208-1)
- Bilgili, E., Dinç Durmaz, B., Sağlam, B., Küçük, Ö., & Baysal, İ. (2005). Kontrollü ve amaçlı yakma teknikleri ve kullanım alanları. In A. Gül (Ed.), *Korunan Doğal Alanlar Sempozyumu Bildiriler Kitabı* (ss. 393-402). Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi.
- Bilgili, E., Dinç Durmaz, B., Sağlam, B., Küçük, Ö., & Baysal, İ. (2006). Fire behaviour in immature calabrian pine plantations. *Forest Ecology and Management*, 234, S112. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2006.08.148>
- Bilgili, E., Dinç Durmaz, B., Alexander, M.E., Sağlam, B., Küçük, Ö., & Baysal, İ. (2010). The effect of pruning on crown fire behavior in a calabrian pine plantation, northeastern Turkey. In D. X. Viegas (Ed.), *Proceedings of the International Conference on Forest Fire Research*.
- Bilgili, E. (2014). Orman Koruma Dersi Geçici Ders Notları. In: Yayınlanmamış.
- Bilgili, E., Dinç Durmaz, B., Baysal, İ., Küçük, Ö., & Sağlam, B. (2015). The effects of fire intensity on seed germination and seedling growth in mature Calabrian pine (*Pinus brutia*) stands. In *International Wildland Fire Conference*, 12-16 Ekim, Pyeongchang, Güney Kore.
- Bilgili, E., Küçük, Ö., Sağlam, B., Baysal, İ., Durmaz, B.D., & Coşkun, K. (2021). Türkiye orman ekosistemlerinde yangınların ekolojik rolü. *Ekoloji ve Ekonomi Ekseninde Türkiye’de Orman ve Ormancılık*, Ankara: Sonçağ Akademi, 75-115.
- Bilgili, E., Küçük, Ö., Sağlam, B., & Coşkun, A. (2021). Mega forest fires: causes, organization and management, forest fires causes, effects, monitoring, precautions and rehabilitation activities. Kavzoğlu T. (Ed), Ankara Basım Yayın Hizmetleri, 3-23.
- Bilgili, E., Çakır, M., Ateş, M., Küçük, Ö., Güngör, A., Küçük, M., Yıldırım, N., Coşkun, A., & Harman, İ. (2025). Saf anadolu karaçamı ve sarıçam meşcerelerinde çıkan yangınlar ile kontrollü ve amaçlı yakma uygulamalarının; tohum çimlenme, fidan büyüme ve gelişimi ile toprak özellikleri ve mikroeklembacıkları üzerine olan etkilerinin belirlenmesi. TÜBİTAK Projesi, TOVAG poje grubu., Proje no 122O425., s-209.
- Bond, W.J., & Van Wilgen, B.W. (2012). *Fire and plants* (Vol. 14). Springer Science & Business Media.
- Boydak, M. (2004). Silvicultural characteristics and natural regeneration of *Pinus brutia* Ten. —a review. *Plant Ecology*, 171(1), 153-163. <https://doi.org/10.1023/B:VEGE.0000029373.54545.d2>
- Brown, J.K., Oberheu, R.D., & Johnston, C.M. (1982). *Handbook for inventorying surface fuels and biomass in the Interior West* (Vol. 129). US Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range.
- Buckman, R.E. (1964). Effects of prescribed burning on hazel in Minnesota. *Ecology*, 45(3), 626-629.
- Burrows, N., Woods, Y., Ward, B., & Robinson, A. (1989). Prescribing low intensity fire to kill wildings in *Pinus radiata* plantations in Western Australia. *Australian Forestry*, 52(1), 45-52.
- Byram, G. (1959). *Combustion of forest fuels*. In K. P. Davis (Ed.), *Forest fire: Control and use* (pp. 61-89). McGraw- Hill Book Company.
- Cansler, C.A., Hood, S.M., van Mantgem, P.J., & Varner, J.M. (2020). A large database supports the use of simple models of post-fire tree mortality for thick-barked conifers, with less support for other species. *Fire Ecology*, 16, 1-37. <https://doi.org/10.1186/s42408-020-00082-0>
- Catchpole, W., Catchpole, E., Butler, B., Rothermel, R., Morris, G., & Latham, D. (1998). Rate of spread of free-burning fires in woody fuels in a wind tunnel. *Combustion Science and Technology*, 131(1-6), 1-37.
- Chatto, K., & Tolhurst, K.G. (2004). A review of the relationship between fireline intensity and the ecological and economic effects of fire, and methods currently used to collect fire data. *Research Report No. 67, Forest Science Centre, Department of Sustainability and Environment, State of Victoria*.
- Costa, J., Oliveira, L., Viegas, D., & Neto, L. (1991). On the temperature distribution inside a tree under fire conditions. *International Journal of Wildland Fire*, 1(2), 87-96.
- Curry, J.R., & Fons, W.L. (1938). Rate of spread of surface fires in the ponderosa pine type of California. *Journal of Agricultural Research*, 57, 239-267.
- Davis, K.P. (1959). *Forest fuels*. In *Forest fire: Control and use*. McGraw-Hill.
- De Ronde, C. (1982). The resistance of *Pinus* species to fire damage. *South African Forestry Journal*, 122(1), 22-27.
- Dickinson, M.B., Wold, C.E., Butler, B.W., Kremens, R.L., Jimenez, D., Sopko, P., & O'Brien, J.J. (2021). The wildland fire heat budget—using bi-directional probes to measure sensible heat flux and energy in surface fires. *Sensors*, 21(6), 2135. <https://doi.org/10.3390/s21062135>
- Dimitrakopoulos, A., & Papaioannou, K.K. (2001). Flammability assessment of Mediterranean forest fuels. *Fire Technology*, 37(2), 143-152. <https://doi.org/10.1023/A:1011641601076>

- Dinç Durmaz, B., Bilgili, E., Sağlam, B., Küçük, Ö., & Baysal, İ. (2010). Fire behavior in thinned (1 year after thinning) and unthinned young Calabrian pine stands. In VI. *International Conference on Forest Fire Research*, 15–18 Kasım, Coimbra, Portekiz.
- Dinç Durmaz, B. (2014). Aralama görmüş genç kızılçam ağaçlandırma alanlarında yangın davranışı (Doktora Tezi). Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.
- Fajardo, A., Graham, J.M., Goodburn, J.M., & Fiedler, C.E. (2007). Ten-year responses of ponderosa pine growth, vigor, and recruitment to restoration treatments in the Bitterroot Mountains, Montana, USA. *Forest Ecology and Management*, 243(1), 50-60. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.02.006>
- Fernandes, P.M., Rossa, C.G., Madrigal, J., Rigolot, E., Ascoli, D., Hernando, C., Guiomar, N.G., & Guijarro, M. (2022). Prescribed burning in the European Mediterranean Basin.
- Fernandes, P.M., Vega, J.A., Jimenez, E., & Rigolot, E. (2008). Fire resistance of European pines. *Forest Ecology and Management*, 256(3), 246-255. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.04.032>
- Fettig, C.J., McKelvey, S.R., Cluck, D.R., Smith, S.L., & Otrrosina, W.J. (2010). Effects of prescribed fire and season of burn on direct and indirect levels of tree mortality in ponderosa and Jeffrey pine forests in California, USA. *Forest Ecology and Management*, 260(2), 207-218. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.04.019>
- Frandsen, W.H. (1991). Burning rate of smoldering peat. *Northwest Science*, 65(4).
- Fulé, P.Z., Covington, W.W., Smith, H., Springer, J.D., Heinlein, T.A., Huisinga, K.D., & Moore, M.M. (2002). Comparing ecological restoration alternatives: grand Canyon, Arizona. *Forest Ecology and Management*, 170(1-3), 19-41. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(01\)00759-9](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(01)00759-9)
- Guo, H., Kong, L., Gao, Y., Xiang, D., Li, Z., Gong, L., & Zhang, Y. (2024). Transition from surface fire to crown fire and effects of crown height, moisture content and tree flower. *Fire Technology*, 60(2), 1403-1419. <https://doi.org/10.1007/s10694-022-01262-x>
- Güney, C.O., & Güney, A. (2024). Orman yangınları sonrasında ağaçların canlılık durumlarının tahmin edilmesi. *Turkish Journal of Forestry*, 25(2), 220-232. <https://doi.org/10.18182/tjf.1441012>
- Güney, C.O., Güney, A., Sarı, A., Kavgacı, A., Ryan, K.C., & Hood, S.M. (2024). Modeling post-fire mortality of Turkish pine (*Pinus brutia* Ten.). *Forest Ecology and Management*, 572, 122265. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2024.122265>
- Güngör, A.G.T. (2024). Anadolu karaçamı (*Pinus nigra*) ve sarıçam (*Pinus sylvestris*) gençleştirme meşcerelerinde kontrollü yakma uygulamalarının toprak özellikleri ve mikroeklembacaklıları üzerine olan etkilerinin belirlenmesi (Doktora Tezi). Kastamonu Üniversitesi, Kastamonu.
- Güngör, A.G.T., Küçük, Ö., Küçük, M., & Bilgili, E. (2025a). Anadolu karaçamı (*Pinus nigra*) gençleştirme meşceresinde kontrollü yakmanın toprak özellikleri üzerine etkisi. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 26(2), 589–600. <https://doi.org/10.17474/artvinofd.1744865>
- Güngör, A.G.T., Küçük, Ö., Çakır, M., & Küçük, M. (2025b). Anadolu karaçamı (*Pinus nigra*) gençleştirme meşcerelerinde kontrollü yakma uygulamalarının mikroeklembacaklılar üzerine etkileri. *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences*, 10(6), 986–994. <https://doi.org/10.35229/jaes.1753830>
- Hare, R.C. (1961). Heat effects on living plants. USDA, Forest Service, *Southern Forest Experiment Station*, Occasional paper 183.
- Hare, R.C. (1965). Contribution of bark to fire resistance of southern trees. *Journal of Forestry*, 63(4), 248-251.
- Hayes, G.L. (1941). Influence of altitude and aspect on daily variations in factor of forest fire danger (Circular No. 591). U.S. Department of Agriculture.
- Henning, S.J., & Dickmann, D.I. (1996). Vegetative responses to prescribed burning in a mature red pine stand. *Northern Journal of Applied Forestry*, 13(3), 140-146.
- Hood, S., Ragenovich, I., Schaupp, W. (2020). Post-fire assessment of tree status and marking guidelines for conifers in Oregon and Washington. *USDA Forest Service. Pacific Northwest Region. General Technical Report*, R6-FHP-RO-2020-02.
- Hood, S.M., Cluck, D.R., Smith, S.L., & Ryan, K.C. (2008). Using bark char codes to predict post-fire cambium mortality. *Fire Ecology*, 4(1), 57-73. <https://doi.org/10.4996/fireecology.0401057>
- Hood, S.M., McHugh, C.W., Ryan, K.C., Reinhardt, E., & Smith, S.L. (2007). Evaluation of a post-fire tree mortality model for western USA conifers. *International Journal of Wildland Fire*, 16(6), 679-689. <https://doi.org/10.1071/WF06122>
- Hood, S.M., Varner, J.M., Van Mantgem, P., & Cansler, C.A. (2018). Fire and tree death: understanding and improving modeling of fire-induced tree mortality. *Environmental Research Letters*, 13(11), 113004. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aae934>
- IBM Corp. (2024). IBM SPSS Statistics for Windows (Version 29.0) [Computer software]. IBM Corp.
- Knapp, B.O., Stephan, K., & Hubbart, J.A. (2015). Structure and composition of an oak-hickory forest after over 60 years of repeated prescribed burning in Missouri, USA. *Forest Ecology and Management*, 344, 95-109.
- Knapp, E.E., Estes, B.L., & Skinner, C.N. (2009). *Ecological effects of prescribed fire season: a literature review and synthesis for managers*. General Technical Report PSW-GTR-224, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Research Station, Albany, CA.
- Knapp, E.E., Keeley, J.E., Ballenger, E.A., & Brennan, T.J. (2005). Fuel reduction and coarse woody debris dynamics with early season and late season prescribed fire in a Sierra Nevada mixed conifer forest. *Forest Ecology and Management*, 208(1-3), 383-397. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.01.016>
- Küçük, Ö. (2004). Kızılçamda yanıcı madde tiplerinin belirlenmesi, haritalanması ve karaçamda yangın davranışının tahmini (Doktora Tezi). KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Küçük, Ö. (2004). Yanıcı madde özellikleri ve yangın davranışına bağlı yangın potansiyelinin belirlenmesi ve haritalanması (Doktora Tezi). Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Küçük, Ö., Bilgili, E., & Baysal, İ. (2007). Fire development from a point source in surface fuels of a mature Anatolian black pine stand. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 31(4), 263–273.
- Küçük, Ö., Bilgili, E., Sağlam, B., Başkaya, S., & Dinç Durmaz, B. (2008). Some parameters affecting fire behavior in Anatolian black pine slash. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 32(2), 121–129.
- Küçük, Ö., Bilgili, E., Dinç Durmaz, B., Sağlam, B., & Baysal, İ. (2009). Örtü yangınının tepe yangınına geçişinde etkili olan faktörler. *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 9(2). <https://izlik.org/JA74HY77LK>
- Küçük, Ö., Bilgili, E., Sağlam, B., Dinç Durmaz, B., & Baysal, İ. (2010). Türkiye'de yangın davranışının belirlenmesine yönelik yapılan deneme yangınları. In III. *Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi*, 20–22 Mayıs, Artvin.

- Küçük, Ö., Bilgili, E., Bulut, S., & Fernandes, P.M. (2012). Rates of surface fire spread in a young Calabrian pine (*Pinus brutia* Ten.) plantation. *Environmental Engineering and Management Journal*, 11(8), 1475–1480. <https://doi.org/10.30638/eemj.2012.184>
- Küçük, Ö., Bilgili, E., & Fernandes, P.M. (2015). Fuel modeling and potential fire behavior in Turkey. *Sumarski List*, (11–12), 553–560.
- Küçük, Ö., Bilgili, E., & Uzumcu, R. (2018). Modeling surface fire rate of spread within a thinned Anatolian black pine stand in Turkey. *Forest Systems*, 27(2), e007. <https://doi.org/10.5424/fs/2018272-12507>
- Maissurow, D.K. (1935). Fire as a necessary factor in the perpetuation of white pine. *Journal of Forestry*, 33(4), 373–378.
- Martin, R.E. (1963). A basic approach to fire injury of tree stems. In *Proceedings of the Second Annual Tall Timbers Fire Ecology Conference*. March 14–15, 1963: Tallahassee, Florida. p. 151–162.
- McArthur, A.G. (1968). The Tasmanian bushfires of 7th February, 1967, and associated fire behaviour characteristics. Conference Papers, Second Australian National Conference on Fire, Australian Fire Protection Association, Melbourne, Victoria, ss. 25–48.
- MGM. (2025). 18016 Nolu Meteoroloji İstasyonundan Ölçülmüş Veriler. M.G. Müdürlüğü.
- Michaletz, S., & Johnson, E. (2006). Foliage influences forced convection heat transfer in conifer branches and buds. *New Phytologist*, 170(1), 87–98. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2006.01661.x>
- Mitsopoulos, I.D., & Dimitrakopoulos, A.P. (2007). Canopy fuel characteristics and potential crown fire behavior in Aleppo pine (*Pinus halepensis* Mill.) forests. *Annals of Forest Science*, 64(3), 287–299. <https://doi.org/10.1051/forest:2007006>
- Neumann, D.D., & Dickmann, D.I. (2001). Surface burning in a mature stand of *Pinus resinosa* and *Pinus strobus* in Michigan: effects on understory vegetation. *International Journal of Wildland Fire*, 10(1), 91–101. <https://doi.org/10.1071/WF01021>
- Neyişçi, T. (1986). *Antalya bölgesi kızılçam orman alanlarında kontrollü yangınların toprak besin maddesi üzerine yaptığı etkiler ve bu etkiler ile kızılçam gençliğinin gelmesi ve gelişmesi arasındaki ilişkiler* (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Niccoli, F., Esposito, A., Altieri, S., & Battipaglia, G. (2019). Fire severity influences ecophysiological responses of *Pinus pinaster* Ait. *Frontiers in Plant Science*, 10, 539. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00539>
- OGM. (2025). Orman Genel Müdürlüğü 2024 Yılı Orman Yangınları ile Mücadele Değerlendirme Raporu.
- Pausas, J.G. (2015). Bark thickness and fire regime. *Functional Ecology*, 29(3), 315–327. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.12372>
- Peterson, D.L. (1985). Crown scorch volume and scorch height: estimates of postfire tree condition. *Canadian journal of forest research*, 15(3), 596–598.
- Peterson, D.L., & Ryan, K.C. (1986). Modeling postfire conifer mortality for long-range planning. *Environmental Management*, 10(6), 797–808.
- Pollet, J., & Omi, P.N. (2002). Effect of thinning and prescribed burning on crown fire severity in ponderosa pine forests. *International Journal of Wildland Fire*, 11(1), 1–10. <https://doi.org/10.1071/WF01045>
- Pyne, S.J., Andrews, P.L., & Laven, R.D. (1996). *Introduction to Wildland Fire* (2nd Ed., 769 s.). John Wiley & Sons.
- Redmann, R., Romo, J., Pylypec, B., & Driver, E. (1993). Impacts of burning on primary productivity of *Festuca* and *Stipa-Agropyron* grasslands in central Saskatchewan. *American Midland Naturalist*, 262–273.
- Reiner, A.L., Vaillant, N.M., Fites-Kaufman, J., & Dailey, S.N. (2009). Mastication and prescribed fire impacts on fuels in a 25-year old ponderosa pine plantation, southern Sierra Nevada. *Forest Ecology and Management*, 258(11), 2365–2372. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.07.050>
- Rigolot, E. (2004). Predicting postfire mortality of *Pinus halepensis* Mill. and *Pinus pinea* L. *Plant Ecology*, 171(1), 139–151. <https://doi.org/10.1023/B:VEGE.0000029382.59284.71>
- Rossa, C.G., & Fernandes, P.M. (2017). Fuel-related fire-behaviour relationships for mixed live and dead fuels burned in the laboratory. *Canadian Journal of Forest Research*, 47(7), 883–889. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2016-0457>
- Rothermel, R. (1972). *A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels* (Vol. 115). Intermountain Forest & Range Experiment Station, Forest Service, US.
- Rothermel, R.C. (1983). *How to predict the spread and intensity of forest and range fires* (General Technical Report INT-143, 161 s.). USDA Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station.
- Ryan, K.C. (1982). *Techniques for assessing fire damage to trees*. Fire Its Field Effects, Missoula, Montana, USA.
- Ryan, K.C., & Frandsen, W. (1991). *Basal injury from smoldering fires in mature Pinus ponderosa*.
- Ryan, K.C., & Frandsen, W.H. (1991). Basal injury from smoldering fires in mature *Pinus ponderosa* Laws. *International Journal of Wildland Fire*, 1(2), 107–118.
- Ryan, K.C., & Reinhardt, E.D. (1988). Predicting postfire mortality of seven western conifers. *Canadian Journal of Forest Research*, 18(10), 1291–1297.
- Sağlam, B. (2002). *Meteorolojik faktörlere bağlı yangıcı madde nem içerikleri ve maki tipi yangıcı maddelerde yangın davranışı* (Doktora tezi). Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Sağlam, B., Bilgili, E., Küçük, Ö., Dinç Durmaz, B., & Baysal, İ. (2007). Preliminary results of fire behavior in maquis fuels under varying weather and slope conditions in Turkey. In B.W. Butler & W. Cook (Eds.), *The Fire Environment – Innovations, Management, and Policy: Conference Proceedings*, 26–30 Mart 2007, Destin, FL. USDA Forest Service, RMRS-P-46CD, ss. 249–257.
- Sağlam, B., Bilgili, E., Küçük, Ö., Durmaz, D.B., Yolasiğmaz, H.A., Sönmez, T., Akkuzu, E., Baysal, İ., & Işık, T. (2008a). *Farklı eğim grubu ve nem koşullarında maki tipi yangıcı maddelerde yangın davranışının belirlenmesi ve coğrafi bilgi sistemleri kullanılarak haritalanması* (Proje No. 1050523). TÜBİTAK TOVAG.
- Sağlam, B., Küçük, Ö., Bilgili, E., Durmaz, B.D., & Baysal, İ. (2008b). Estimating fuel biomass of some shrub species (*Maquis*) in Turkey. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 32(4), 349–356.
- Sağlam, B., Bilgili, E., Küçük, O., & Dinç Durmaz, B. (2008c). Fire behavior in Mediterranean shrub species (*Maquis*). *African Journal of Biotechnology*, 7(22), 4122–4129. <https://doi.org/10.4314/ajb.v7i22.59536>
- Schwilk, D.W., Keeley, J.E., Knapp, E.E., McIver, J., Bailey, J.D., Fettig, C.J., Fiedler, C.E., Harrod, R.J., Moghaddas, J.J., & Outcalt, K.W. (2009). The national fire and fire surrogate study: effects of fuel reduction methods on forest vegetation structure and fuels. *Ecological Applications*, 19(2), 285–304. <https://doi.org/10.1890/07-1747.1>

- Scott, J.H. (2001). Assessing crown fire potential by linking models of surface and crown fire behavior. US Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station.
- Scott, J.H. (2005). Standard fire behavior fuel models: a comprehensive set for use with Rothermel's surface fire spread model. US Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station.
- Sharaf, M., Sutherland, D., Wadhwani, R., & Moinuddin, K. (2025). Thresholds of surface fire transition to crown fire: effects of wind speed and crown base height with fixed moisture content. *Fire Safety Journal*, 104545. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2025.104545>
- Smart, A.J., Scott, T.K., Clay, S.A., Clay, D.E., Ohrtman, M., & Mousel, E.M. (2013). Spring clipping, fire, and simulated increased atmospheric nitrogen deposition effects on tallgrass prairie vegetation. *Rangeland Ecology & Management*, 66(6), 680-687. <https://doi.org/10.2111/REM-D-13-00054.1>
- Stephens, S.L., Collins, B.M., Fetting, C.J., Finney, M.A., Hoffman, C.M., Knapp, E.E., North, M.P., Safford, H., & Wayman, R.B. (2018). Drought, tree mortality, and wildfire in forests adapted to frequent fire. *BioScience*, 68(2), 77-88. <https://doi.org/10.1093/biosci/bix146>
- Stephens, S.L., & Finney, M.A. (2002). Prescribed fire mortality of Sierra Nevada mixed conifer tree species: effects of crown damage and forest floor combustion. *Forest Ecology and Management*, 162(2-3), 261-271. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(01\)00521-7](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(01)00521-7)
- Stephens, S.L., Moghaddas, J.J., Edminster, C., Fiedler, C.E., Haase, S., Harrington, M., Keeley, J.E., Knapp, E.E., McIver, J.D., & Metlen, K. (2009). Fire treatment effects on vegetation structure, fuels, and potential fire severity in western US forests. *Ecological Applications*, 19(2), 305-320. <https://doi.org/10.1890/07-1755.1>
- Sullivan, A., Knight, I., Hurley, R., & Webber, C. (2013). A contractionless, low-turbulence wind tunnel for the study of free-burning fires. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 44, 264-274. <https://doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2012.06.018>
- Tiryaki Güngör, A.G., Küçük, M., Bilgili, E., & Küçük, Ö. (2024). Anadolu karaçam (*Pinus nigra* ssp. *pallasiana*) meşcerelerinde kontrollü yakma uygulamalarının bazı ölü örtü, kül ve toprak özellikleri üzerine etkileri. *Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi*, 9(2), 82-89. <https://doi.org/10.53516/ajfr.1383034>
- Thies, W.G., Westlind, D.J., Loewen, M., & Brenner, G. (2006). Prediction of delayed mortality of fire-damaged ponderosa pine following prescribed fires in eastern Oregon, USA. *International Journal of Wildland Fire*, 15(1), 19-29. <https://doi.org/10.1071/wf05025>
- Thomas, T.L., & Agee, J.K. (1986). Prescribed fire effects on mixed conifer forest structure at Crater Lake, Oregon. *Canadian Journal of Forest Research*, 16(5), 1082-1087.
- Türkeş, M., Musaoğlu, N., & Özcan, O. (2018). Assessing the vulnerability of a forest ecosystem to climate change and variability in the western Mediterranean sub-region of Turkey: future evaluation. *Journal of Forestry Research*, 29(5), 1177-1186. <https://doi.org/10.1007/s11676-017-0500-x>
- Usta, Y. (2023). *Saf Anadolu karaçamı ve sarıçam meşcerelerinde kontrollü ve amaçlı yakma uygulamalarının tohum çimlenme, fidan büyüme ve gelişimi ile toprak özellikleri üzerine olan etkilerinin belirlenmesi* (Doktora Tezi). Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.
- Van Wagner, C. (1970). Fire and red pine. In *Proceedings of the 10th Annual Tall Timbers Fire Ecology Conference, Fredericton, New Brunswick, Canada*, 20-21 August 1970, 10: 211-219.
- Vines, R. (1968). Heat transfer through bark, and the resistance of trees to fire. *Australian Journal of Botany*, 16(3), 499-514.
- Wagner, C.V. (1973). Height of crown scorch in forest fires. *Canadian Journal of Forest Research*, 3(3), 373-378.
- Wagner, C.V. (1977). Conditions for the start and spread of crown fire. *Canadian Journal of Forest Research*, 7(1), 23-34.
- Waterman, R.C., & Vermeire, L.T. (2011). Grazing deferment effects on forage diet quality and ewe performance following summer rangeland fire. *Rangeland Ecology & Management*, 64(1), 18-27. <https://doi.org/10.2111/REM-D-09-00146.1>
- Whisenant, S.G., & Uresk, D.W. (1989). Burning upland, mixed prairie in Badlands National Park. *Prairie Naturalist*, 21(4), 221-227.
- Wirth, C., Schulze, E.D., Schulze, W., von Stünzner-Karbe, D., Ziegler, W., Miljukova, I., Sogatchev, A., Varlagin, A., Panvovrov, M., & Grigoriev, S. (1999). Above-ground biomass and structure of pristine Siberian Scots pine forests as controlled by competition and fire. *Oecologia*, 121(1), 66-80.
- Woolley, T., Shaw, D.C., Ganio, L.M., & Fitzgerald, S. (2012). A review of logistic regression models used to predict post-fire tree mortality of western North American conifers. *International Journal of Wildland Fire*, 21(1), 1-35. <https://doi.org/10.1071/WF09039>
- Yavuz, M., Sağlam, B., Küçük, Ö., & Tüfekçioğlu, A. (2018). Assessing forest fire behavior simulation using FlamMap software and remote sensing techniques in Western Black Sea Region, Turkey. *Kastamonu University Journal of Forestry Faculty*, 18(2), 171-188. <https://doi.org/10.17475/kastorman.459698>
- Yi, B., Han, T., Li, A., Shi, S., Li, J., & Yang, S. (2025). Assessment of potential crown fire danger in major forest types of the da xing'anling (Inner Mongolia) Mountains, China. *Forests*, 16(9), 1449. <https://doi.org/10.3390/f16091449>