T.C.
KASTAMONU ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MÜDAHALE GÖRMÜŞ KARAÇAM (*Pinus nigra* Arnold) MEŞCERESİ KESİM ARTIKLARINDA YANGIN DAVRANIŞI

RIFAT ÜZÜMCÜ

Danışman	**Prof. Dr. Ömer KÜÇÜK**
Jüri Üyesi	**Prof. Dr. Erol AKKUZU**
Jüri Üyesi	**Dr. Öğr. Üyesi İsmail BAYSAL**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ORMAN MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

KASTAMONU – 2018

TEZ ONAYI

Rıfat ÜZÜMCÜ tarafından hazırlanan "**Müdahale Görmüş Karaçam (*Pinus nigra* Arnold) Meşceresi Kesim Artıklarında Yangın Davranışı** " adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde savunulmuş ve **oy birliği** / ~~**oy çokluğu**~~ ile Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Orman Mühendisliği Ana Bilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

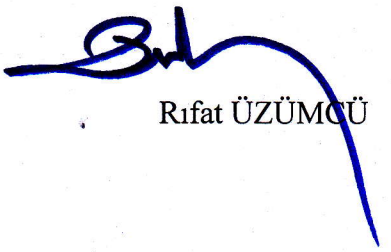
Danışman	Prof. Dr. Ömer KÜÇÜK Kastamonu Üniversitesi	.....
Jüri Üyesi	Prof. Dr. Erol AKKUZU Kastamonu Üniversitesi	.....
Jüri Üyesi	Dr. Öğr. Üyesi İsmail BAYSAL Düzce Üniversitesi	.....

11/04/2018

Enstitü Müdürü V. Doç. Dr. Mehmet Altan KURNAZ .....

TAAHHÜTNAME

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildirir ve taahhüt ederim.



Rıfat ÜZÜMCÜ

ÖZET

Yüksek Lisans

MÜDAHALE GÖRMÜŞ KARAÇAM (*Pinus nigra* Arnold) MEŞCERESİ KESİM ARTIKLARINDA YANGIN DAVRANIŞI

Rıfat ÜZÜMCÜ
Kastamonu Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Orman Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ömer KÜÇÜK

Orman yangınları genellikle orman ölü örtüsünden başlar. Bu çalışmada müdahale görmüş karaçam meşcerelerinde belirli şartlar altındaki yanıcı maddeler ve hava hallerinde 33 adet küçük ölçekli deneme yangınları yapılmıştır. Ölü örtüdeki yanıcı maddeler bakım çalışmaları sonucu oluşan ibre ve ince dallardan oluşmuştur.

Müdahale görmüş karaçam meşcerelerindeki oluşturulan yanıcı madde parsellerinde yanıcı madde miktarı 3,0 ile 10,2 kg m^{-2} arasında değişmiştir. Rüzgar hızı ise 0,3 km h^{-1} ile 8,4 km h^{-1} arasında, ince yanıcı madde nem içeriği ise %10 - %21 arasında değişmiştir. Yayılma oranı ve yangın şiddeti ile yanıcı madde ve hava halleri arasındaki ilişkiler korelasyon ve regresyon analizleri ile belirlenmiştir.

Deneme yangınları sonucunda ölü örtüdeki yangın yayılma oranı 0,47 ile 6,92 m/dak arasında değişmiştir. Yangın şiddet değerleri ise 173 ile 10239 kW/m arasında değişmiştir. Analizler sonucunda rüzgar hızı hem yayılma oranı (R^2: %71) hem de yangın şiddetindeki (R^2: %74) değişikliği açıklayan en etkili faktör olmuştur. Bu çalışma sonuçları benzer özellikteki meşcerelerde örtü yangını davranışını tahmin etmede ve ölü örtüdeki yanıcı maddelerin yönetiminde kullanılacaktır.

Anahtar Kelimeler: Ölü örtü, örtü yangını davranışı, kesim artıkları, aralama, Anadolu karaçamı

2018, 43 sayfa
Bilim Kodu: 1205

ABSTRACT

MSc. Thesis

FIRE BEHAVIOUR IN SLAHS FUEL OF THINNED BLACK PINE

(*Pinus nigra* Arnold) FORESTS

Rıfat ÜZÜMCÜ
Kastamonu University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Forest Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Ömer KÜÇÜK

Abstract: Forest fires generally start from the surface fuel in the forest. In this study, a total of 33 small scale surface fires were ignited under weather and fuel conditions within thinned Anatolian black pine (*P. nigra* J.F. Arnold subsp. *nigr*a var. *caramanica* (Loudon) Rehder) stands. Surface fuels consisted generally of thinned material (needle+branches).

In the thinned Black pine forest stands, total surface fuel loading ranged from 3,0 to 10,2 kg m^{-2}. Wind speed ranged from 0,3 km h^{-1} to 8,4 km h^{-1}. Fine fuel (<0,6 cm in diameter) moisture content changed from 10% to 21%. Relationships between the rate of fire spread, fire intensity and fuel and weather conditions were determined through correlation and regression analyses.

The rate of fire spread ranged from 0,47 to 6,92 m min^{-1} in the surface fires. Fire line intensity ranged from 173 to 10239 kW m^{-1}. Wind speed was the most important factor on both rate of spread and fire line intensity and explained 71% of the observed variation in the surface fire rate of spread and 74% of the observed variation in fire line intensity. These results should be invaluable for the prediction of surface fire behavior and the management of surface fuels in pine stands.

Key Words: Surface fuel, surface fire behaviour, slash fuels, thinning, Anatolian black pine

2018, 43 pages
Science Code: 1205

TEŞEKKÜR

Müdahale Görmüş Karaçam Meşceresi Kesim Artıklarında Yangın Davranışı isimli bu çalışma, Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır.

Bu çalışmanın planlanmasından bitimine kadar her aşamasında, destek ve katkılarıyla çalışmamı yönlendiren, bilgi ve tecrübelerinden sürekli istifade ettiğim danışman hocam Sayın Prof. Dr. Ömer KÜÇÜK' e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Kastamonu Orman İşletme Şefliği sınırlarında kalan tez çalışmam için araç ve personel sağlayan Kastamonu Orman İşletme Müdürlüğüne teşekkürlerimi sunarım.

Arazi çalışmalarıma bilakis eşlik eden sevgili Orman İşletme Şefi arkadaşlarım Serkan BULUT ve Gökhan ÇAKMAK' a teşekkür ederim.

Bugünlere gelmemde çok büyük emekleri geçen, hayatım boyunca bana her türlü konuda destek olan başta annem ve babam olmak üzere sevgili eşime, kardeşime ve dünyalar tatlısı yakışıklı oğluma teşekkür ederim.

Bana manevi olarak destek veren Araç Orman İşletme Müdürlüğü ve Hanönü Orman İşletme Müdürlüğünde görev yapan tüm Orman İşletme Şefi arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Bu çalışmanın orman yangınlarıyla ilgilenen herkese faydalı olması ve yapılacak yeni araştırmalara katkı sağlaması en büyük dileğimdir.

Rıfat ÜZÜMCÜ
Kastamonu, Nisan, 2018

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	viii
GRAFİKLER DİZİNİ	ix
TABLOLAR DİZİNİ	x
FOTOGRAFLAR DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
1.1. Literatür	3
2. MATERYAL VE YÖNTEM	8
2.1. Çalışma Alanının Tanıtımı	8
2.2. Arazi Çalışmaları	11
2.2.1. Yangın Öncesi Ölçümler	11
2.2.1.1. Yanıcı Madde Parsellerinin Hazırlanması	11
2.2.1.2. Yangın Öncesi Yanıcı Madde Ölçümleri	12
2.2.1.3. Meteorolojik Ölçümleri	14
2.2.2. Yangın Anındaki Ölçümler	14
2.3. Laboratuvar Çalışmaları	20
2.4. İstatistik Analizler	21
3. BULGULAR	23
4. TARTIŞMA VE SONUÇ	34
KAYNAKLAR	37
ÖZGEÇMİŞ	43

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

AB	Alev Boyu
Çkbc3	b-c çağında 3 kapalı karaçam meşceresi
DR^2	Düzeltilmiş R^2
Dak	Dakika
H	Yangın Şiddeti Reaksiyon Sabiti
Ha	Hektar
İYMM	İnce Yanıcı Madde Miktarı
Kg	Kilogram
M	Metre
MM	Milimetre
NN	Nisbi Nem
OGM	Orman Genel Müdürlüğü
ÖİNİ	Ölü İbre Nem İçeriği
ÖİYM	Ölü İbre Yanıcı Madde
R	Rüzgar
Sa	Saat
SH	Standart Hata
THG	Tutuşma Hattı Genişliği
TYMM	Toplam Yanıcı Madde Miktarı
YHG	Yangın Hattı Genişliği
YM	Yanıcı Madde
YMD	Yanıcı Madde Derinliği
YMM	Yanıcı Madde Miktarı
YO	Yayılma Oranı
YŞ	Yangın Şiddeti

GRAFİKLER DİZİNİ

	Sayfa
Grafik 1. Yayılma oranı ile rüzgar hızı arasındaki ilişki.....	28
Grafik 2. Yayılma oranı ile ölü ibre nem içeriği arasındaki ilişki	29
Grafik 3. Yayılma oranının tahmin edilen değerleri ile ölçülen değerleri arasındaki logaritmik ilişki.....	29
Grafik 4. Yangın şiddeti ile rüzgar hızı arasındaki ilişki	31
Grafik 5. Yangın şiddeti ile ince yanıcı madde miktarı arasındaki ilişki.....	32
Grafik 6. Yangın şiddetinin ölçülen değeri ile tahmin edilen değerleri arasındaki logaritmik ilişki	32

TABLOLAR DİZİNİ

Sayfa

Tablo 1. Müdahale öncesi ve müdahale sonrası Karaçam meşceresine ait bazı özellikler……..... 10
Tablo 2. Ölü örtü yanıcı madde özellikleri ve hava halleri ile yangın davranış arasındaki parametreleri tanımlayıcı istatistikler..... 24
Tablo 3. Ölü örtü deneme yangınlarındaki yangın davranış özellikleri……..... 25
Tablo 4. Örtü yangınlarının analizinde kullanılan değişkenler arasındaki Korelasyon…….. 26
Tablo 5. Müdahale görmüş karaçam meşceresinin ölü örtüsündeki yangın yayılma oranını tahmin eden regresyon modelleri……. 28
Tablo 6. Müdahale görmüş karaçam meşceresinin ölü örtüsündeki yangın şiddetini oranını tahmin eden regresyon modelleri……. 31

FOTOĞRAFLAR DİZİNİ

Sayfa

Fotoğraf 1. Müdahale görmemiş (a, b) ve müdahale görmüş (c, d) karaçam meşcereleri 10
Fotoğraf 2. Müdahele görmüş (a, b) ve görmemiş (c, d) karaçam meşceresinde meşcere durumunun tespiti için yapılan arazi ölçümleri…….. 11
Fotoğraf 3. Yanıcı madde parselleri……..... 12
Fotoğraf 4. 50x50 cm. ebatlarında yanıcı madde örnek alımı……. 13
Fotoğraf 5. Parsellerden alınan ölü ibre, dal ve humus……... 13
Fotoğraf 6. Arazide alınan yanıcı maddelerin hassas terazi ile tartılması..... 13
Fotoğraf 7. Rüzgar, sıcaklık, nem …….. 16
Fotoğraf 8. Yangın sırasındaki bazı fotoğraflar ……. 16
Fotoğraf 9. Kamera, fotoğraf makinası ve not defteri ile verilerin kaydedilmesi 17
Fotoğraf 10. Deneme yangınlarından görünümler. 18
Fotoğraf 11. Deneme yangınlarından görünümler 19
Fotoğraf 12. Yangın sonrası parsellerden görünüm 20
Fotoğraf 13. Alınan yanıcı madde - humusun kurutulması ve tartılması..... 21
Fotoğraf 14. Deneme yangınlarında yangının yayılmasına ait bazı fotoğraflar.. 30
Fotoğraf 15. Yangın şiddeti ile ilgili bazı fotoğraflar 33

1. GİRİŞ

Orman yangınları gerçekleştiği ekosistemleri ekolojik ve ekonomik olarak etkilemektedir. Ormanlık alanlarda yangınlar genellikle ölü örtü tabakasından başlar, çevresel şartlara bağlı olarak yayılır ve gelişerek büyük yangınlara dönüşür (Küçük vd., 2012). Akdeniz ekosistemlerinde yangınlar çam ormanlarında ve makilik alanlarda önemli rol oynarlar. Akdeniz ekosistemleri çam ormanlarının ölü örtü yanıcı maddelerinin çok yüksek miktarda kuru materyal içermesi, sahip oldukları kimyasal içerikleri yüksek tutuşabilir özellikte olması yüksek oranda yangın yayılma potansiyeline sebebiyet vermektedir (Fernandes vd., 2009).

Örtü yangını ve tepe yangınlarının yayılması için birçok yangın davranış modeli geliştirilmesine rağmen (Albini ve Stocks, 1986; de Mestre vd., 1989; Weber, 1991; Forbes, 1997; Alexander ve Lanoville, 2004; Butler, 2004; Cruz vd., 2008; Scott ve Burgan, 2005; Sullivan, 2009; Morvan vd., 2014) Akdeniz havzasında çok az sayıda örtü ve tepe yangını davranışını tahmin etmek için model geliştirilmiştir (Küçük, 2004; Bilgili vd., 2006; Küçük vd., 2007; Fernandes, 2009; Fernandes vd., 2009; Küçük vd., 2012; Küçük vd., 2015).

Örtü yangınları davranış modelleri yanıcı madde yönetimi ve yangın amenajmanı için hayati bir öneme sahiptir. Meşcere yapısının özelliklerine bağlı olarak değişen yanıcı madde özellikleri yangın davranış modellerinde çok önemli bir yere sahip olduğunun vurgulanmasına rağmen, yangın davranış modellerine tam olarak yansıtılamamaktadır. Bu durum ise yangın davranış modellerinin başarısını olumsuz etkilemektedir (Viegas ve Neto, 1990; Wotton vd., 1999; Sullivan, 2009; Fernandes, 2014). Özellikle büyüyüp gelişen meşcerelerde yapılan silvikültürel müdahalelere bağlı olarak yanıcı madde özelliklerinde değişiklikler meydana gelmektedir. Aralama, budama ve sıklık bakımı gibi silvikültürel müdahaleler meşcere yapısını, meşcere içerisindeki yanıcı madde dağılımını ve mikroklimatik şartları değiştirmekte, bunun sonucu olarakta bu tür meşcerelerden meydana gelen yangınların davranışlarında değişiklikler olmaktadır (Rothermel, 1972; Cheney vd.,

1993; Bilgili ve Methven, 1994; Cheney ve Gould, 1995; Graham vd., 1999; Bilgili, 2003).

Türkiye orman varlığı 22,3 milyon hektar olup, ülke genelinin %28,6'sini kaplamaktadır (OGM, 2015). Orman alanlarının %58'i yangınlar açısından I. ve II. derece yangına hassas bölgelerde yer almaktadır. Yangın istatistiklerinin tutulmaya başlandığı 1937 yılından 2017 yılı sonuna kadar meydana gelen 107 547 adet orman yangını sonucunda toplam 1 674 602 hektar, yıllık ortalama olarak da 20 933 hektar ormanlık alan yanmıştır. Bu dönem içerisindeki yıllık ortalama yangın sayısı 1344 adet olup, bir yangın başına düşen yanan alan miktarı 15,58 hektardır. Son 10 yıllık (2008-2017) periyottaki orman yangınlarının incelenmesi neticesinde 24 706 adet orman yangınının çıktığı ve bu yangınlarda toplam 91 329 hektar orman alanının yandığı görülmektedir. Son 10 yıllık periyotta yangın başına düşen ortalama yanan alan miktarı ise 3,7 hektar olmuştur (OGM, 2017).

Ülkemizde meydana gelen büyük yangınların bir çoğu, ilk müdahalede gecikildiği veya ekstrem meteorolojik koşulların etkisiyle büyüyen yangınlardır. Bu şekilde kontrolden çıkıp büyüyen yangınların davranış özellikleri önceden tahmin edilemediği durumda veya bir bölgede aynı anda birden çok yangın çıkması durumunda bu yangınların gerçekleştiği yer ile yangın davranışları özellikleri dikkate alınmadan yapılan yangın organizasyonlarında arzu edilen başarı sağlanamamaktadır (Sağlam, 2002; Bilgili ve Sağlam, 2003; Küçük, 2004, Bilgili vd., 2006; Küçük vd., 2008; Sağlam vd., 2008; Küçük vd., 2012; Baltacı ve Yıldırım, 2017; Küçük vd., 2017).

Orman yangınları ile mücadelede zamanında yapılan ilk müdahale yangının başlama ve gelişme aşamasında yangınların kolaylıkla kontrol altına alınmasında hayati bir öneme sahiptir. Orman yangınları genellikle ölü örtü tabakasından başlar ve gelişir. Uygun yanıcı madde ve hava halleri altında tepe yangınına dönüşür. Örtü yangınının tepe yangınına dönüşmesi orman zeminindeki ara ve alt tabakadaki yanıcı maddenin durumu (miktarı, dağılımı, yatay ve dikey sürekliliği, nem içeriği), tepedeki yanıcı madde miktarı, nem içeriği, tepe altı yüksekliği, eğim ve rüzgara bağlıdır (Küçük vd., 2009). Bu sebeple yangının çıkış anından itibaren tepe yangınına dönüşmesi

sürecinde, yangının örtü tabakasındaki gelişiminin bilinmesi ilk müdahale için hayati öneme sahiptir.

Örtü tabakası yangınlarının araştırılması kapsamında ülkemizde Batı Karadeniz Bölgesinde normal kapalı karaçam meşcereleri ölü örtüsünde deneme yangınları yapılmıştır (Baysal, 2007). Küçük vd. (2008) tarafından açık alan şartlarında farklı yanıcı madde miktarlarına sahip karaçam kesim artıklarında yangın davranışının belirlenmesine yönelik çalışmalar yapılmıştır. Benzer bir çalışma ise, Boyabat yöresinde kızılçam meşcereleri ölü örtüsünde örtü yangını davranışını belirlemek için yapılmıştır (Küçük vd., 2012). Ancak bu çalışmalarda müdahale görmüş meşcerelerde zeminde bulunan kesim artıklarındaki yangınların davranışı çalışılmamıştır. Oysa her yıl binlerce hektar yangın açısından potansiyel olarak kabul edilen karaçam meşcerelerinde silvikültürel müdahaleler sonucu meşcere zemininde yanıcı madde birikimi olmaktadır. Bu tür meşcereler tehlikeli örtü yangınları için potansiyel oluşturmaktadır. Kızılçamdan (5,6 milyon ha) sonra en geniş yayılış alanına sahip olan ve orman yangınlarının görüldüğü çam karaçam (4,2 milyon ha) türüdür (OGM, 2016). Hal böyle iken, müdahale görmüş karaçam meşcerelerinin ölü örtüsünde yangın davranışının belirlenmesine yönelik çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışmada, farklı yanıcı madde özellikleri ve farklı meteorolojik şartlar altında müdahale görmüş karaçam meşceresi ölü örtüsünde deneme yangınları yapılarak yangın davranış modelleri geliştirilmiştir. Bu modeller, müdahale görmüş karaçam meşcereleri ölü örtüsünde çıkan bir yangının nasıl bir davranış göstereceğinin tahmin edilmesinde kullanılabilecek olup, ilk müdahale ekiplerinin yönlendirilmesinde önemli katkılar sağlayacaktır.

1.1. Literatür

Yangının yayılması, ekolojik etkileri ve kontrolünün zorluğu çoğunlukla yangın davranışına bağlıdır. Bu yüzden, yangın araştırmacıları tarafından yangın davranışını tahmin etmek ve ortaya koyabilmek amacıyla modeller geliştirilmiş ve yangın karar destek sistemlerine entegre edilmiştir (Finney, 1998). Örtü (Rothermel, 1983) ve tepe yangını davranışını tahmin edebilen (Rothermel, 1991; Forestry Canada, 1992; Cruz vd., 2003; Alexander vd., 2004; Stocks vd., 2004) modeller olmasına rağmen, örtü

yangınının tepe yangınına geçişini tahmin edebilen az sayıda çalışma bulunmaktadır (Van Wagner, 1993; Alexander, 1998). Orman yangını, yeterli miktarda yanmaya elverişli ölü örtü tabakası bulunmadığı durumlarda tepe yangınına dönüşmez. Dolayısıyla, örtü yangınlarının izlenmesi orman yangınları ile mücadelede büyük önem arz etmektedir. Yangınların başlaması için gerekli olan şartlar, orman zemininde bulunan bu tür ince yanıcı maddeler ve humus tabakası nemiyle yakından ilişkilidir (Küçük vd., 2009)

Catchpole ve arkadaşları (1992) laboratuvar koşullarında rüzgar tünelinde farklı yanıcı madde boyutu, yanıcı madde derinliği, yanıcı madde yükü, yanıcı madde nem içeriği ve farklı rüzgar hızlarında 357 adet deneme yangını gerçekleştirmişlerdir. Sonuçta, yayılma oranının yanıcı madde tipi ve çapına bağlı olarak yanıcı madde nem içeriğiyle azaldığını, yanıcı madde derinliğinin yayılma oranı üzerine düşük derecede etkisinin olduğunu ve yayılma oranı ile rüzgar hızı arasındaki ilişkinin doğrusal bir ilişki olduğunu ortaya koymuşlardır.

Yayılma oranı üzerine etkili olan faktörlerin etki derecesini ortaya koyabilmek için laboratuvar koşullarında Burrows (1999)'un yaptığı bir çalışmada sadece ibrelerden oluşan 22 deneme yangını sonucunda yayılma oranı üzerinde en etkili faktörün rüzgar ve yanıcı madde nemi olduğu belirlenmiştir. Özellikle, rüzgarın 3-8 km/s arasındaki hızı ile yayılma oranı arasında doğrusal bir ilişki olduğu ve böyle durumda rüzgarın en etkili faktör olduğunu belirlemiştir. Rüzgarın olmadığı durumlarda ise yanıcı madde miktarı ile yayılma oranı arasında doğrusal bir ilişkinin var olduğunu ortaya koymuştur. Aynı çalışmada eğimin, rüzgar da olduğu gibi benzer bir etkisinin olduğu belirtilmiştir (Burrows, 1999).

Yangın davranış modelleri Avustralya'da farklı yanıcı madde tiplerinde orman ve çayır vejetasyonu için geliştirilmiştir. Bu tür yanıcı maddelerde yüksek tutuşabilirlik, yüksek orandaki ölü ince yanıcı madde miktarı ve yanıcı maddenin kimyasal içeriği gibi özellikler çıkan yangınların yüksek yayılma oranına ve yangın şiddetine sahip olduğu belirtilmektedir. Benzer şekilde maki vejetasyonunda çıkan yangınlarda benzer özellikler göstermektedir (Catchpole vd., 1999).

Silvikültürel müdahalelerden birisi olan aralama çalışmalarının farklı şiddetlerde aynı özelliklerdeki *Pinus ponderosa* (Batı sarıçamı) meşcerelerinde uygulanmasının örtü yangını davranışını nasıl etkileyeceği üzerine yapılan çalışmada; aralamanın tepe yangını potansiyeli üzerine hem pozitif hem de negatif etkisinin olduğu belirtilmektedir. Aralama ile örtü tabakasında biriken ölü yanıcı maddenin miktarı ve yanıcı madde derinliği arttığından şiddetli örtü yangınlarına sebebiyet vermektedir. Bu durum da çıkan örtü yangınının tepe yangınına dönüşme potansiyelini artırmaktadır. Diğer taraftan yanıcı maddenin yatay sürekliliği ve tepe hacim yoğunluğu azaldığından tepe yangını oluşma potansiyelini olumsuz etkilediği belirtilmektedir (Graham vd., 1999)

Fernandes vd. (2004) tarafından sahil çamında farklı müdahale şartlarının yangın şiddetine etkisi incelenmiştir. Müdahale görmemiş 2192 ağaç/ha ile farklı müdahale görmüş 1480 ağaç/ha, 1856 ağaç/ha, 1760 ağaç/ha meşcerelerde ölü örtüdeki yanıcı madde miktarı sırasıyla 4,5 kg/m^2, 3,6 kg/m^2, 1,2 kg/m^2 ve 1,1 kg/m^2 olarak belirlenmiştir. Aynı meşcerenin örtü tabakasındaki yayılma oranı değerleri sırasıyla 3,6 m/dak, 3,8 m/dak, 2,6 m/dak, 1,2 m/dak olarak hesaplanırken yangın şiddetinin bir göstergesi olan örtü yangının alev uzunluğu değerleri ise sırasıyla 5,4 m, 3,8 m, 2,5 m, 1,2 m olarak gerçekleşmiştir.

Baysal (2007) tarafından müdahale görmemiş normal kapalı karaçam meşceresi ölü örtüsünde hat ve nokta yangınları yapılarak yangın davranış modelleri geliştirilmiştir. Hat yangınlarındaki yayılma oranı 0,12 m/dak ile 1,20 m/dak arasında değişmiştir. Deneme yangınlarının yapıldığı meşcerenin toprak yüzeyindeki ölü örtüde yanıcı madde miktarı 1,27 ile 2,45 kg/m^2 aralığında değişiklik gösterdiği belirtilmektedir. Örtü yangını yayılma oranını tahmin etmek için geliştirilen modellerde rüzgar ve ölü yanıcı madde neminin en etkili faktörler olduğu ifade edilmektedir.

Cruz ve Fernandes (2008) müdahale görmemiş sahil çamı meşcereleri ölü örtüsünde yapmış oldukları örtü yangınları çalışmasında ölü örtü miktarının 0,77-2,85 kg/m^2 arasında değişmiş, rüzgar hızı ise 0,5-9,8 km/sa olarak ölçülmüştür. Bu yangınlarda Yayılma oranı 0,25 m/dak ile 3,6 m/dak arasında, yangın şiddeti ise 47-881 kW/m arasında değişmiştir. Yayılma oranı üzerinde en etkili olan faktörün rüzgar hızı ve

ince yanıcı madde nem içeriği olduğunu belirtmişlerdir. Geliştirilen modellerin benzer özellik gösteren yanıcı maddeler için kullanılabileceği ifade edilmektedir.

Bulut (2011) tarafından müdahale görmemiş kızılçam meşceresi ölü örtüsünde yangın davranışını belirlemek için küçük ölçekli deneme yangınları yapılmıştır. Yapılan çalışmada ölü örtü yanıcı madde miktarı 0,190 kg/m^2 ile 0,690 kg/m^2 arasında değişirken ölü örtüdeki ince yanıcı madde nem içeriği %3 ile %12 arasında değişiklik göstermiştir. Deneme yangınları sırasında meteorolojik değerlerden; sıcaklık 18 °C ile 27,8 °C arasında, bağıl nem %21 ile %52 arasında, rüzgar ise 0,48 km/saat ile 2,96 km/saat olarak kayıt edilmiştir. Yangınlar sırasında yakmalar için kullanılan hat genişliği ise, 1 m ile 5 m arasında değişmiştir. Yayılma oranının 0,30 m/dak ile 3,40 m/dak arasında, yangın şiddeti değerlerinin ise 89 kW/m ile 2250 kW/m arasında hesaplandığı bu çalışmada yayılma oranı üzerindeki en etkili faktörün rüzgar (R^2 = 0,7201; P< 0,01) olduğu tespit edilmiştir.

Yangın yayılmasında önemli bir parametre olan yanıcı madde nem içeriği ve hacim yoğunluğunun etkisini belirlemek için laboratuvar şartları altında maki yanıcı maddelerinde yapılan çalışmada nem içeriğinin yayılma oranı üzerinde etkili olduğu belirtilmiştir (Marino vd., 2012).

Ölü örtüdeki merdivenimsi yanıcı madde oluşumu yangının örtüden tepeye taşınmasında önemli olmaktadır. Özellikle müdahale yapılmış meşcerelerde zeminde biriken yanıcı madde derinliğinin azaltılması adına, zemindeki yanıcı maddeler sıkıştırılarak bu şekilde yangın davranışı incelenmiştir (Kreye vd., 2014). Yanıcı kuruma şartlarının ve havalanmasının değiştiği, ısı transfer şartlarının farklılaştığı belirtilmiştir.

Fernandes (2014) tarafından yine sahil çamı meşceresinde örtü yangınının yayılma oranını tahmin etmek için yapılan başka bir çalışmada eğim, rüzgar, yanıcı madde derinliği ve yanıcı madde nem içeriğinin etkisi araştırılmıştır. Çalışma ekstrem olmayan orta düzeydeki hava şartları altında küçük örtü yangınları şeklinde gerçekleştirilmiştir.

Pinto vd. (2014) tarafından okaliptüs ağaç yapraklarında örtü yangının yayılışını modellemek için laboratuvar şartları altında deneme yangınları gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada kullanılan hat genişliği 1,5 m' dir. Çalışma sırasında nisbi nem %16-%100 arasında, rüzgar ise 0- 25 km/sa arasında değişmiştir. Yayılma oranı üzerinde buhar basıncı, ince yanıcı madde nem içeriği ve rüzgarın etkili olduğu modeller geliştirmişlerdir.

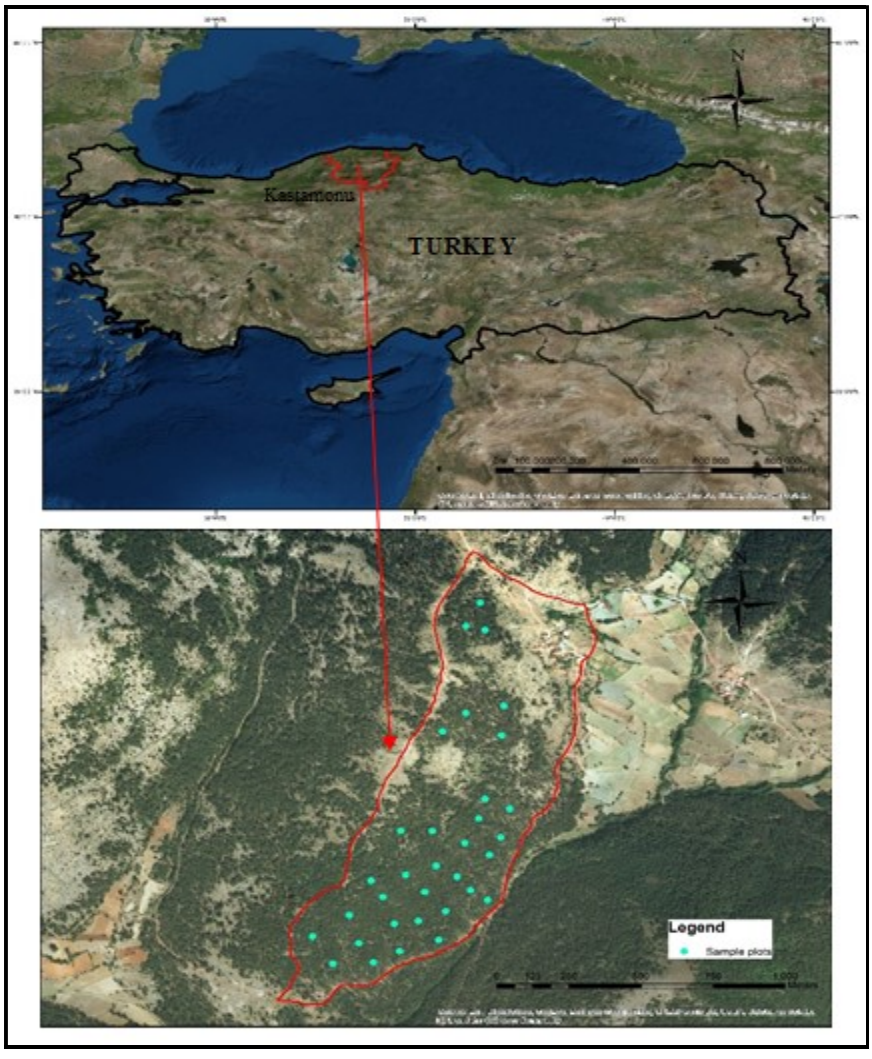
Rosa ve Fernandes (2017) tarafından laboratuar şartlarında yapılan bir çalışmada ölü, canlı ve ölü+canlı ibre ve yaprak karışımlarında oluşturulan yanıcı maddelerde yangın yayılma oranı tahmin edilmiştir. İbrelerin sahip olduğu nemin %18 ile %163 arasında değiştiği çalışmada yangın yayılma oranının 0,1 m/dak ile 1,3 m/dak arasında değişiklik gösterdiği tespit edilmiştir.

Rossa (2017) tarafından rüzgarsız ve eğimin olmadığı laboratuvar ortamında ölü yanıcı madde nem içeriğinin yayılma oranı üzerine etkisini belirlemek için yaptığı deneysel çalışmada ölü örtü yanıcı maddeleri için çam ibreleri ve maki elemanları kullanmıştır. Bu çalışmadan farklı yanıcı madde derinliklerinin kullanıldığı ifade edilmektedir. Yanıcı madde derinliğinin aynı zamanda yanıcı madde nemini etkilediği belirtilen bu çalışmada etkiyi ortaya koyan modeller geliştirilmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Çalışma Alanının Tanıtımı

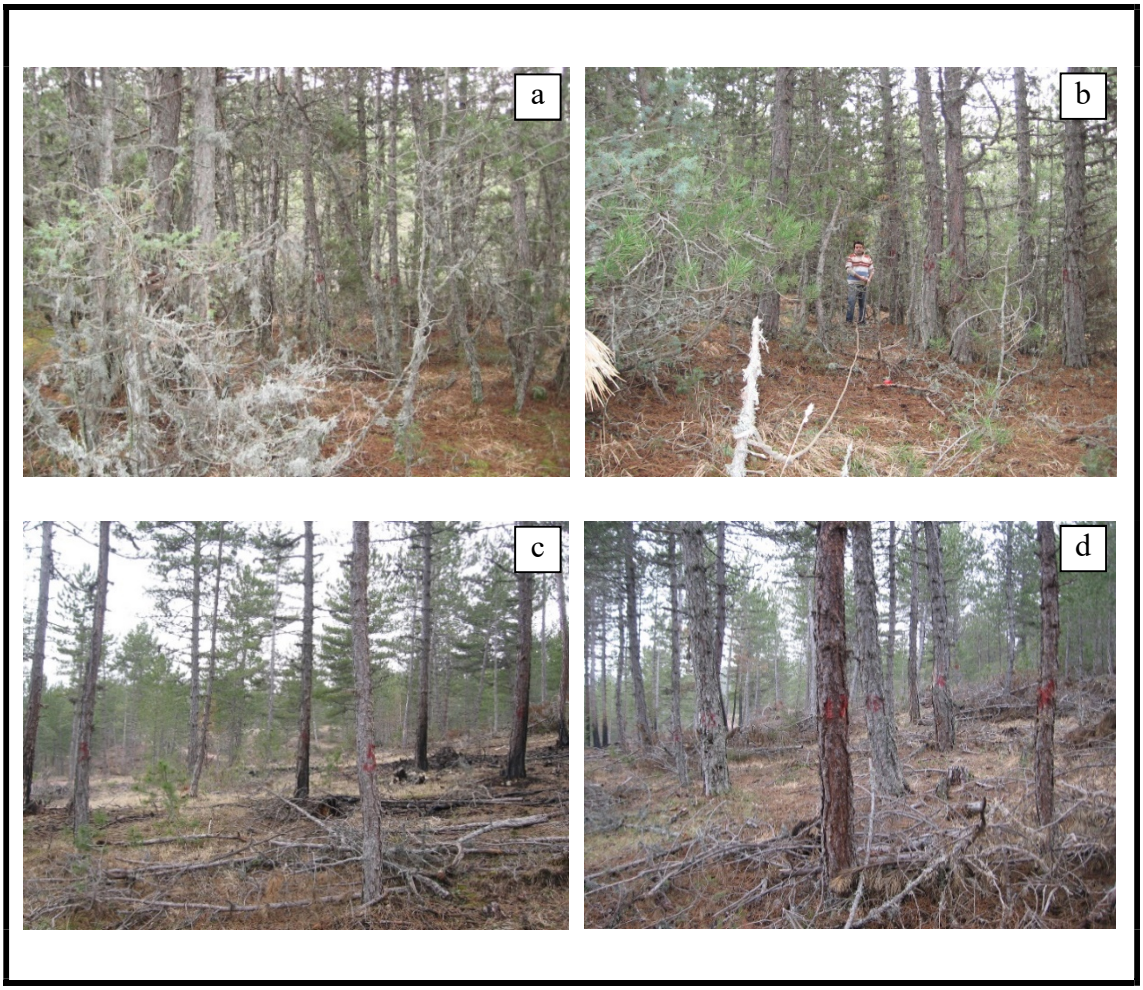
Çalışma alanını, Türkiye'nin kuzeybatısında Kastamonu Orman Bölge Müdürlüğü Kastamonu Orman İşletme Müdürlüğü, Kastamonu Orman İşletme Şefliğinin 306 nolu bölmesinin 27 hektarlık Çkbc3-2 meşçere tipi içerisinde kalan müdahale görmüş 4 hektarlık kısmı oluşturmaktadır. Çalışma alanı konum olarak, 547034, 4575340 UTM WGS84 arasında yer almaktadır. Çalışma alanının denizden ortalama yüksekliği 1225 m dir. Deneme yangınlarının yapıldığı meşcerenin eğimi %5-10 arasında değişim göstermektedir (Harita 1).



Harita 1. Çalışma alanının genel konumu (Google earth 2017)

Çalışma alanı tipik Batı Karadeniz iklim tipi özelliğini göstermektedir. Yazları sıcak ve kurak olan kısa bir periyot görülürken kışları soğuk ve uzun bir periyot görülmektedir. Yangın sezonunun olduğu mayıstan ekim ayına kadar olan zaman diliminde ortalama sıcaklık 15-20 °C arasında değişmektedir. Yine aynı dönemdeki ortalama yağış miktarı 267,8 kg/m^2 dir (Anonim, 2009).

Deneme yangınlarının yapıldığı meşcere müdahale görmüş karaçam meşceresidir. Meşcere tipi Çkbc3 olup müdahale görmüş bir meşceredir. Meşcereye yapılan silvikültürel müdahalelerden 6 ay sonra alanda deneme yangınları yapılmıştır. Ortalama meşcere yaşı 55'tir. Meşcere ortalama boyu 15 m, ortalama tepe altı yüksekliği 5 m, ortalama tepe çapı 3-4 m'dir. Müdahale görmüş meşceredeki ortalama göğüs yüksekliği çapı ($d_{1.3}$) 20 cm, kapalılık ise % 60 civarındadır. Meşcerenin alt tabakasında diri örtü yok denecek kadar az olup, genellikle ölü örtü bulunmaktadır (Fotoğraf 2). Ölü örtüde çoğunluğu ibre olmakla birlikte dal, kabuk ve nadiren kozalak bulunmaktadır. Müdahale öncesi ölü örtü kalınlığı 2-5 cm arasında değişirken müdahaleden sonra zeminde biriken kesim artıklarından dolayı yanıcı madde derinliği 20-45 cm arasında değişiklik göstermiştir (Fotoğraf 1). Müdahaleden sonra hektardaki ortalama ağaç sayısı 550'dir. Müdahale öncesi ve müdahale sonrası meşcere özellikleri (Fotoğraf 1), Tablo 1 de verilmiştir.



Fotoğraf 1. Müdahale görmemiş (a, b) ve müdahale görmüş (c, d) karaçam meşcereleri

Tablo 1. Müdahale öncesi ve müdahale sonrası Karaçam meşceresine ait bazı özellikler

Meşçere Durumu	**Müdahale Görmüş Karaçam Meşceresi**	**Müdahale Görmemiş Karaçam Meşceresi**
Ortalama $d_{1,3}$ çapı (cm)	20	15
Hektardaki dikili servet miktarı (m^3/ha)	111,2	211,95
Hektardaki ortalama ağaç sayısı (ağaç/ha)	550	1650
Ortalama meşcere yaşı	55	55
Hektardaki ortalama göğüs yüzeyi (m^2/ha)	17,75	36,00
Müdahale şiddeti (%)	49	0
Ortalama humus miktarı (g/m^2)	1290	1157
Ortalama ölü ibre miktarı (g/m^2)	528	365



Fotoğraf 2. Müdahele görmüş (a, b) ve görmemiş (c, d) karaçam meşceresinde meşcere durumunun tespiti için yapılan arazi ölçümleri

2.2.Arazi Çalışmaları

2.2.1.Yangın Öncesi Ölçümler

2.2.1.1.Yanıcı Madde Parsellerinin Hazırlanması

Deneme yangınları 2009 yılı Eylül ayı içerisinde yapılmıştır. Deneme yangınlarının yapıldığı parseller yangın öncesinden hazırlanmıştır. Toplam 33 adet yanıcı madde parseli hat yangınları için hazırlanmıştır. Yanıcı madde parsellerinin hazırlanmasında silvikültürel müdahale sonucu zeminde biriken yanıcı madde durumu dikkate alınmıştır. Bu yüzden farklı yanıcı madde derinlikleri kullanılarak yanıcı madde parselleri hazırlanmıştır. Yanıcı madde derinliği 20-45 cm arasında değişmiştir.

Bununla birlikte yanıcı madde kategorilerinin mümkün olduğunca her bir parseldeki birim alanda (m^2) homojen olmasına özen gösterilmiştir. Tutuşma hattı genişliğinin yayılma oranı üzerine olan etkisini belirlemek için ise farklı parsel boyutları kullanılmıştır. Ölü örtüde oluşturulan parsellerin genişlikleri 1, 3, 5 m olarak belirlenirken parsellerin uzunlukları, 3 ile 5 m olarak hazırlanmıştır. Parsellerin yönü hakim rüzgar yönüne göre konumlandırılmıştır (Fotoğraf 3). Hakim rüzgar yönünü belirlemek için yakmaların yapılacağı zaman dilimi dikkate alınarak bir hafta boyunca mobil cep meteoroloji aleti ile ölçüm yapılmıştır.



Fotoğraf 3. Yanıcı madde parselleri

2.2.1.2.Yangın Öncesi Yanıcı Madde Ölçümleri

Yangın öncesi yanıcı madde (YM) miktarını belirlemek için, hat yangınlarında yanıcı madde parsellerindeki yapıyı temsil eden deneme yangının yapılacağı alanın bitişiğinden, basit rasgele olarak 50×50 cm ebatlarında yanıcı madde örnekleri alınmıştır (Fotoğraf 4). Örnek alan içerisindeki bütün yanıcı maddeler ibre, dal ve humus tabakası kısımlarına ayrılıp ibre ve dal (çapı 0,6 cm'den ince, 0,6-2,5 cm ve 2,5 cm'den daha kalın çaplı dallar) poşetlenerek arazide hassas terazi ile tartılıp yaş ağırlıkları belirlenmiştir (Fotoğraf 5, Fotoğraf 6). Alınan bu yaş örnekler yanıcı madde miktarının belirlenmesi için kullanılmıştır. Böylece her bir yanıcı madde parselindeki ibre, dal ve toplam yanıcı madde miktarı hesaplanmıştır.



Fotoğraf 4. 50x50 cm. ebatlarında yanıcı madde örnek alımı



Fotoğraf 5. Parsellerden alınan ölü ibre, dal ve humus



Fotoğraf 6. Arazide alınan yanıcı maddelerin hassas terazi ile tartılması

Deneme yangınlarından hemen önce ölü örtü ve humus materyalinin olduğu katmanlarda yanıcı maddenin sahip oldukları nem içerikleri belirlenmiştir. Yanıcı maddenin nem içeriğini belirlemek için, deneme yangınları yapılmadan hemen önce ölü ve humus yanıcı madde örnekleri alınıp hassas terazide tartılarak bunların yaş ağırlıkları belirlenmiştir. Bu örnekler laboratuvarda kurutma fırınlarında 105 ^{0}C de 24 saat süre kurutulduktan sonra tartılarak fırın kurusu ağırlıkları belirlenmiştir. Yaş ağırlıkları ile fırın kurusu ağırlıklarının oranlanması sonucunda yanıcı maddelerin yangın anındaki nem içerikleri belirlenmiştir.

2.2.1.3.Meteorolojik Ölçümler

Deneme yangınlarının yapıldığı zaman dilimindeki hava hallerine ait veriler (sıcaklık, nisbi nem, rüzgar) meteoroloji genel müdürlüğünden alınmakla beraber, deneme yangınları sırasında rüzgar, sıcaklık ve nem bilgileri mobil meteorolojik el aleti olan Kestrel 4500 (Kestrel 4500, Pocket Weather Tracker) ile ölçülmüştür. Sıcaklık ve nem değerleri her bir deneme yangının başlangıcında ölçülürken, rüzgar ölçümleri deneme yangınları süresince 10 saniyede bir kayıt edilmiştir. Deneme yangınları meşcere içerisinde ve ölü örtüde olduğu için rüzgar ölçüm değerleri yerden 1.5 m yükseklikte yapılmıştır. Arazide ölçülen bu veriler daha sonraki analizlerde yangın davranışı ile ilişkiye getirilmek amacıyla kullanılmıştır.

2.2.2. Yangın Anındaki Ölçümler

Deneme yangınları için hazırlanan parseller ölü örtü tabakasında 1×3 m, 3×3 m, 3×5 m, 5×5 m olarak hazırlanmış ve bu ebatlardaki yanıcı madde parsellerinde yakmalar yapılmıştır. Yakmalar alev ibriği ile rüzgar yönünde yapılmıştır. Bütün parsellerin yakılmasında hat genişliğince tutuşturma yapılarak yakmalar gerçekleştirilmiştir. Yangının başlangıcından alevin parsel sonuna kadar ulaşmasına kadar geçen sürede kayıtlar tutulmuştur. Yangının yayılma oranı değerlerinin belirlenmesi için parsellerin başlangıcından sonuna kadar ulaşması beklenmiş ve 10 saniye aralıklarla rüzgar hızı ölçülmüş ve kaydedilmiştir (Fotoğraf 9). Yangınlar sırasındaki meteorolojik ölçümleri yapabilmek (sıcaklık, bağıl nem, rüzgar) için Kestrel 4500 kullanılmıştır (Fotoğraf 7). Elde edilen bu değerler, yanma süreleri de dikkate

alınarak yangın yayılma oranı ve yangın şiddeti hesaplamalarında kullanılmıştır (Fotoğraf 10, Fotoğraf 11, Fotoğraf 12). Yangın şiddetinin hesaplanmasında bir çok formül olmasına rağmen en yaygın olarak kullanılan Byram (1959) yangın şiddeti formülü kullanılmıştır.

Yangın şiddeti (YŞ)= H×YO×YMM

YŞ: Yangın şiddeti = kW/m

H: Yangın şiddeti reaksiyon sabiti (18000 m/sa, 300 m/dak)

YO: Yayılma oranı (m/dak)

YMM: Yanıcı madde miktarı (kg/m^2)

Yangın şiddetinin hesaplanmasında yanıcı madde miktarı değeri olarak yangınlar sırasında aktif olarak tüketilebilen (ibre + 0,6 cm'den ince çaplı dallar) yanıcı madde miktarları kullanılmıştır. Deneme yangınları sırasında pratikte yangın şiddetinin bir göstergesi kabul edilen alev boyları da kayıt edilmiştir.

Deneme yangınlarının yapıldığı süre boyunca, yangın sonrası soğutma çalışmalarında, yangının diğer alanlara sıçramasını önlemek ve gerektiğinde söndürmek için 1 arazöz ve 1 yangın ekibi hazır bulundurulmuştur (Fotoğraf 8).



Fotoğraf 7. Rüzgar, sıcaklık, nem ölçümü



Fotoğraf 8. Yangın sırasındaki bazı fotoğraflar



Fotoğraf 9. Kamera, fotoğraf makinası ve not defteri ile verilerin kaydedilmesi



Fotoğraf 10. Deneme yangınlarından görünümler



Fotoğraf 11. Deneme yangınlarından görünümler



Fotoğraf 12. Yangın sonrası parsellerden görünüm

2.3. Laboratuvar Çalışmaları

Yanıcı madde nemini tespit için araziden alınan ve laboratuvara taşınan örnekler laboratuvardaki kurutma fırınlarında 24 saat süre ile 105 ^{o}C' de fırın kurusu hale getirilerek hassas (1/100 gr) terazide tartılmıştır (Fotoğraf 13). Hem yanıcı madde miktarının hem de yanıcı maddelere ait nem içeriklerinin belirlenmesinde fırın kurusu ağırlık değerleri kullanılmıştır.

Yanıcı madde nem içeriği (%)= ((yaş ağırlık-kuru ağırlık)/kuru ağırlık)×100

Arazide yanıcı madde üzerinde yapılan ölçümler ve laboratuvar çalışmaları sonucunda elde edilen fırın kurusu ağırlıklarına ait veriler, analiz edilmek ve değerlendirilmek üzere bilgisayar ortamına aktarılmıştır.



Fotoğraf 13. Alınan yanıcı madde - humusun kurutulması ve tartılması

2.4.İstatistik Analizler

Arazi ve laboratuvarda yapılan çalışmaların sonucunda elde edilen veriler bilgisayarda istatistik yöntemlerle değerlendirilmiştir. İstatistik analizler SPSS 22.0 paket programı kullanılarak yapılmıştır. Yangın davranış özellikleri ile hava halleri ve yanıcı madde özellikleri arasındaki ilişkiler korelasyon (Pearson) ve regresyon analizleri ile ortaya konulmuştur. Regresyon analizlerinde yanıcı madde özellikleri ve meteorolojik parametreler bağımsız değişken, yangın davranış parametreleri (yayılma oranı ve yangın şiddeti) ise bağımlı değişken olarak kullanılmıştır. Analizlerde kullanılan bağımsız değişkenlerin etkilerini görmek için Stepwise fonksiyonu kullanılmıştır. Bağımsız değişkenlere göre müdahale görmüş karaçam meşceresinde örtü yangınları için regresyon analizleri sonucunda yayılma oranı ve yangın şiddetini tahmin eden doğrusal ve doğrusal olmayan modeller geliştirilmiştir.

$$(Y) = a + b(X_i) + ...+ n(X_i) \quad (3.1)$$

$$(Y) = a + b(e)^{(X)} \quad (3.2)$$

Y = Bağımlı değişken,

X, X_i = bağımsız değişkenler,

a = modelin sabit katsayısı

b, n = regresyon katsayıları

Geliştirilen regresyon modelleri içerisinde belirtme katsayısı en yüksek olanlar ve pratikte kolay uygulanabilir olanlar seçilmiştir. İstatistiksel sonuçlar $\alpha = 0,05$ önem düzeyine göre değerlendirilmiştir.

3. BULGULAR

Müdahale görmüş karaçam meşceresi ölü örtüsünde yangın davranışını belirlemek için toplam 33 adet hat şeklinde örtü yangını yapılmıştır. Yancı madde miktarındaki farklılığın yangın gelişimine etkisinin olup olmadığını ortaya koymak için yapay olarak oluşturulan yanıcı madde parsellerinde farklı yanıcı madde miktarları kullanılmıştır. Hat yangınları için hazırlanan müdahale görmüş karaçam meşceresindeki parsellerde ölü örtüdeki toplam yanıcı madde miktarı (TYMM) 3 kg/m^2 ile 10,2 kg/m^2 arasında değişmiştir. Ölü örtüdeki ibre nem içeriği (ÖİNİ) %8 ile %15 arasında, ince yanıcı madde nem içeriği (<0,6 cm) %10-%21 arasında değişiklik göstermiştir. Yanıcı madde derinliği (YMD) ise 20-45 cm arasında değişmiştir. Deneme yangınları sırasında rüzgar hızı (R) 0,30 km/sa ile 8,40 km/sa arasında, hava sıcaklığı 18-26 ^{o}C arasında, nisbi nem (NN) ise %23-%43 arasında değişmiştir (Tablo 2).

Tablo 2. Ölü örtü yanıcı madde özellikleri ve hava halleri ile yangın davranış parametreleri arasındaki tanımlayıcı istatistikler

Değişkenler	Parsel adedi	Min	Max	Ortalama	Std. Hata	Std. Sapma
Yanıcı madde özellikleri						
YMM (<0,6 cm; kg m^{-2})	33	1,03	5,40	2,52	0,208	1,195
YMM (0,6-2,5 cm; kg m^{-2})	33	1,33	4,32	2,62	0,134	0,768
YMM (>2,5 cm; kg m^{-2})	33	0	2,41	1,06	0,101	0,581
TYM (kg m^{-2})	33	3,0	10,2	6,2	0,341	1,970
Ölü ibre nem içeriği (%)	33	8	15	11,7	0,239	1,375
İnce ym nem içeriği (<0,6 cm; 1h (%))	33	10	21	14,4	0,364	2,092
Ym nem içeriği (0,6-2,5 cm; (%))	33	13	34	17	0,901	5,177
YM nem içeriği (<2,5 cm; %)	33	15	56	31	2,596	14,915
YM derinliği (cm)	33	20	45	30,8	1,245	7,152
Ölü örtü YM hacim yoğunluğu (kg m^{-3})	33	11,67	29,14	20,018	0,702	4,035
Hava halleri						
Sıcaklık (^{o}C)	33	18	26	22,7	0,30	1,794
Nisbi nem (%)	33	23	43	35,075	0,879	5,053
Rüzgar hızı (km h^{-1})	33	0,30	8,40	3,626	0,369	2,117
Yangın davranış parametreleri						
Tutuşma hattı genişliği (m)	33	1	5	2,454	0,250	1,438
Alev boyu (m)	33	0,5	2,5	1,187	0,103	0,591
Yangın Yayılma Oranı (m/dak)	33	0,47	6,92	1,976	0,308	1,768
Yangın şiddeti (kW/m)	33	173	10239	1 903	483	2 774

Ölü örtüdeki deneme yangınları sırasında yanma şartlarına göre alev boylarında farklılıklar görülmüştür. Alev boyu (AB) 0,5 m-2,5 m arasında değişmiştir. Tutuşma hattı genişliği (THG) 1 ile 5 m arasında değişmiştir. Örtüde yangın yayılma oranı (YO) 0,47 m/dak ile 6,92 m/dak arasında olmuştur. Yangın şiddetinde ise oldukça farklı değerler hesaplanmıştır. Bu farklılık farklı yanıcı madde miktarı ve yayılma oranı değerlerinden kaynaklanmıştır. Yangın şiddeti (YŞ) değerleri 173 kW/m ile 10239 kW/m arasında gerçekleşmiştir (Tablo 3).

Tablo 3. Ölü örtü deneme yangınlarındaki yangın davranış özellikleri

Yangın no.	Sıcaklık (°C)	Nisbi nem (%)	Rüzgar (km/sa)	Ölü yanıcı madde nem içeriği (%)		Tutuşma hattı genişliği (m)	Toplam YMM (kg/m^2)	YO (m/dak)	Alev boyu (m)	YŞ (kW/m)
				ibre	<0,6cm					
1	22	38	4,0	12	10	1	10,2	0,90	1,5	1102
2	20	32	5,3	10	10	1	8,6	1,57	1,6	1202
3	18	35	4,5	10	13	1	8,2	1,00	1,5	735
4	21	33	2,9	11	18	1	6,4	0,73	0,7	705
5	22	31	2,6	11	18	1	3,5	0,47	0,5	173
6	23	28	1,5	10	21	1	6,2	0,73	0,5	604
7	24	25	8,2	12	14	1	9,0	2,25	2,0	8228
8	22	30	4,3	12	12	1	6,4	1,38	1,0	1462
9	21	24	8,0	11	14	1	8,0	6,00	2,0	9720
10	23	30	2,4	11	13	1	8,5	1,00	1,3	906
11	23	23	0,9	14	14	3	9,2	0,97	1,5	752
12	24	38	1,9	13	15	1	5,0	0,60	0,5	319
13	24	32	3,3	10	14	1	6,2	0,97	1,3	793
14	23	32	4,9	10	14	1	6,0	1,94	1,0	1533
15	22	37	3,3	13	15	1	5,0	0,76	0,6	458
16	24	35	3,2	12	16	3	7,2	1,82	2,0	1375
17	21	43	7,0	15	14	3	8,5	5,14	2,2	7205
18	21	39	8,4	12	13	3	8,5	6,92	2,5	10239
19	21	38	6,1	11	15	3	8,4	4,74	1,5	4832
20	24	36	3,0	11	16	3	5,8	1,26	1,0	879
21	24	38	1,0	12	14	3	5,5	0,72	0,6	474
22	24	37	3,9	13	15	3	5,5	1,71	0,8	1039
23	24	38	0,3	13	15	3	6,0	0,71	0,5	383
24	24	38	3,0	11	13	3	5,5	1,34	1,0	669
25	26	36	3,2	8	13	3	6,0	1,17	1,0	735
26	24	36	1,3	12	16	5	5,0	1,49	0,7	713
27	26	37	1,2	12	13	3	3,5	0,79	0,5	332
28	24	41	3,9	13	13	5	3,0	3,13	1,4	1013
29	25	37	1,8	12	15	5	3,5	0,80	0,5	248
30	24	38	2,3	12	15	5	3,7	0,83	0,5	284
31	23	40	3,0	13	15	5	6,2	2,68	1,8	2057
32	21	41	5,5	13	15	3	3,5	3,43	2,0	1059
33	20	42	3,5	12	15	3	3,5	1,78	1,2	580

Örtü tabakasında yapılan deneme yangınlarının davranış özelliklerini belirlemek amacıyla yangın davranış özellikleri ile hava halleri ve yanıcı madde özellikleri arasındaki korelasyon ve regresyon analizleri yapılmıştır. Korelasyon analizleri sonucunda rüzgar hızı, tutuşma hattı genişliği ve bazı yanıcı madde özellikleri ile yayılma oranı ve yangın şiddeti arasında kuvvetli ilişkiler görülmüştür. Korelasyon analizi sonucuda yayılma oranı (YO) ile rüzgar ($r = 0,873$; $P < 0,01$), alev boyu ($r = 0,786$; $P < 0,01$), tutuşma hattı genişliği ($r = 0,720$; $P < 0,01$), ince yanıcı madde nem içeriği ($r = 0,491$; $P < 0,01$) ve toplam yanıcı madde miktarı ($r = 0,379$; $P < 0,05$) arasında kuvvetli bir ilişki çıkmıştır. Benzer şekilde yangın şiddeti ile de (YŞ) rüzgar ($r = 0,844$; $P < 0,01$), alev boyu ($r = 0,715$; $P < 0,01$), yanıcı madde derinliği ($r = 0,557$; $P < 0,01$) ve toplam yanıcı madde miktarı ($r = 0,521$; $P < 0,01$) arasında kuvvetli bir ilişki çıkmıştır.

Tablo 4. Örtü yangınlarının analizinde kullanılan değişkenler arasındaki korelasyon

	İbre YMM	İYMM	TYM	ÖİNİ	YMD	THG	R	AB	YO	YŞ
İbre YMM	1									
İYMM	,682**	1								
TYM	,696**	,817**	1							
ÖİNİ	,012	-,036	-,057	1						
YMD	,638**	,644**	,768**	-,015	1					
THG	-,229	-,564**	-,418*	,365*	-,210	1				
R	,689**	,593**	,450**	-,026	,458**	-,250	1			
AB	,672**	,485**	,590**	,157	,638**	-,030	,778**	1		
YO	,729**	,491**	,379*	,200	,475**	,072	,873**	,786**	1	
YŞ	,848**	,662**	,521**	,131	,557**	-,102	,844**	,715**	,941**	1

**Korelasyon %99 seviyesinde anlamlı

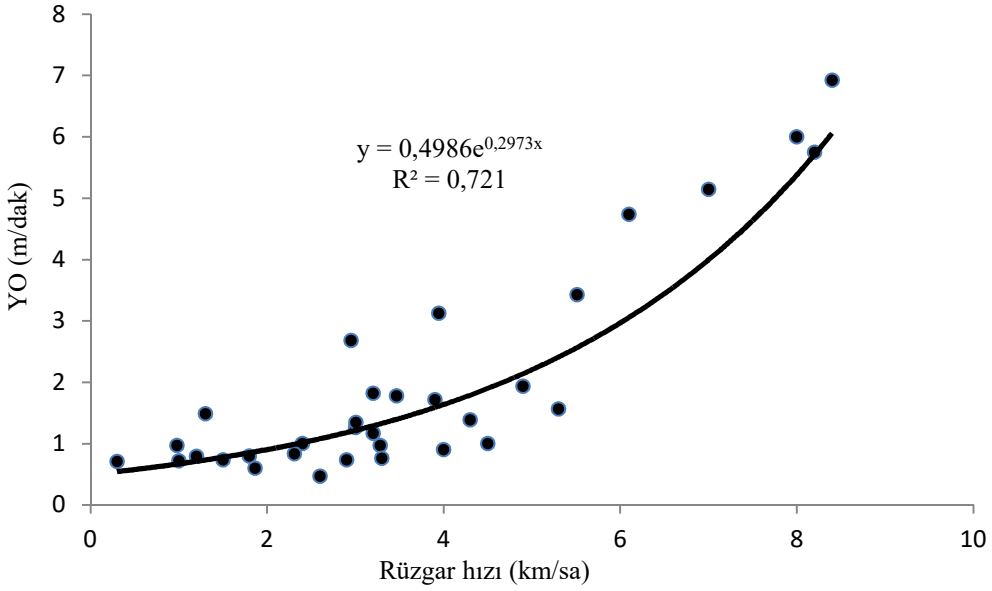
*Korelasyon %95 seviyesinde anlamlı

Regresyon analizlerinde yanıcı madde özellikleri ve meteorolojik parametreler bağımsız değişken, yangın davranış parametreleri (yayılma oranı ve yangın şiddeti) ise bağımlı değişken olarak kullanılmıştır. Bağımlı değişkenler ile bağımsız

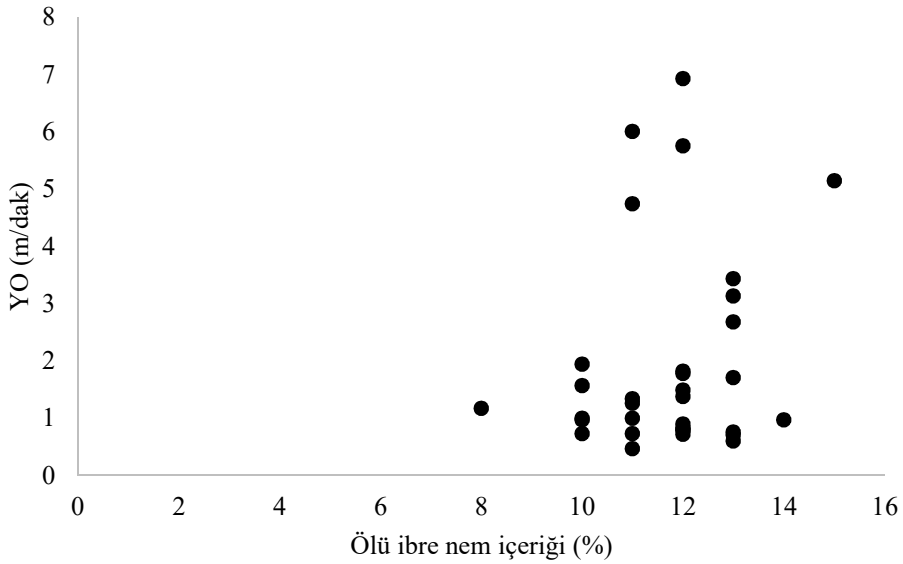
değişkenler arasındaki ilişkinin derecesini ortaya koymak için regresyon analizleri yapılmıştır. Yayılma oranının tahmin edilmesi için yapılan analizde dağılımın homojen olmadığı, logaritmik bir dağılım gösterdiği görülmüştür. Bunun üzerine, bu değerlere logaritmik dönüşüm uygulanarak doğal logaritmaları alınmıştır. Bu şekilde elde edilen yeni değerlerle yapılan analizlerde dağılımın normal olduğu görülmektedir. Logaritmik dönüşüm yapılarak yapılan analizlerde yayılma oranını tahmin eden doğrusal ve doğrusal olmayan modeller geliştirilmiştir. Yapılan analizler sonucunda örtüdeki yangının yayılma oranı üzerinde en etkili faktörün rüzgar hızı olduğu tespit edilmiştir. Rüzgar hızının tek başına yayılma oranındaki değişikliğin % 71 (R^2= 0,711; YO model 1)'ini açıkladığı görülmektedir (Grafik 1). Modele ikinci bir değişken olarak tutuşma hattı genişliği ilave edildiğinde yayılma oranında tahmin edilmesinde %13 lük bir artışla açıklanan değişkenliğin %84 (R^2= 0,843; YO model 2)'e yükseldiği görülmektedir. Zira tutuşma hattı genişliği yayılma oranı üzerinde olumlu bir etki göstermiştir. Diğer taraftan modele üçüncü bir bağımsız değişken olarak bağıl nem eklendiğinde yayılma oranındaki artışın yine bir miktar arttığı görülmektedir (R^2= 0,875; YO model 3). Grafik 3'te ise rüzgar hızına bağlı olarak tahmin edilen ile ölçülen yangın yayılma oranı arasındaki logaritmik ilişki verilmiştir. Bu artışın sebebinin nisbi nemin ince yanıcı madde nemine olan etkisinin modelde dolaylı yansıması olarak açıklanmaktır. Çünkü nisbi nemin özellikle ölü örtüdeki ibre ve ince yanıcı madde nem içeriğinin değişmesinde güçlü bir etkisinin olduğu bilinmektedir. İnce yanıcı maddeler boyutlarından dolayı bünyelerindeki nem içeriğini ortam şartlarına bağlı olarak çok çabuk değiştirebilmektedir. Doğrusal olmayan model ile yayılma oranının tahmin edilmesinde modele bağımsız değişken olarak rüzgar, ölü ibre nem içeriği ve ibre miktarının girmesiyle açıklanan kısmın (R^2= 0,830; model 4) olduğu görülmektedir (Fotoğraf 14).

Tablo 5. Müdahale görmüş karaçam meşceresinin ölü örtüsündeki yangın yayılma oranını tahmin eden regresyon modelleri

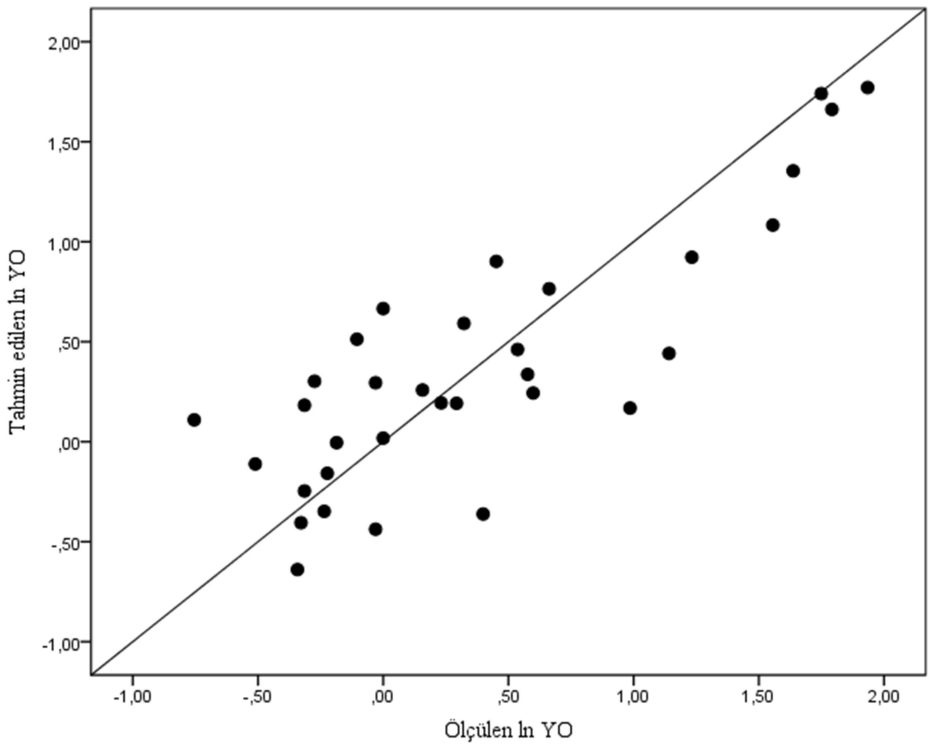
Bağımlı Değişken	Model	Standardize edilmemiş Katsayılar		Standardize edilmiş katsayılar	t	Sig.	R^2	Düzeltilmiş R^2	SH
		B	Std. Hata	Beta					
lnYO	1 (Sabit)	-0,697	0,139		-5,003	,036	0,720	0,711	0,398
	Rüzgar	0,297	0,033	0,849	8,935	,000			
	2 (Sabit)	-1,157	0,116		-9,986	,000			
	Rüzgar	0,331	0,022	0,943	14,721	,000	0,883	0,843	0,702
	*ln*THG	0,479	0,074	0,415	6,470	,000			
	3 (Sabit)	1,327	1,146		1,158	,256			
	Rüzgar	0,332	0,021	0,948	15,678	,000	0,893	0,875	0,261
	*ln*THG	0,575	0,083	0,498	6,964	,000			
	*ln*NN	-0,721	0,331	-0,152	-2,177	,038			
YO	4	$0{,}577 + R^{1{,}788} \times \text{ÖİNİ}^{-0{,}919} \times \text{İbreYMM}^{0{,}296}$					0,830		



Grafik 1. Yayılma oranı ile rüzgar hızı arasındaki ilişki



Grafik 2. Yayılma oranı ile ölü ibre nem içeriği arasındaki ilişki



Grafik 3. Yayılma oranının tahmin edilen değerleri ile ölçülen değerleri arasındaki logaritmik ilişki



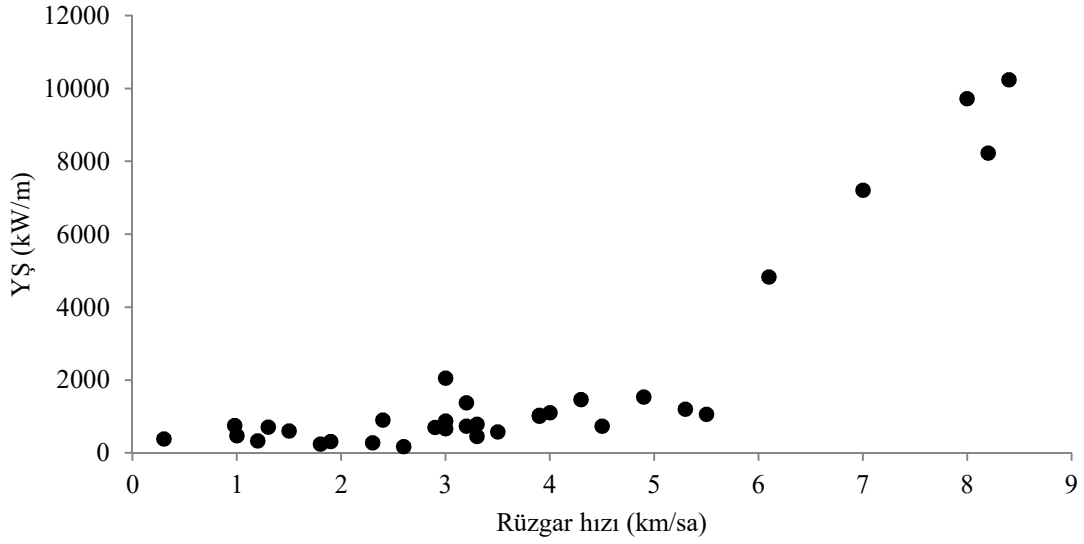
Fotoğraf 14. Deneme yangınlarında yangının yayılmasına ait bazı fotoğraflar

Yangın şiddetinin tahmin edilmesi için yapılan analizlerde de yayılma oranında olduğu gibi verilerin dağılımının homojen olmadığı görülmüş olup (Grafik 4, Grafik 5), bu değerlere logaritmik dönüşüm uygulanarak doğal logaritmaları alınmıştır. Bu şekilde elde edilen yeni değerlerle yapılan analizlerde dağılımın normal olduğu görülmüştür (Grafik 6).

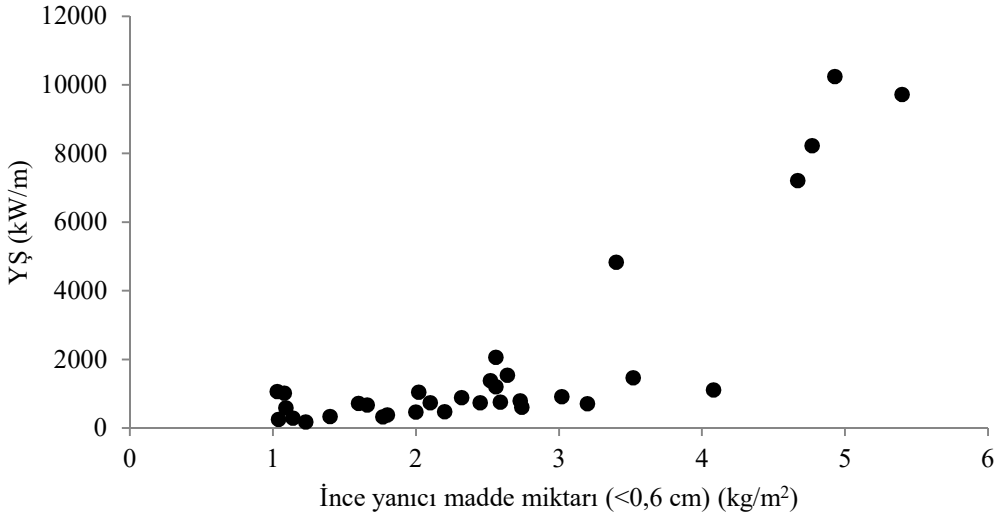
Yangın şiddeti ile ilgili regresyon modellerinin yer aldığı Tablo 6 bakıldığında rüzgarın tek başına yangın şiddetindeki değişkenliğin %74'ünü (R^2=0,743; P<0,01; YŞ model 1) açıkladığı görülmektedir. Rüzgar ile birlikte analize *ln* ince yanıcı madde miktarı bağıl nem, analize ikinci bir bağımsız değişken olarak dahil edildiğinde, yangın şiddetindeki değişkenliğin açıklanan kısmı %85 (R^2=0,852; P<0,01; YŞ model 2) olmuştur. Modele üçüncü değişken olarak THG ilave edildiğinde yangın şiddetindeki değişkenliğin açıklanan kısmının %9 luk bir artışla % 94'e (R^2=0,943; P<0,01; YŞ model 3; Grafik 6) yükseldiği belirlenmiştir. Doğrusal olmayan model ile yangın şiddetinin tahmin edilmesinde modele değişkenler olarak TYMM, tahmin edilen YO ve İYMM' nın girmesiyle açıklanan kısmın (R^2= 0,911; YŞ model 4) olduğu görülmektedir (Fotoğraf 15).

Tablo 6. Müdahale görmüş karaçam meşceresinin ölü örtüsündeki yangın şiddeti oranını tahmin eden regresyon modelleri

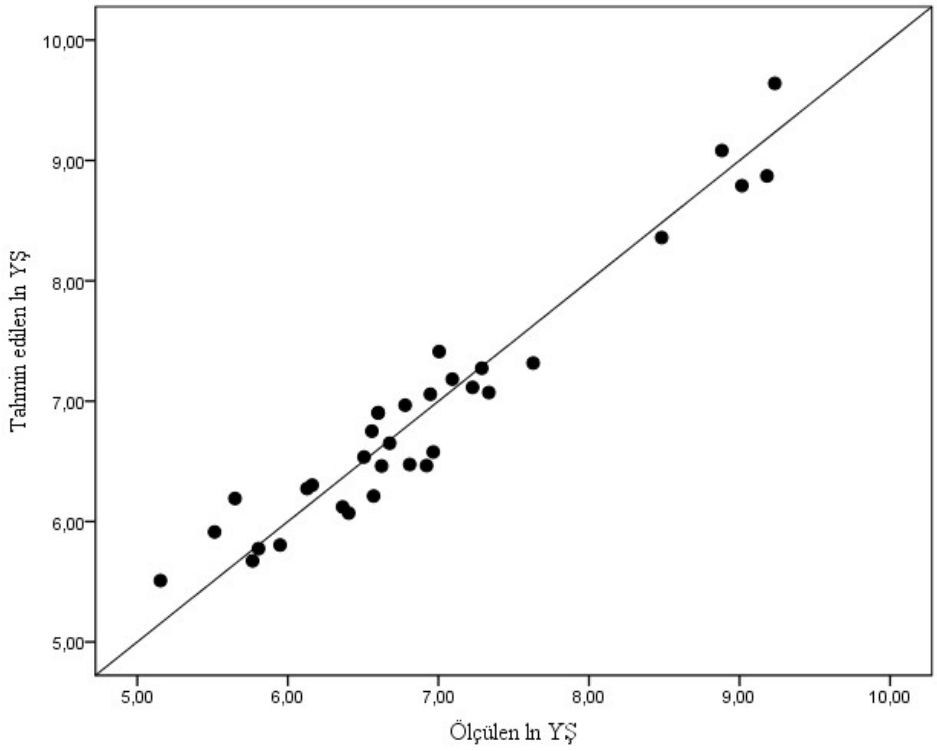
Bağımlı Değişken	Model	Standardize edilmemiş katsayılar		Standardize edilmiş katsayılar	t	Sig.	R^2	Düzeltilmiş R^2	SH
		B	Std. Hata	Beta					
lnYŞ	1 (Sabit)	5,353	0,185		28,923	,000	0,751	0,743	0,530
	Rüzgar	0,427	0,044	0,866	9,660	,000			
	2 (Sabit)	5,044	0,154		32,715	,000			
	Rüzgar	0,312	0,041	0,631	7,570	,000	0,861	0,852	0,402
	$ln1h_{fl}$	0,892	0,183	0,407	4,876	,000			
	3 (Sabit)	4,392	0,133		33,099	,000			
	Rüzgar	0,301	0,025	0,499	11,843	,000			
	*ln*İYMM	1,261	0,124	0,596	10,132	,000	0,949	0,943	0,248
	*ln*THG	0,545	0,077	0,336	7,052	,000			
YŞ	4	$TYM^{3,242} + YO_{tahmin}{}^{4,527} + İYMM^{5,160}$					0,911		



Grafik 4. Yangın şiddeti ile rüzgar hızı arasındaki ilişki



Grafik 5. Yangın şiddeti ile ince yanıcı madde miktarı arasındaki ilişki



Grafik 6. Yangın şiddetinin ölçülen değeri ile tahmin edilen değerleri arasındaki logaritmik İlişki



Fotoğraf 15. Yangın şiddeti ile ilgili bazı fotoğraflar

4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Müdahale görmüş karaçam meşceresinde 33 adet küçük ölçekli deneme yangını yapılmıştır. Deneme yangınlarında en yüksek yayılma oranı 6,92 m/dak ile en yüksek rüzgar hızının ölçüldüğü (8,4 km/sa) 18 no'lu yangında, en düşük yayılma oranı ise, 0,47 m/dak ile 5 no'lu yangında gerçekleşmiştir. Analizler sonucunda geliştirilen modellerde yayılma oranı üzerinde en etkili faktörün rüzgar (YO model 1, 2, 3, 4) olduğu görülmüştür. Rüzgar hızının ve yönünün yangının şeklini etkilediği gibi yangın yayılma oranına da etkilediği bilinmektedir. Rüzgar yayılma oranındaki değişkenliği tek başına %71 oranında açıklamıştır. Meşcere içerisinde bu çalışma yapıldığı için rüzgar değerlerinin düşük bir aralıkta gerçekleştiği ifade edilebilir. Rüzgar değerlerinin çok küçük bir aralıkta (0,30 km/sa 8,40 km/sa) değişme göstermesine rağmen yayılma oranı üzerinde hakim faktör olmuştur. Benzer şekilde yangın yayılma oranının tahmin edilmesi için yapılan bir çok çalışmada yayılma oranı üzerinde etkili faktörün rüzgar olduğu belirlenmiştir (Rothermel, 1972; Van Wagner, 1992; Wotton vd., 1999; Catchpole vd., 2002; Nelson, 2002; Küçük vd., 2007; Fernandes, 2009; Sullivan, 2009; Küçük, 2012; Andrews vd., 2013). Küçük vd. (2007)'nin karaçam meşceresi ölü örtüsünde yapmış oldukları çalışmada, yayılma oranını üzerindeki en etkili faktörün rüzgar olduğu belirtilmiş olup yayılma oranındaki değişkenliği rüzgara bağlı olarak %73 oranında açıklandığı ifade edilmektedir. Fernandes (2009)'in *Pinus maritima* meşcerelerinde yapmış olduğu çalışmada yayılma oranı üzerindeki değişkenlik % 66 oranında rüzgar, yanıcı madde nemi, yanıcı madde miktarı ve eğime bağlı olarak açıklanmıştır. Bu yönüyle yayılma oranındaki değişkenliğin açıklanmasında büyük benzerlik olmakla birlikte, bu çalışmada geliştirilen modelin daha kullanışlı olabileceği dikkat çekmektedir. Zira tek bir değişkene bağlı olarak yayılma oranındaki değişkenlik açıklanmıştır.

İnce yanıcı madde nem içeriğinin yangın yayılma oranı üzerine önemli bir etkisinin olacağı beklenilmekteydi. Ancak, bu çalışmada yayılma oranı üzerindeki etkisi belirlenememiştir. Bunun sebebi yakma şartlarındaki ibre (% 8 - % 15) ve ince yanıcı madde nem içeriği (% 10 - % 21) değerlerinin çok dar aralıkta olmasıdır. Ölü yanıcı

madde nem içeriğinin YO üzerinde etkisi literatür çalışmalarında yer almaktadır (Wilson, 1985; Dimitrakopoulos ve Mateeva, 1998; Viegas, 1998a; Viegas vd., 1998b; Catchpole vd., 1998; Burrows, 1999; Matthews, 2014). Yanıcı madde nem içeriğinin YO üzerindeki etkisini ortaya koyabilmek için yanıcı madde neminin geniş aralıklarda değişkenlik gösteren deneme yangınlarının yakılması ile elde edilecek veriler ile mümkün olacağı değerlendirilmiştir. Diğer taraftan bu çalışmada nisbi nemin kısmen de olsa YO üzerine etkisi belirlenmiştir. Nisbi nem boyutlarından dolayı ibre ve ÖİYM nem içeriğinin değişmesinde etkili olmaktadır. YO üzerinde nisbi nemin etkisinin dolaylı olarak ibre ve ÖİYM neminde görüldüğü ve YO etkilediği görülmektedir.

THG'nin yayılma oranı üzerinde etkisinin olup olmadığını belirlemek için farklı genişlikler kullanılmıştır. Hat şeklindeki tutuşturmalarda yangın kısa sürede yayılmaya başlamaktadır. Tek başına THG'nin etkisinin olmadığı, rüzgar ile birlikte THG'nin sınırlı da olsa YO üzerinde etkisi görülmüştür (YO Model 2). Benzer şekilde THG'nin YO üzerinde etkisinin olduğu (Wotton vd., 1999; Morandini vd., 2001; Dupuy vd., 2011; Fernandes, 2014) arazi ve laboratuvar şartlarında yapılmış çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmalardan laboratuvarda yapılanlarda kullanılan hat genişlikleri elde edilen sonuçlar bu çalışma sonuçları ile benzerlik göstermektedir. Arazi çalışmalarında ise hat genişliğinin etkisinin daha iyi görülebilmesi için 5 m, 10 m, 15 m, 25 m genişlikleri kullanılabilir.

Açık alan şartlarında gerçekleşen orman yangınlarında birçok çevresel faktörün yangınlar üzerinde etkili olduğu bilinmektedir (Raposo vd., 2018). YO tahmin etmek için geliştirilen modellerde yer alamayan diğer değişkenlerin de yayılma oranı üzerinde etkilerinin olduğu bilinen bir gerçektir. Bunun için yanıcı madde nemi, yanıcı madde miktarı ve eğim değerlerinin değişkenlik gösterdiği şartlarda yapılacak deneysel çalışmalar ile bu etkinin belirlenmesi mümkün olabilecektir.

Yangın şiddeti ile ilgili regresyon modellerinin yer aldığı tablo incelendiğinde, rüzgarın tek başına yangın şiddetindeki değişkenliğin %74'ünü (R^2 = 0,743; P<0,01) açıkladığı görülmektedir. Yayılma oranı üzerinde en etkili faktör olan rüzgarın

yangın şiddeti üzerinde de tek başına etkisi olmuştur. Bunun en önemli sebeplerinden birisi de, yangın şiddetinin hesaplanmasında bir parametre olarak kullanılan yayılma oranının hesaplanmasında değişken olarak rüzgarın yer almasıdır. Dolayısıyla, yayılma oranında rüzgara bağlı olarak görülen artışlar yangın şiddetini de etkilemiştir. Benzer durum, Küçük vd., 2007; Küçük vd., 2012 tarafından kızılçam ve karaçam ölü örtüsünde yapmış oldukları deneme yangınlarında ve Morvan (2014) yaptığı çalışmada tespit edilmiştir.

İnce yanıcı madde miktarı ve tutuşma hattı genişliğinin de yangın şiddetini olumlu yönde etkilediği görülmüştür. Çünkü yangın şiddetinin hesaplanmasında kullanılan ince yanıcı madde miktarı yangın sırasında aktif (Albini, 1997; Küçük vd., 2008) olarak tüketilen yanıcı madde miktarıdır. Müdahale yapılmış karaçam meşceresinin ölü örtüsünde müdahale sonrasında ölü örtü tabakasında ince yanıcı madde miktarında ciddi miktarda bir artış olduğundan bu durum yangın şiddeti değerlerini de yansımıştır. YHG ise yangının şiddetlenmesinde önemli olmaktadır. Özellikle geniş alanlarda meydana gelen büyük yangınlarda yangın hattında alevin özellikleri yangın şiddetinin bir göstergesi olarak ortaya çıkmaktadır. Geniş olan tutuşma hatlarında yanma dinamiklerinden dolayı radyasyon ve konveksiyon ısı transferi daha fazla olmakta ve dolayısıyla yangının ilerleme istikametinde yanıcı maddeler yangın o bölgeye ulaşmadan kuruyarak tutuşabilir hale gelmektedir. Dolayısıyla da yangın şiddet değeri daha yüksek olmaktadır. THG' nin tek başına yangın şiddeti üzerine etkisinin ortaya konulabilmesi için homojen şartlarda yapılacak deneme yangınlarında yukarıda belirtildiği gibi çok farklı yakma genişlikleri kullanılmalıdır.

KAYNAKLAR

Albini, F., Stocks B. (1986). Predicted and observed rates of spread of crown fires in immature jack pine. *Combustion Science and Technology, 48*, 65–76. doi: 10.1080/00102208608923884.

Albini, F. A. (1997). An Overview Of Research On Wildland Fire. *Fire Safety Science, 5*: 59-74. doi:10.3801/IAFSS.FSS.5-59

Alexander, M. E. (1998). Crown fire thresholds in exotire pine plantations of Australia. Ph.D. Thesis, *Austral. Natl. Unv*., *Canberra, ACT*, Australia, 228p.

Alexander, M. E., Lanoville, R. A. (2004). The International Crown Fire Modelling Experiment fuel treatment trials. *Tall Timbers Fire Ecology Conference Proceedings* 22:222.

Andrews, P. L., Cruz, M. G., Rothermel, R. C. (2013). Examination of the wind speed limit function in the Rothermel surface fire spread model. *International Journal of Wildland Fire, 22*, 959–969. doi:10.1071/WF12122.

Anonim, 2009. Kastamonu Meteoroloji İl Müdürlüğü verileri.

Baltacı, U., Yıldırım, F. (2017). Orman yangınları açısından riskli yılların güneş leke döngüsüne bağlı olarak önceden tahmin edilebilmesi. *Ormancılık Araştırma Dergisi*, *4* (2), 133-142. doi: 10.17568/ogmoad.338404.

Baysal, İ. (2007). Karaçam ölü Örtüsünde Yangın Büyüme ve Gelişimi, *Abant İzzet Baysal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek Lisans Tezi, Bolu, 75s.

Bilgili, E., Methven I. R. (1994). A dynamic fuel model for use in managed even-aged stands. *International Journal of Wildland Fire,* 4(3), 177-185. doi: 10.1071/WF9940177.

Bilgili, E. (2003). Stand development and fire behavior. *Forest Ecology and Management* 179, 333-339. doi:10.1016/S0378-1127(02)00550-9.

Bilgili, E., Saglam, B. (2003). Fire behavior in maquis in Turkey. *Forest Ecology and Management, 184*, 201-207.

Bilgili, E., Durmaz, B. D., Saglam, B., Küçük, Ö., Baysal, İ. (2006). Fire Behavior in Immature Calabrian Pine Plantations, *Forest Ecology and Management*, 234S, S77-S112.

Bulut, S. (2011). Yaşlı kızılçam ölü örtüsünde örtü yangını gelişimi, Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kastamonu, 52s.

Burrows, N. D. (1999). Fire behavior in Jarrah Forest fuels 1. Laboratory Experiments. *Calm science, 3*(1), 31-56.

Butler, B. M., Andrews, P., Albini, F. (2004). A radiation-driven model for crown fire spread. *Canadian Journal of Forest Research, 34*(8), 1588–1599. doi: 10.1139/x04-074.

Catchpole, E. A., Alexander, M. E. and Gill, A. M. (1992). Elliptical-fire perimeter and area-intensity distributions. *Canadian Journal of Forest Research, 22*(7) pp: 968-972.

Catchpole, W. R., Catchpole, E. A., Rothermel, R. C., Morris, G. A., Butler, B. W. and Latham, D. J. (1998). Rate of spread of free burnings fires in woody fuels in a wind tunnel. *Combust Sci. Technol*., *131*, 1-37.

Catchpole, W., Bradstock, R., Choate, J., Fogarty, L., Gellie, N., McCarthy, G., McCaw, L., Marsden-Smedley, J., Pearce, G. (1999). Cooperative development of predictive equations for fire behaviour in heathlands and shrublands. *In: Proceedings, Australian Bushfire 99 Conference,* Albury, *NSW*, 7-9 July, 1999. pp 77-83.

Catchpole, W. R., Catchpole, E. A., Tate, A. G., Butler, B., Rothermel, R. C. (2002). A model for the steady spread of fire through a homogeneous fuel bed. *In 'Proceedings of the 4th International Conference on Forest Fire Research and 2002 Wildland Fire Safety Summit'.* (Ed. DX Viegas) (Millpress Science Publishers: Rotterdam)

Cheney, N. P., Gould, J. S., Catchpole, W. R. (1993). Influence of fuel, weather and fire shape variables on fire-spread in grasslands. *International Journal of Wildland Fire, 3*, 31-44. doi:10.1071/WF9930031.

Cheney, N. P., Gould, J. S. (1995). Fire growth in grassland fuels. *International Journal of Wildland Fire, 5*, 237-247. doi: 10.1071/WF9950237.

Cruz, M. G., Alexander, M. E., Wakimoto, R. H. (2003). Assessing the probability of crown fire initiation based on fire danger indices. *The Forestry Chronicle*, *79*(5), 976-983.

Cruz, M. G., Alexander, M. E., Fernandes, P. M. (2008). Development of a model system to predict wildfire behaviour in pine plantations. *Australian Forestry 71*, 113–121.

Cruz, M. G., Fernandes, P. M. (2008). Development of fuel models for fire be haviour predictionin maritime pine (*Pinus pinaster* ait.) stands. *International Journal of Wildland Fire, 17*, 194–204.

De Mestre, N., Catchpole, E., Anderson, D., Rothermel, R. C. (1989). Uniform propagation of a planar fire front without wind. *Combustion Science and Technology, 65*, 231–244. doi: 10.1080/00102208908924051.

Dimitrakopoulos, A. P., Mateeva, V. (1998). Effect of moisture content on the ignitability of Mediterranean species. *In 'Proceedings of the 3rd International Conference on Forest Fire Research&14th Conference on Fire and Forest Meteorology'*, November 1998, Luso-Coimbra, Portugal. (Ed.DX Viegas) pp. 455–466. (ADAI, University of Coimbra: Coimbra, Portugal)

Dupuy, J. L., Marechal, J., Portier, D., Valette, J. C. (2011). The effects of slope and fuel bed width on laboratory fire behavior. *International Journal of Wildland Fire, 20*(2), 272–288. doi: 10.1071/WF09075.

Fernandes, P. M., Loureiro, C., Botelho, H. S. (2004). Fire behaviour and severity in a maritime pine stand under differing fuel conditions. *Annals of Forest Science, 61*, 537-544. doi: 10.1051/forest:2004048.

Fernandes, P. M. (2009). Examining fuel treatment longevity through experimental and simulated surface fire behaviour: a maritime pine case study. *Canadian Journal of Forest Research 39*, 2529-2535. doi: 10.1139/X09-145.

Fernandes, P. M., Botelho, H. S., Rego, F. C., Loureiro, C. (2009). Empirical modelling of surface fire behaviour in maritime pine stands. *International Journal of Wildland Fire*, *18*, 697-710. doi: 10.1071/WF08023.

Fernandes, P. M. (2014). Upscaling the estimation of surface-fire rate of spread in maritime pine (*Pinus pinaster* ait.) forest. i*Forest 7*, 123-125 [online 2014-01-10] URL: http://www.sisef.it/iforest/contents/?id=ifor0992-007.

Finney, M. A. (1998). Fire area simulator-Model development and evaluation. USDA *For. Serv. Res. Pap*. RMRS-RP-4, 47p.

Forbes, L. K. (1997). A two-dimensional model for large-scale bushfire spread. *Journal of the Australian Mathematical Society, Series B* (Applied Mathematics) *39*(2), 171–194.

Forestry Canada Fire Danger Group (1992). Development and structure of the Canadian Forest Fire Behavior Prediction System. *Forestry Canada Information Report ST-X-3.* (Ottawa, ON)

Graham, R., Harvey, A., Jain, T., Tonn, J. (1999). Effects of thinning and similar stand treatments on fire behavior in western forests. *USDA Forest Service, Pacific Northwest Research Station, General Technical Report PNW-GTR-*463. P 37.

Graham, R., Russell, T., Harvey, A., Alan, E., Jain, T., Theresa, B., Tonn, J., Jonalea, R. (1999). The effects of thinning and similar stand treatments on fire behavior in Western forests. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-463. Portland, OR: U.S. *Department of Agriculture, Forest Service*, Pacific Northwest Research Station. 27 p.

Jesse, K., Kreye, J. K., Brewer, W.N., Morgan, P., Varner, J. M., Simith, A. M. S., Hoffman, C. M., Ottmar, R. D. (2014). Fire behavior in masticated fuels: A review. *Forest Ecology and Management*,*314,* 193–207.

Küçük, Ö. (2004). Kızılçamda Yanıcı Madde Tiplerinin Belirlenmesi, Haritalanması ve Karaçamda Yangın Davranışının Tahmini. *KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü,* Doktora Tezi, Trabzon, 136 Sayfa.

Küçük, Ö., Sağlam, B., Bilgili, E. (2007a). Canopy fuel characteristics and fuel load in young black pine trees. *Biotechnology and Biotechnological Equipment, 21*(2), 235-240.

Küçük, Ö., Bilgili, E., Baysal, İ. (2007b). 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. (2008a). Estimating crown fuel loading for calabrian pine and Anatolian black pine. *International Journal of Wildland Fire, 17*, 147-154. doi: 10.1071/WF06092.

Küçük, Ö., Bilgili, E., Sağlam, B., Başkaya, Ş., Durmaz, B. (2008b). Some parameters affecting fire behavior in Anatolian black pine (*Pinus nigra* Arnold) 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), 80-85.

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.

Küçük, Ö., Bilgili, E., Fernandes, P. M. (2015). Fuel modeling and potential fire behavior in Turkey. *Sumarski list,* (11-12), 553-560.

Küçük, Ö., Topaloglu, O., Altunel, A. O., Çetin, M. (2017). Visibilty analysis fire lookout towers in the Boyabat state forest enterprise in Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*. doi: 10.1007/s 10661-017-6008-1.

Marino, E., Dupuy, J. L., Pimont, F., Guijarro, M., Hernando, C., Linn, R. (2012). Fuel bulk density and fuel moisture content effects on fire rate of spread: a comparison between FIRETEC model predictions and experimental results in shrub fuels. *Journal of Fire Sciences, 30*(4), 277–299. doi: 10.1177/0734904111434286.

Matthewss, S. (2014). Dead fuel moisture Research: 1191-2012. *International Journal of Wildland Fire, 23*(1), 78-92. https://doi.org/10.1071/WF13005.

Morandini, F., Santoni, P.A., Balbi, J.H. (2001). Fire front width effects on fire spread across a laboratory scale sloping fuel bed. *Combustion Science and Technology, 166*(1), 67-90. doi: 10.1080/00102200108907820

Morvan, D. (2014). Wind effects, unsteady behaviors, and regimes of propagation of surface fires in open field. *Combustion Science and Technology, 186*(7), 869-888. doi: 10.1080/00102202.2014.885961.

Nelson, R. M. (2002). An effective wind speed for models of fire spread. *International Journal of Wildland Fire, 11*, 153–161.

OGM, 2015. Orman Genel Müdürlüğü, Ormancılık İstatistikleri, Orman Varlığı.

OGM, 2016. Orman Genel Müdürlüğü, Ormancılık İstatistikleri, Orman alanlarının ağaç türlerine göre dağılımı.

OGM, 2017. Orman Genel Müdürlüğü, Ormancılık İstatistikleri, Orman Yangınları.

Pinto, A., Espinosa-Prietoa, J., Rossa, C., Matthewsb, S., Loureiroc, C., Fernandes P. M. (2014). *Modelling fine fuel moisture content and the likelihood of fire spread in blue gum (Eucalyptus globulus) litter.* Kitap bölümü Advances in forest fire research (editör; Domingos Xavier Viegas). ISBN : 978-989-26-0884-6 (PDF). doi : http://dx.doi.org/10.14195/978-989-26-0884-6_39.

Raposo, J. R., Viegas, D. X., Xie, X., Almeida, M., Figueiredo, A. R., Porto, L. and Sharples, J. (2018). *International Journal of Wildland Fire, 27*(1) 52-68 https://doi.org/10.1071/WF16173.

Rossa, C. G. (2017). The effect of fuel moisture content on the spread rate of forest fires in the absence of wind or slope. *International Journal of Wildland Fire*, *26*, 24–31.

Rossa, C. R., 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. C. (1972). A mathematical Model for Predicting Fire Spread in Wildland Fuels, Res, *U.S. Department of Agriculture, Forest Service*, Res.,pp 40, INT-115, Ogden.

Rothermel, R. C. (1983). How to predict the spread and intensity of forest and range fires. *USDA Forest service, Intermountain Forest and Range Experimental Station research, General Technical Report*, INT-143.

Rothermel, R. C. (1991). Predicting behavior and size crown fires in the Northern Rocky Mountains. *Intermountain Forest and Range Experimental Station research, General Technical Report*, INT-438.

Sağlam, B. (2002). Meteorolojik Faktörlere Bağlı Yanıcı Madde Nem İçerikleri ve Maki Tipi Yanıcı Maddelerde Yangın Davranışı. *KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, Doktora Tezi, Trabzon, 120 Sayfa.

Sağlam, B., Bilgili, E., Küçük, Ö., Dinçdurmaz, E. (2008). "Fire behavior in Mediterranean shrub species (Maquis)". *African Journal of Biotechnology*, *7*(22), 4122-4129.

Scott, J.H., Burgan, R. E. (2005). Standard fire behavior fuel models: A comprehensive set for use with Rothermel's surface fire spread model. USDA *For. Serv.* RMRS- GTR-153, 72 pp.

Stocks, B .J., Alexander, M. E., Wotton, B. M., Stefner, C. N, Flannigan, M. D., Taylor, S. W., Lavoie, N., Mason, J. A., Hartley, G. R., Maffey, M. E., Dalrymple, G. N., Blake, T. W., Cruz, M. G., Lanoville, R. A. (2004). Crown fire behaviour in a northern jack pine - black spruce forest. *Canadian Journal of Forest Research, 34*, 1548-1560. doi: 10.1139/x04-054.

Sullivan, A. L. (2009). Wildland surface fire spread modeling, 1990–2007. 2. Empirical and quasi-emprical models. *International Journal of Wildland Fire, 18*(4), 369–386. doi: 10.1071/WF06142.

Van Wagner C. E. (1992). Prediction of crown fire in two stands of jack pine. *Canadian Journal of Forest Research, 23*, 442-449. 1992. doi: 10.1139/x93-062.

Van Wagner C. E. (1993). Prediction of Crown fire behavior in two stands of Jack pine. *Canadian Journal of Forest Research, 23*, 442-449.

Viegas, D. X., Neto, L. P. C. (1990). Rate of Spread of a Flame at Varying Wind Conditions, In: Proceedings of the *1st International Conference on Forest Fire Research,* 19-22 November 1990. Coimbra, Portugal.

Viegas, D. X. (1998a). Weather, fuel status and fire occurrence: predicting large fires, in JM Moreno ed., Large forest fires. Leiden, Backhuys Publishers, p. 31-48.

Viegas, D. X., Pinol, J., Viegos, M. T., Ogaya, R. (1998b). Moustire content of living forest fuels and their relationship with meteorological indices in the Iberian Peninsula, In Viegas DX (ed*) III International Conference on Forest Fire Research-14 th Conference on Fire and Forest Meteorology*, ADAI, Luso-Coimbra, pp 1029-1046.

Weber, R. O. (1991). Modelling fire spread through fuel beds. *Progress in Energy and combustion Science, 17*(1), 67–82. doi: 10.1016/0360-1285(91)90003-6.

Wotton, B.M., McAlpine, R.S., Hobbs, M.W. (1999). The effect of fire front width on surface fire behaviour. *International Journal of Wildland Fire, 9*, 247-253. doi: 10.1071/WF00021.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Rıfat ÜZÜMCÜ

Doğum Yeri ve Yılı : Kastamonu-1982

Medeni Hali : Evli

Yabancı Dili : İngilizce-Arapça

E-posta : rifatuzumcu@ogm.gov.tr



Eğitim Durumu

Lise : Yabancı Dil Ağırlıklı Kastamonu Kuzeykent Lisesi

Lisans : Gazi Üniversitesi Orman Mühendisliği Bölümü

Mesleki Deneyim

İş Yeri : Kastamonu Valiliği İl Dernekler Müdürlüğü (2006-2008)

İş Yeri : OGM, Kastamonu Orman İşletme Müdürlüğü (2008-2009)

İş Yeri : OGM, Ayancık Orman İşletme Müdürlüğü (2009-2012)

İş Yeri : OGM, Araç Orman İşletme Müdürlüğü (2012-2017)

İş Yeri : OGM, Hanönü Orman İşletme Müdürlüğü (2017-2018)

İş Yeri : OGM, Samatlar Orman İşletme Müdürlüğü (halen)

Yayınları

1- Kucuk, O., Bilgili E., Uzumcu, R., Fernandes, P., 2010. The effect of ignition line length on surface fire spread under the different fuel condition in thinned Anatolian black pine (*Pinus nigra* Arnold) stands. VI. International Conference on Forest Fire Research, 15-18 November, 2010, Coimbra, Portugal.

2- Kucuk,O., Uzumcu. R., 2012. Surface fire spread in a thinned Anatolian black pine (*Pinus nigra Arnold*) stand under the field conditions. Wood & Fire Safety 7, International Scientific Conference, Slovakia 2012.)