

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ORMAN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ARALAMA GÖRMÜŞ GENÇ KIZILÇAM AĞAÇLANDIRMA ALANLARINDA
YANGIN DAVRANIŞI**

DOKTORA TEZİ

Orm. Yük. Müh. Bahar DİNÇ DURMAZ

**HAZİRAN 2014
TRABZON**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ORMAN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ARALAMA GÖRMÜŞ GENÇ KIZILÇAM AĞAÇLANDIRMA ALANLARINDA
YANGIN DAVRANIŞI**

Orm. Yük. Müh. Bahar DİNÇ DURMAZ

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
"DOKTOR (ORMAN MÜHENDİSLİĞİ)"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 23.05.2014
Tezin Savunma Tarihi : 18.06.2014**

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ertuğrul BİLGİLİ

Trabzon 2014

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Orman Mühendisliği Anabilim Dalında
Bahar DİNÇ DURMAZ Tarafından Hazırlanan

ARALAMA GÖRMÜŞ GENÇ KIZILÇAM AĞAÇLANDIRMA ALANLARINDA
YANGIN DAVRANIŞI

başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 27/05/2014 gün ve 1555/06
sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda

DOKTORA TEZİ
olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Ertuğrul BİLGİLİ

Üye : Prof. Dr. Mahmut EROĞLU

Üye : Prof. Dr. Cengiz ACAR

Üye : Prof. Dr. Hakkı YAVUZ

Üye : Prof. Dr. Mustafa AVCI

Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

“Aralama Görmüş Genç Kızılçam Ağaçlandırma Alanlarında Yangın Davranışı” adlı bu alışma Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Doktora Tezi olarak hazırlanmıştır.

Doğrudan uygulamaya fayda sağlayan, güncel ve özgün bir tez konusunun seçilmesi ve araştırılmasında bana önderlik eden, yaz aylarında haftalarca süren, yoğun ve yorucu arazi çalışmalarına bizzat kendi katılarak katkı sağlayan, çalışmanın içerik olarak geliştirilmesine yardımcı olan, zor zamanlarımızda destek olarak, moral ve motivasyonumuzu artıran ve büyük bir sabırla bu çalışmanın başarıyla sonuçlanması için her türlü katkıyı fedakarca yapan saygıdeğer hocam Prof. Dr. Ertuğrul BİLGİLİ’ye sonsuz teşekkür ve şükranlarımı sunarım.

Değerli görüş ve önerileriyle çalışmamı yönlendiren, her zaman ilgi ve desteğini gördüğüm sayın hocam Prof. Dr. Mahmut EROĞLU’ na, bilgi ve tecrübelerinden istifade ettiğim sayın hocam Prof. Dr. Cengiz ACAR’a ve Yrd. Doç. Dr. Hüseyin AYAZ’a gönülden teşekkür ederim.

Dört yıl boyunca süren arazi çalışmalarımnda yaz tatillerini benim için feda eden ve verilerin analizleri sırasında sürekli yardımlarını gördüğüm Sayın Prof. Dr. Ömer KÜÇÜK’e, Sayın Doç. Dr. Bülent SAĞLAM’a, mesai arkadaşım Arş. Gör. İsmail BAYSAL’a ve onların kıymetli aile bireyelerine, teşekkürü bir borç bilirim.

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde, KTÜ-OGM arasında imzalanan ortak proje önerisi ile gerek arazi tahsisinde gerekse araç, işçi ve ekipman temininde en önemli desteği sağlayan OGM’ne ve özellikle dönemin OGM, Orman Kor. ve Yan. Mücadele Dairesi Başkanı Sayın Nurettin DOĞAN’a, çalışmalarımızı içtenlikle destekleyen Çanakkale Orman Bölge Müdürü Mustafa DEMİREL’e, Koruma Şube Müdürü Sayın Vehbi TUTMAZ’a, Keşan Orman İşletme Müdürü Sayın İsmail BUDAK’a, ilgili İşletme Müdürlüğü Şeflerine ve yangın söndürme ekiplerine sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca TOVAG 108 O 327 kod numaralı proje ile burs desteği sağlayan TÜBİTAK ile her türlü imkânlarından sürekli olarak faydalandığım Üniversiteme gönülden teşekkür ederim.

TÜBİTAK desteğiyle ülkemize davet edilen, veri analizlerinde değerli bilgi ve deneyimlerinden çokça faydalandığım ve sürekli desteklerini gördüğüm Dr. Martin E. Alexander ve Dr. Miguel Cruz’a çok teşekkür ederim.

Kendi doktora çalışmasına rağmen sabır ve anlayışımı esirgemeyen, arazi çalışmalarımnda bizzat yanımda olan, yokluğumu hissettirmeden çocuğumuzla ilgilenen değerli eşim Mustafa DURMAZ’a ve yeterince yanında olamadığım biricik oğlumuz Selim Emre DURMAZ’a, bana her zaman güven veren, maddi, manevi desteğini esirgemeyen fedakâr anne ve babama, biricik kardeşlerim Süleyman Sami, Seda ve Ahmet’e ve her zaman destekçim olan eşimin kıymetli anne ve babasına, kardeşlerim Mehmet, Fatmanur, Fahrettin ve Vasfiye Gül’e ve sevgili kuzenim Melike ve Melek’e ve tüm arkadaşlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmanın ülkemiz ormancılığına, orman yangınları ile ilgilenen bütün birimlere, şahıslara ve yapılacak yeni çalışmalara katkı sağlamasını temenni ederim.

Bahar DİNÇ DURMAZ
Trabzon 2014

TEZ BEYANNAMESİ

“Aralama Görmüş Genç Kızılçam Ağaçlandırma Alanlarında Yangın Davranışı” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Ertuğrul BİLGİLİ’nin sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 23/05/2014

Bahar DİNÇ DURMAZ

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No:</u>
ÖNSÖZ	III
TEZ BEYANNAMESİ	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VII
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ	IX
TABLolar DİZİNİ.....	XIV
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Yangın Davranışı ve Aralamanın Yangın Davranışı Üzerine Etkisi	4
1.2.1. Yangın Davranışı	5
1.2.1.1. Yangın davranışını etkileyen ana faktörler	9
1.2.2. Aralama ve Yangın Davranışı	15
1.2.3. Yangın Davranış Modelleri	21
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	24
2.1. Çalışma Alanı	24
2.2. Deneme Yangını Parsellerinin Hazırlanması	27
2.2.1. Deneme Yangınlarından Önce Yapılan Ölçümler	29
2.2.1.1. Meşcere Özelliklerinin Belirlenmesi	30
2.2.1.2. Yanıcı Madde Miktarının Belirlenmesi	30
2.2.1.2.1. Humus ve Ölü Örtü Yanıcı Madde Miktarının Belirlenmesi	31
2.2.1.2.2. Tepe Altı Kuru Dal ve Tepe Altı Asılı İbre Miktarlarının Belirlenmesi	32
2.2.1.2.3. Tepe Yanıcı Madde Miktarının Belirlenmesi.....	34
2.2.2. Deneme Yangınları Sırasında Yapılan Ölçümler	35
2.2.2.1. Yakma Zamanının Belirlenmesi	36
2.2.2.2. Yakma Tekniğinin Belirlenmesi.....	36
2.2.2.3. Yanıcı Madde Nem İçeriğinin Belirlenmesi.....	37
2.2.2.4. Rüzgâr Ölçümleri.....	38
2.2.2.5. Yangın Anında Tutulan Kayıtlar	39
2.2.3. Deneme Yangınları Sonrasında Yapılan Ölçümler	41
2.2.3.1. Yanıcı Madde Tüketiminin Belirlenmesi	41

3.	BULGULAR VE TARTIŞMA.....	44
3.1.	Yanıcı Madde Özelliklerine İlişkin Bulgular	44
3.2.	Yangın Davranışına İlişkin Bulgular	64
3.2.1.	Deneme Yangınlarına İlişkin Bulgular	64
3.2.1.1.	Tüm Deneme Yangınlarına İlişkin Bulgular	73
3.2.1.2.	Aralama Görmüş ve Görmemiş Parsellerde Yangın Davranışına İlişkin Bulgular	87
3.2.1.3.	Tepe Yangını Oluşumu ve Gelişimine İlişkin Bulgular.....	97
3.2.2.	Deneme Yangınlarına Ait Yangın Davranış Verileri İle Regresyon Modellerinin Geliştirilmesi	104
3.2.2.1.	Deneme Yangınlarının Tamamına İlişkin Regresyon Modellerinin Geliştirilmesi	105
3.2.2.2.	Aralama Görmüş ve Görmemiş Parsellerdeki Deneme Yangınlarına İlişkin Regresyon Modellerinin Geliştirilmesi	112
3.2.2.3.	Yangın Türlerine Göre Regresyon Modellerinin Geliştirilmesi.....	119
3.2.3.	Tepe Yangını Oluşumunun Lojistik Regresyon Analizi İle Belirlenmesi	132
3.2.3.1.	Model Yapısı ve Veri Analizleri.....	132
3.2.3.2.	Model Geliştirme ve Performans Ölçümleri	136
3.3.	Bazı Yangın Davranış Modellerinin Test Edilmesi	139
3.3.1.	Tepe Yangını Başlama Modelleri	140
3.3.1.1.	Tepe Yangını Başlama ve Oluşum Modellerinin Test Edilmesi	145
3.3.2.	Tepe Yangını Yayılma Modelleri	149
3.3.2.1.	Model Performansının Belirlenmesi	152
3.3.2.2.	Aralama Görmüş ve Görmemiş Parsellerde Aktif ve Pasif Tepe Yangını Yayılma Oranı	155
3.4.	Deneme Yangınları Esnasında Gelişen Nokta Yangınları	160
3.4.1.	Nokta Yangınları ve Kaçan Yangınlar	161
4.	SONUÇLAR.....	169
5.	ÖNERİLER	180
6.	KAYNAKLAR	182

ÖZGEÇMİŞ

Doktora Tezi

ÖZET

ARALAMA GÖRMÜŞ GENÇ KIZILÇAM AĞAÇLANDIRMA ALANLARINDA YANGIN DAVRANIŞI

Bahar DİNÇ DURMAZ

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Orman Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Ertuğrul BİLGİLİ
2014, 202 Sayfa

Aralama, meşcere yapısı ve yanıcı madde özelliklerini etkileyerek örtü ve tepe yangını potansiyelini değiştirir. Aralama sonrasında meydana gelen değişimin yangın davranışı üzerine etkilerinin belirlenmesi, yangınlarla etkin ve başarılı mücadelenin bir gereğidir. Bu çalışmada, aralamanın yangın davranışı üzerine etkilerini belirlemek amacıyla 76 deneme yangını gerçekleştirilmiştir. Deneme yangınları, 18-20 yaşlarındaki kızılçam (*Pinus brutia L.*) ağaçlandırma alanlarında, 2004-2007 yılları arasında yaz aylarında gerçekleştirilmiştir. Yangın parselleri 0,1-1,1 ha büyüklüğünde, rüzgâr yönünde 25-120 m eninde değişen boyutlarda, düz arazide (%0 eğim) hazırlanmıştır. Farklı hava hallerinde gerçekleştirilen deneme yangınlarında, yangın yayılma oranı ve yangın hattı şiddeti, sırasıyla 0,93 ile 82,78 m/dk ve 571 ile 27788 kW/m arasında değişiklik göstermiştir. Yangın davranış özellikleri (örn. yanıcı madde tüketimi, yayılma oranı ve yangın hattı şiddeti) ile hava halleri ve yanıcı madde özelliklerinin oldukça kuvvetli bir ilişki göstermiştir. Elde edilen verilere bağlı olarak, yangın davranışını tahmin eden regresyon eşitlikleri geliştirilmiştir. Ayrıca, tepe yangını olma olasılığını tahmin eden bir lojistik regresyon modeli geliştirilmiştir. Analizlerde, rüzgâr hızı ile birlikte rüzgâr hamlesinin yangın yayılma oranı ile ilgili olarak yangın davranışında önemli bir etkisi olduğu görülmüştür. Aralama sonrasında, meşcere yapısı ve yanıcı madde özelliklerinde önemli değişimler meydana geldiği belirlenmiştir. Bu değişimlerin aralama görmüş ve görmemiş meşcerelerde yangın yayılma oranı ve yangın türünde belirgin farklılıklar oluşturduğu anlaşılmıştır. Aralama görmüş parsellerde, alev yüksekliği ile yangın hattı şiddeti arasında kuvvetli bir ilişki olduğu ve rüzgâr hızının yangın şiddeti üzerindeki hâkim etkisinin aralama görmemiş parsellere nazaran oldukça azaldığı belirlenmiştir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar, aralamanın yangın davranışı üzerine etkilerini anlama, var olan teorik ve deneysel yangın davranış modellerini doğrulanma ve iyileştirme sürecinde uygulayıcılara ve yangın araştırmacılarına oldukça yardımcı olacaktır.

Anahtar Kelimeler: Aralama, Yangın Davranışı, Yangın Yayılma Oranı, Tepe Yangını, Tepe Yangını Oluşumu

PhD. Thesis

SUMMARY

FIRE BEHAVIOUR IN THINNED IMMATURE CALABRIAN PINE PLANTATIONS

Bahar DİNÇ DURMAZ

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Forest Engineering Graduate Program
Supervisor: Prof. Dr. Ertuğrul BİLGİLİ
2014, 202 Pages

Thinning alter surface fire behaviour and crowning potential, which influence stand structure and fuel characteristics. Considering of effects on fire behaviour of variations after thinning is required to be effective and successful in combating forest fires. In this dissertation, a total of 76 experimental fires were conducted to determine the effects of thinning on fire behaviour. Experimental burning exercise was carried out in the summer of between 2004 - 2007 in 18-20-year-old calabrian pine (*Pinus brutia L.*) plantations. Burning plots were prepared with ranging from approximately 0,1 ha to 1,1 ha size and with the windward edge of the plots being 25 to 120 m in width, lying on flat terrain (i.e., 0% slope). Experimental burns were carried out under varying weather conditions, rates of fire spread and fireline intensities ranged from 0,93 to 82,78 m min⁻¹ and 571 to 27788 kW m⁻¹, respectively. Fire behavior characteristics (i.e., fuel consumption, rate of spread and frontal fire intensity) were strongly correlated with fire weather and fuel conditions. Based on the data gathered, regression equations were generated to predict fire behavior. Also, a logistic regression model was developed to predict the likelihood of crown fire occurrence. Analyses showed that the variables of wind speed and wind gust covers a significant portion of the spectrum of fire behavior associated with the fire spread rate. It was seemed that thinning can also modify strongly influenced by stand and fuel structure. These variations in thinned and unthinned stands associated with burning conditions affected the fire spread rate and fire. In thinned plots, flame height has a strong influence on frontal fire intensity and a dominant effect of wind speed on fire intensity versus unthinned stands reduced the effect on fire intensity. The results obtained in this study should be invaluable to help the managers and fire researchers with the understanding of potential effect of thinning treatments on fire behaviour and the validating and improving existing theoretical and empirical models of fire behaviour.

Key Words: Thinning, Fire behavior, Fire Spread Rate, Crown Fire, Crown Fire Occurrence

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.	Hâkim rüzgâr yönünde yayılan bir yangında, baş, arka yangın ve yanma evreleri; ön ısınma (1), tutuşma ve alevli yanma (2), kor halinde yanma (3). (Alexander vd., 2012)	6
Şekil 2.	Meşcere ve alev özellikleri. T_a : Tepe altı yüksekliği h: Meşcere boyu,	9
Şekil 3.	Örtü yangınlarında rüzgâr hızının vejetasyon tipine göre değişimi. Mavi oklar orta alev rüzgâr hızını gösterir (Andrews, 2012).....	11
Şekil 4.	Orman yangını maddelerinin dikey sürekliliğini oluşturan katmanlara ilişkin bir meşcere profili (Alexander vd., 2012).....	13
Şekil 5.	Bir ağaçlandırma alanına ait meşcere profili a) Aralama görmemiş meşcere b) Aralama görmüş, tepe kapallığı kırılmış ve kesim artıkları ölü örtü tabakasında birikmiş bir meşcere.....	17
Şekil 6.	Meşcere içi rüzgâr hızının, meşcere boyu (h) ve tepe altı yüksekliğine bağlı olarak değişimi (Gardiner'den (2004) uyarlanmıştır).....	19
Şekil 7.	Aralama görmüş (%50) ve aralama görmemiş çam plantasyonlarında rüzgâr hızına bağlı olarak yangın yayılma oranında meydana gelen değişim (Cruz vd., 2008).....	21
Şekil 9.	Orman yangınlarının en fazla meydana geldiği ağustos-eylül aylarını içeren ve araştırma alanına ait aylık ortalama sıcaklık, yağış ve nem değerleri.....	26
Şekil 10.	Barağı köyü yakınlarında gerçekleştirilen deneme yangınları alan krokileri.....	27
Şekil 11.	Suluca köyü yakınlarında gerçekleştirilen deneme yangınları alan krokileri	28
Şekil 12.	Meriç ilçesi, Küçükaltıyağaç köyü yakınlarında gerçekleştirilen deneme yangınları alan krokileri	29
Şekil 13.	Ölü örtü örneklerinin metal çerçeve yardımıyla alınması.....	31
Şekil 14.	Kızılçamda (a) doğal dal budanması ve (b) tepe altı boşluğunda yoğun döküntü ibre birikimine ilişkin bir görünüm	32
Şekil 15.	Kesilen ağaçların ibre ve dal miktarının örneklenme tekniği. Biokütle belirlenmesinde 1, 6, 11, 16, 21 numaralı seksiyonlar örneklenmiştir (Küçük 2008'den alınmıştır)	34
Şekil 16.	Deneme yangını parsellerinin hat yangını olarak tutuşturulması anından (a) Sulaca ve (b) Meriç çalışma alanlarından bir görünüm	37
Şekil 17.	Meteoroloji istasyonun meşcere ağaç boyuna göre kurulum mesafesi ve standart anemometre yüksekliği (Şekil ölçekli değildir) (Turner ve Lawson 1978'den uyarlanmıştır)	39

Şekil 18. Farklı yayılma oranlarında alınan ara okumalar ve mesafe ölçümlerinin şematik gösterimi. (Z: zaman, M: mesafe).....	39
Şekil 19. Deneme yangınlarının (a) meşçere içinden (b) yüksek bir noktadan kamera kayıtlarının alınması anından bir görünüm	40
Şekil 20. Ağaçların yanma derecesine bağlı olarak sınıflandırılması	41
Şekil 21. Çalışma alanından (a) yangın sonrası genel bir görünüm, (b) şiddetli tepe yangını görmüş parselden görünüm.....	43
Şekil 22. Deneme yangını parsellerine ait bazı yanıcı madde ve meşçere özelliklerinin şematik izahı	56
Şekil 23. Aralama görmemiş deneme yangını parsellerine ait yanıcı madde özelliklerinin şematik gösterimi	57
Şekil 24. Aralamadan 1 yıl sonra yakılan deneme yangını parsellerine ait yanıcı madde özelliklerinin şematik gösterimi	60
Şekil 25. Aralamadan 2 yıl sonra yakılan deneme yangını parsellerine ait yanıcı madde özelliklerinin şematik gösterimi	62
Şekil 26. Deneme yangınlarında (a) örtü yangını (b) pasif tepe yangını ve (c) aktif tepe yangını olarak ilerleyen yangın sayısının yayılma oranına göre dağılımları. Bu grafiklerde, 82,8 m/dk yayılma oranına sahip olan Mrc 27 yangını gösterilmemiştir.....	66
Şekil 27. Aktif tepe yangını olarak gerçekleşen deneme yangınlarının bazılarında bir görünüm	72
Şekil 28. Deneme yangınlarına ait yayılma oranı değerleri ile yangın hava halleri arasındaki bazı önemli açıklayıcı değişkenlerin yangın tiplerine göre dağılımı.....	76
Şekil 29. Meşçere boyu ve kapalılığa bağlı olarak hesaplanan meşçere içi rüzgâr hızı ile (a) 10 m yükseklikteki açık alanda ölçülen rüzgâr hızı ve (b) yayılma oranı arasındaki ilişkinin yangın türlerine göre dağılımı	77
Şekil 30. Deneme yangınların yayılma oranı ile bazı önemli açıklayıcı meşçere ve yanıcı madde özellikleri değişkenlerinin yangın tiplerine göre dağılımı.....	79
Şekil 31. Deneme yangınları ölü örtü miktarının, (a) kapalılık, (b) tepe altı yüksekliği, (c) tepe yanıcı madde miktarı ve (d) meşçere boyuna bağlı olarak değişimi	81
Şekil 32. Deneme yangınları yayılma oranı ile meşçere ve yanıcı madde özelliklerinden bazı önemli açıklayıcı değişkenlerin yangın tiplerine göre dağılımı.....	82
Şekil 33. Deneme yangınlarının yayılma oranı ve tepe yoğunluğuna bağlı olarak dağılımının, rüzgâr hızı ve tepe altı yüksekliğine göre değişimi, (a) Aralama görmemiş parseller (b) aralamadan bir yıl sonra yakılan parseller (c) aralamadan iki yıl sonra yakılan parseller.	83
Şekil 34. Deneme yangınlarında yayılma oranı ile (a) alev yüksekliği (b) alev derinliği arasındaki ilişki (0: Örtü yangını, 1: Pasif tepe yangını, 2: Aktif tepe yangını).....	84

Şekil 35. Deneme yangınlarında yanıcı madde tüketimi ile (a) meşcere boyu (b) tepe altı yüksekliği (c) kapalılık ve (d) ölü örtü nemi arasındaki ilişki.....	85
Şekil 36. Deneme yangınlarında yangın şiddeti ile (a) rüzgâr hızı ve (b) ibre nem içeriği arasındaki ilişki	86
Şekil 37. Deneme yangınlarında yangın şiddeti ile (a) alev yüksekliği ve (b) alev derinliği arasındaki ilişki	86
Şekil 38. Yayılma oranı ile rüzgâr hızı arasındaki ilişkinin yangın türlerine göre dağılımının (a) aralama görmemiş ve (b) aralama görmüş (aralamadan bir ve iki yıl sonra) parsellerdeki durumu	91
Şekil 39. Aralama görmüş parsellerde yayılma oranı ile rüzgâr hızı arasındaki ilişkinin yangın türlerine göre dağılımının (a) aralamadan bir yıl sonra yakılan ve (b) aralamadan iki yıl sonra yakılan parsellerdeki durumu	91
Şekil 40. Aralama görmüş parsellerde tepe altı boşluğundaki asılı ibre miktarı (a) aralamadan bir yıl sonra (b) aralamadan iki yıl sonra	92
Şekil 41. Aralama görmüş parsellerde tepe altı boşluğunda kuru dal miktarları (a) aralamadan bir yıl sonra (b) aralamadan iki yıl sonra.....	92
Şekil 42. Yayılma oranı ile ölü örtü miktarı arasındaki ilişkinin (a) aralama görmemiş meşcerelerde ve (b) aralama görmüş meşcerelerdeki dağılım grafiği	94
Şekil 43. Yayılma oranı ile tepe yoğunluğu arasındaki ilişkinin (a) aralama görmemiş meşcerelerde ve (b) aralama görmüş meşcerelerdeki dağılım grafiği	94
Şekil 44. Yayılma oranı ile canlı ibre nem içeriği arasındaki ilişkinin (a) aralama görmemiş meşcerelerde ve (b) aralama görmüş meşcerelerde dağılımı	95
Şekil 45. Yayılma oranı ile ölü örtü nemi arasındaki ilişkinin (a) aralama görmemiş ve (b) aralama görmüş yangınlarda yangın türlerine göre dağılımı.....	96
Şekil 46. Aralamadan sonra (a) birinci yılda ve (b) ikinci yılda yakılan deneme yangınlarının yayılma oranı ve ölü örtü nem içeriği arasındaki ilişkinin yangın türleri ve rüzgâr hızına göre dağılımı.....	96
Şekil 47. Örtü yangınları yayılma oranı ile (a) rüzgâr hızı ve tepe yoğunluğu arasındaki ilişki (b) tepe altı yüksekliği ve ölü örtü miktarı arasındaki ilişki.	97
Şekil 48. Tepe yangınlarında yayılma oranı ile rüzgâr hızı ve rüzgâr hamlesi-2 arasındaki ilişki (a) pasif tepe yangınları ve (b) aktif tepe yangınları	101
Şekil 49. Deneme yangınları yayılma oranının, kapalılık ve tepe altı yüksekliğine bağlı olarak dağılımı (a) pasif tepe yangını (b) aktif tepe yangını	102
Şekil 50. Farklı parsel boyutlarında gerçekleştirilen deneme yangınlarında yayılma oranı ve rüzgâr hızı arasındaki ilişki (a) parsel uzunluğu 20-45 m (b) parsel uzunluğu 45-220 m.	103
Şekil 51. Yangın türlerine göre (0:Örtü, 1: Pasif tepe, 2:Aktif tepe yangını), yayılma oranının sadece rüzgâr hızına bağlı olarak (Model 1a) (a) tahmini değerleri ve (b) hata terimleri dağılımı	106
Şekil 52. Yangın türlerine göre, yayılma oranının rüzgâr hızı ve ölü örtü miktarına bağlı olarak (Model 1b) (a) tahmini değerler ve (b) hata terimleri dağılımı	107

Şekil 53. Yangın türlerine bağlı olarak, yayılma oranının ölçülen değeri ile rüzgâr hızı, ölü miktarı ve meşcere içi rüzgâr hamlesi-1'e bağlı olarak (Model 1c) (a) tahmini değerler ve (b) hata terimleri dağılımı	107
Şekil 54. Yangın türlerine bağlı olarak, yayılma oranının ölçülen değeri ile rüzgâr hızı, ölü örtü miktarı ve tepe altı yüksekliğine bağlı olarak (Model 1d) (a) tahmini değerleri ve (b) hata terimleri dağılımı.....	108
Şekil 55. Yangın türlerine bağlı olarak, yayılma oranının ölçülen değeri ile rüzgâr hızı, ölü örtü miktarı, meşcere içi rüzgâr hamlesi-2, ibre ve ölü örtü nemi, tepe altı yüksekliği, kapalılık ve tepe yoğunluğuna bağlı olarak (Model 1k) (a) tahmini değerleri ve (b) hata terimleri dağılımı	110
Şekil 56. Model 1f'nin farklı rüzgâr hızı, ölü örtü miktarı, tepe altı yüksekliği ve kapalılık değerlerine göre tahmini yayılma oranı değerleri	111
Şekil 57. Yangın türlerine göre, aralama görmüş ve görmemiş yangınların yayılma oranı ölçülen değeri ile sadece rüzgâr hızına bağlı olarak (Model 2a) (a) ve (b) tahmini değerleri, (b) ve (c) hata terimleri dağılımı	113
Şekil 58. Farklı rüzgâr hızlarında gerçekleştirilen deneme yangını sayısı ve yangın türleri dağılımı (a) aralama görmemiş parseller, (b) aralama görmüş parseller	114
Şekil 59. Yangın türlerine göre, aralama görmüş ve görmemiş yangınların yayılma oranı ölçülen değeri ile rüzgâr hızı ve ölü örtü miktarına bağlı olarak (Model 2c) tahmini değerleri	115
Şekil 60. Deneme yangını yayılma oranları ile ölü örtü miktarı arasındaki ilişkinin yangın türlerine göre dağılımı (a) aralama görmemiş ve (b) aralama görmüş parseller	116
Şekil 61. Yangın türlerine göre, aralama görmüş ve görmemiş yangınların yayılma oranı ölçülen değeri ile rüzgâr hızı, ölü örtü miktarı, tepe altı yüksekliği ve kapalılığa bağlı olarak (Model 2d) tahmini değerleri	117
Şekil 62. Yangın türlerine bağlı olarak, yayılma oranının ölçülen değeri ile rüzgâr hızı ile (Model 2g) tahmin edilen değerleri.....	118
Şekil 63. Yangın türlerine bağlı olarak, yayılma oranındaki değişkenliği en iyi tahmin eden Model 3k'nın (a) ölçülen ve tahmini değerleri, (b) hata terimleri dağılımı.....	123
Şekil 64. Geliştirilen lojistik regresyon modelinde (a) rüzgâr hızı ve (b) rüzgâr hamlesi-2 değişkenlerindeki değişimin aktif tepe yangını oluşumu üzerine etkisi (Siyah: gözlemlenen aktif tepe yangınlarını, Beyaz: gözlemlenen pasif tepe yangınlarını gösterir)	138
Şekil 65. Van Wagner'a göre (1977) ibreli ormanlarda (a) tepe yangını başlaması için gereken kritik örtü yangını şiddetinin, tepe altı yüksekliği ve ibre nemine bağlı olarak değişimi, (b) tepe yoğunluğunun bir fonksiyonu olarak aktif tepe yangını kritik yayılma oranı	142
Şekil 66. Gözlemlenen yangın türlerinin, Van Wagner'ın (1977) aktif ve pasif tepe yangınları için geliştirdiği model tahminleri (Mrc 27 hariç). (a) deneme yangını yayılma oranı ve rüzgâr dağılımı, (b) yayılma oranı ve tepe yoğunluğu dağılımı (Kırmızı: aktif tepe yangınları, Mavi: pasif tepe	

yangınlarını gösterir ve kesik çizgili eğri, Van Wagner'ın (1977) kritik yangın yayılma oranı eğrisidir (3/TY)).	147
Şekil 67. Deneme yangınları ölçülen ve tahmini yayılma oranı değerlerinin aralama durumuna göre dağılımı (sol taraf-aralama görmemiş, sağ taraf-görmüş).....	154
Şekil 68. Aktif tepe yangınlarının ölçülen ve tahmini yayılma oranı değerlerinin aralama durumuna göre dağılımı (sol taraf-aralama görmemiş, sağ taraf-aralama görmüş)	158
Şekil 69. Pasif tepe yangınlarının ölçülen ve tahmini yayılma oranı değerlerinin aralama durumuna göre dağılımı (sol taraf-aralama görmemiş, sağ taraf-aralama görmüş)	159
Şekil 70. Meriç, Küçükaltıyağaç mevki, çalışma alanı ve çevresinden genel bir görünüm ve Mrc 22 deneme yangını sonrasında gelişen nokta yangınının etkili olduğu alan	163
Şekil 71. Mrc 27 deneme yangını sonrasında gelişen 1. nokta yangınının başlangıç anı.	166
Şekil 72. Mrc 27 deneme yangını sonrası gelişen nokta yangınlarının havadan görünümü. Kırmızı ile çevrili alan Meriç çalışma alanı sınırlarını göstermektedir.	166
Şekil 73. Mrc 27 deneme yangını sonrasında gelişen 2. nokta yangınının (a) hat yangınına dönüştüğü (b) karaçam ağaçlandırma bloğunda ilerlediği andan bir görünüm	167

TABLÖLÄR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Aralama görmüş ve görmemiş meşcerelerde, yangın davranışı üzerinde etkili olan meşcere özellikleri, yanıcı madde özellikleri ve hava hallerine ilişkin faktörlerin karşılaştırılması	16
Tablo 2. Kızılçam için bir ağaçta bulunan toplam tepe yanıcı madde miktarı içindeki yanıcı madde bileşenlerinin yüzde oranları.....	35
Tablo 3. Genç kızılçam meşcerelerinde, farklı yanma derecesine bağlı olarak yangın anında tüketilen ibre, ince, orta kalın ve çok kalın dal miktarları oranları ve ağaçların genel fiziksel özellikleri.	42
Tablo 4. Deneme yangınlarının gerçekleştirileceği üç farklı çalışma alanına ilişkin bazı meşcere özelliklerinin karşılaştırılması	44
Tablo 5. Aralama görmemiş deneme yangını parsellerine ait ağaç ve meşcere özellikleri.....	46
Tablo 6. Aralama görmüş (1 yıl sonra yakılan) parsellere ait ağaç ve meşcere özellikleri.....	47
Tablo 7. Aralama görmüş (2 yıl sonra yakılan) parsellere ait ağaç ve meşcere özellikleri.....	47
Tablo 8. Deneme yangını parsellerine ait ölü örtü özellikleri.....	48
Tablo 9. Deneme yangınları öncesinde, parsellere ait, ölü örtü derinliği, toplam ölü örtü ve humus yanıcı madde miktarı ve yoğunluğuna ilişkin değerler	50
Tablo 10. Genç kızılçam ağaçlandırma alanından kesilen 15 adet ağaca ilişkin tepe yanıcı madde miktarları.....	52
Tablo 11. Deneme yangını parsellerine ait tepe yanıcı madde, tepe altı kuru dal ve tepe altı asılı ibre miktarları	53
Tablo 12. Deneme yangınlarının, gerçekleştirildikleri yıllar itibariyle, yeri, silvikültürel müdahale durumu ve yangın türüne göre sayıları	64
Tablo 13. Aralama görmüş ve görmemiş parsellerdeki deneme yangınlarının yangın davranışını etkileyen temel özelliklere ilişkin ortalama, standart sapma, minimum ve maksimum değerleri	67
Tablo 14. Deneme yangınlarının yakma zamanı ve tarihi ile yangın anındaki hava halleri ve yangın davranış verileri	68
Tablo 15. Tüm deneme yangınlarına ait yangın davranışı, yanıcı madde özellikleri ve hava halleri arasındaki korelasyon matrisi	74
Tablo 16. Deneme yangınlarına ait yangın davranışı, yanıcı madde özellikleri ve hava halleri arasındaki korelasyon matrisi (Mrc 27 yangını hariç tutulmuştur).....	75
Tablo 17. Aralama görmemiş parsellerdeki deneme yangınlarına ait yangın davranışı ve yanıcı madde özellikleri ve hava halleri arasındaki korelasyon matrisi	89

Tablo 18. Aralama görmüş parsellerdeki deneme yangınlarına ait yangın davranışı ve yanıcı madde özellikleri ve hava halleri arasındaki korelasyon matrisi	90
Tablo 19. Örtü yangınlarına ait yangın davranışı ve yanıcı madde özellikleri ve hava halleri arasındaki korelasyon matrisi	98
Tablo 20. Pasif tepe yangınlarına ait yangın davranışı ve yanıcı madde özellikleri ve hava halleri arasındaki korelasyon matrisi	98
Tablo 21. Aktif tepe yangınlarına ait yangın davranışı ve yanıcı madde özellikleri ve hava halleri arasındaki korelasyon matrisi	99
Tablo 22. Tüm deneme yangınları yayılma oranına ilişkin regresyon modelleri	105
Tablo 23. Tüm deneme yangınlarına ait yayılma oranı regresyon modellerinin katsayıları	105
Tablo 24. Aralama görmüş ve görmemiş parsellerdeki deneme yangını yayılma oranlarına ilişkin regresyon modelleri	112
Tablo 25. Aralama görmüş ve aralama görmemiş parsellerdeki deneme yangınlarına yayılma oranı ait regresyon modellerinin katsayı değerleri	112
Tablo 26. Örtü yangınlarına ait yayılma oranı regresyon modelleri, parametreleri ve standart hata değerleri	120
Tablo 27. Aktif ve pasif tepe yangını yayılma oranlarına ilişkin regresyon modelleri	121
Tablo 28. Aralama görmüş ve aralama görmemiş parsellerdeki deneme yangınlarına yayılma oranı ait regresyon modellerinin katsayı değerleri	121
Tablo 29. Aralama görmüş ve aralama görmemiş deneme yangınları yayılma oranına ilişkin regresyon modelleri	125
Tablo 30. Aralama görmüş ve aralama görmemiş parsellerdeki deneme yangınları yayılma oranına ait regresyon modellerinin değişken katsayıları	125
Tablo 31. Basit lojistik regresyon analizinde kullanılan bağımlı değişken kategorik kodları	134
Tablo 32. Ölü örtü miktarı değişkeninin desen değişkenlerinin oluşturulması ve kodlanması.....	134
Tablo 33. Tepe altı yüksekliğinin desen değişkenlerinin oluşturulması ve kodlanması ...	135
Tablo 34. Lojistik regresyon analizinde kullanılan bağımsız değişkenler arasındaki korelasyon matrisi.....	135
Tablo 35. Başlangıç modelinde yer almayan değişkenler	136
Tablo 36. Lojistik regresyon model gelişiminde kullanılan verilerin ve bağımsız bir deneme yangını veri setine ilişkin tepe yangını türü gözlemlerinin, geliştirilen model tahminleri ile karşılaştırmalı olarak sınıflandırma tablosu ...	137
Tablo 37. Tepe yangını oluşumu ile ilişkili olabileceği düşünülen değişkenlerin basit lojistik regresyon analizi	138
Tablo 38. Değerlendirilen tepe yangını başlama modellerinde yer alan değişkenler.....	140
Tablo 39. Gerçekleştirilen deneme yangınlarının, tahmin edildiği üç farklı tepe yangını yayılma modeli performansının istatistiksel olarak karşılaştırılması.....	153

Tablo 40. Tepe yangını yayılma modellerinin, aralama görmüş ve aralama görmemiş deneme yangınlarını tahmin performansının istatistiksel olarak karşılaştırılması.....	156
Tablo 41. Nokta yangınları oluşumuna neden olan deneme yangınları ve taşınma mesafeleri	162

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Orman yangınları davranışını etkileyen faktörlerin bilinmesi, yangınlarla etkin ve başarılı mücadelenin bir gereğidir. Yangın davranışı, yanıcı madde, topoğrafya ve hava halleri olmak üzere, üç ana faktörün etkisi altındadır. Bu faktörlerden yanıcı maddeler, müdahale edilebilir tek yangın davranış bileşeni olması nedeniyle ayrı bir öneme sahiptir (Brown ve Davis 1973). Orman ekosistemlerine yapılan herhangi bir müdahale, yanıcı madde özelliklerinin değişmesine neden olur. Bu değişimin yangın davranışında meydana getirdiği farklılıkların belirlenmesi (Moreira vd., 2011, Bigelow ve North 2012), yangınla mücadele (Moghaddas vd., 2010; Baxter vd., 2013) ve yangının çevresel etkilerinin anlaşılmasında oldukça önemlidir (Keyes, 2002).

Meşcerelerde yanıcı madde özelliklerinin değişmesi çoğunlukla silvikültürel müdahalenin bir sonucudur (North vd., 2007; Keyser ve Smith 2010). Silvikültürel müdahalelerin (aralama, budama, sıklık bakımı), meşcere yapısı, gelişimi ve yanıcı madde dinamiklerini değiştirdiği (Ma vd., 2010; North vd., 2007) ve böylece yangın davranışını önemli oranda etkilediği bilinmektedir (Williams, 1978; Graham, 2004; Cram, 2006; Cruz vd., 2008; Dinç Durmaz vd., 2010). Ancak, bu müdahalelerin yangın yayılma oranı, yanıcı madde tüketimi, yangın şiddeti ve yangın türü üzerine olan etkileri henüz tam olarak ortaya konulabilmiş değildir (Graham, 1999; Agee ve Lolley 2006; North vd., 2007; Cruz vd., 2008; Fernandes, 2012, Cruz ve Fernandes, 2008).

Yangın tehlikesiyle yüz yüze bulunan ve ülkemizi de içine alan Akdeniz coğrafyasında nüfus artışı, sosyo-ekonomik yapının değişmesi ve hayat standartlarının artmasına paralel olarak, yerleşim alanları ormanlık alanlara doğru büyüme eğilimi göstermektedir (Sağlam ve Bilgili, 1997; Küçükosmanoğlu 1985; Moreira vd., 2011). Diğer yandan, ülke politikaları gereği sayıları hızla artan ve gün geçtikçe genişleyen ağaçlandırma alanları silvikültürel bakım müdahalelerine konu olmaya başlamıştır. Ormanlık alanlarda görülen bu değişimler yangın risk ve tehlikesini artırıcı bir etki yapmaktadır (Fernandes, 2009). Ülkemiz ağaçlandırma çalışmalarında kolay ve hızlı büyüme özelliği nedeniyle en çok tercih edilen ve 5.854.573 milyon hektar orman alanı ile en geniş yayılış alanına sahip ağaç türü kızılçamdır. Kızılçam, ağaçlandırma alanlarının

yaklaşık %40'ını oluşturmaktadır. Kızılçam ormanlarında, yaklaşık iki milyon hektar ağaçlandırma alanının yarısına yakın kısmı aralamaya konu durumdadır ve her yıl 2000 ha'dan fazla alan aralamaya konu olmaktadır. Bu nedenle, özellikle kızılçam ormanlarında yapılan aralamaların öncesinde ve sonrasında yangın potansiyelinde meydana gelen değişimlerin belirlenmesi ülkemizdeki yangın amenajman planları ve silvikültürel planlamaların uygulanabilirliği açısından ayrı bir önem kazanmıştır.

Aralama yaygın bir silvikültürel bakım müdahalesi olup, meşcere gelişimini ve yanıcı madde dinamiklerini değiştirir. Aralama görmüş meşcerelerde, yanıcı madde özelliklerinde ve meşcere içi mikroklimatik koşullarda (Ma vd., 2010; Gardiner, 1994) meydana gelen değişimler yıldan yıla farklılık arz eder (Carlton ve Pickford 1982; Ma vd., 2010). Aralamayı izleyen ilk yıllarda, kesim artıklarındaki yüksek ibre tutma oranı (Carlton ve Pickford 1982), örtü yangını şiddetini artırıcı yönde bir etki yapar (Williams 1978). Buna karşın, tepe yanıcı madde miktarındaki azalma ve kapalılığın kırılması tepe yangını oluşumunu ve şiddetini azaltır (Ager, 2007; Cron, 1969; Butler vd., 2013). Ancak, özellikle rüzgâr hızının belli bir eşik değerini aştığı durumlarda (örn, 30 km/s), yangın davranışı (özellikle yangın yayılma oranı) tamamen rüzgârın kontrolünde gerçekleşmekte ve yanıcı madde özelliklerinin etkisi en aza inmektedir (DellaSala ve others 1995). Bu nedenle, orman yangınları ile mücadele, çok temel bir yaklaşımı zorunlu kılar. Bu yaklaşım, yangın davranışını etkileyen yanıcı madde, hava halleri ve topoğrafik faktörlerin tüm detaylarıyla birlikte anlaşılmasını ve karşılıklı etkileşimlerinin ortaya konularak bir sistem dâhilinde birleştirilmesini gerektirir (Drysdale, 1985).

Yangın davranışının anlaşılmasında fiziksel, deneysel ve yarı-deneysel modeller kullanılmaktadır (Pastor vd., 2003). Fiziksel modeller, yangının fiziksel süreçlerini dikkate alır. Bu modeller çoğunlukla, ısı transfer mekanizması, akış dinamiği ve tüketim süreçlerini kullanarak alev özellikleri, yayılma oranı ve yangın şiddeti gibi değişkenleri tahmin ederler (Alexander ve Cruz 2012a; Pagni ve Petersen 1973; Fons, 1946; Nelson vd., 2012). Deneysel modeller, orman yangınlarının gözlemlenmesi ve arazi veya laboratuvar tabanlı deneme yangını çalışmalarından sağlanan veriler yardımıyla yangın davranış parametrelerini istatistiksel olarak tahmin eder (Byram, 1959; Fernandes, 2001; Cruz ve Fernandes 2008; Weatherspoon ve Skinner 1995; Cruz, 2004; Butler vd., 2013). Deneysel modeller, belirlenen çevre koşulları sınırları içinde geçerli olmalarına karşın, yangın dinamiklerinin anlaşılmasında, fiziksel ve genel modellerin test edilebilmeleri için gerekli modellerdir. Günümüzde yangın davranışının belirlenmesine yönelik çok sayıda fiziksel,

deneysel ve yarı-deneysel çalışma yapılmıştır. Ancak, silvikültürel müdahalelerin yangın davranışında meydana getirdiği değişimleri ve bu değişimlerin uzun dönemdeki sonuçlarını açıklayabilen yeteri kadar çalışma bulunmamaktadır (Carey ve Schumann, 2003; Graham vd., 2004). Mevcut çalışmalar, yanıcı madde müdahalelerinin yangın davranışı üzerindeki etkilerini daha ziyade, çıkan yangınların izlenmesi (Cron, 1969; Omi ve Martinson, 2002; Pollet ve Omi, 2002; Billing, 1979; 1983; Brose ve Wade, 2002) veya yangın simülasyon modelleri sonuçlarından (Kalabokidis ve Omi 1998, Dupuy ve Morvan 2005; Finney, 2004b) elde edilen verilerle açıklamaya çalışmaktadır.

Doğal yangınların izlenmesi, özellikle yüksek rüzgâr hızlarında meydana gelen yangınların yayılma oranı ve yangın şiddetine ilişkin çok kıymetli veriler elde edilmesine imkân sağlayan bir yöntemdir. Zira yüksek rüzgâr hızlarında deneme yangınlarının gerçekleştirilmesi kontrol güçlüğü açısından oldukça zordur. Buna karşın, doğal yangınlar öncesinde yanıcı madde özellikleri detaylı olarak belirlenmemektedir. Böylece, elde edilen yangın davranış verileri, yangın gelişimi (Bilgili ve Methven, 1990) ve yangın yayılma oranı üzerinde etkili olan faktörler arasındaki ilişkiyi izah etmekte yetersiz kalabilmektedir (Cron, 1969). Ayrıca, doğal yangınların başlangıcından itibaren yakalanması ve izlenmesi oldukça zor bir süreçtir. Bu nedenle tüm aşamaları itibariyle gerçek bir yangını temsil edebilen ve yangın öncesi ve sonrasında yanıcı madde özelliklerinin belirlenmesine imkân sağlayan arazi deneme yangınları, yangın araştırmalarında ayrı bir önem taşır (McArthur, 1966; Cheney, 1998; Rothermel, 1991; Cruz, 1999; Sağlam, 2005). Ancak bu tür çalışmaların sayısı oldukça sınırlıdır (Bilgili ve Sağlam, 2003; Küçük vd., 2008; Stocks vd., 2004, Mooney, 2013; Butler vd., 2013; Schroeder, 2010). Deneme yangını çalışmalarının azlığı, hem sağlam yangın davranış modellerinin geliştirilmesini hem de geliştirilmiş yangın simülasyon modellerini gerçekleştirme ve doğrulama sürecini olumsuz olarak etkilemektedir (Andrews, 1986; Finney, 1998). Bu sebeple, model geliştirme sürecinin en önemli aşamalarından birisi olan, model performansının değerlendirilmesi, yangın çalışmalarında oldukça ihmal edilmek zorunda kalınan bir konu olmuştur (Cruz vd., 2003). Özellikle tepe yangını oluşum ve gelişim modellerinin yanıcı madde özelliklerindeki değişimi açıklayabilecek yeterliliğe kavuşturulması ve tepe yangını dinamiklerinin daha iyi anlaşılabilmesi, deneysel yangınlardan elde edilen gerçek verilerle test edilebilmiş yangın davranış modellerinin geliştirilmesiyle sağlanabilir (Cruz vd., 2005).

Tepe yangınları, büyük yangınlarda yanan alanın önemli bir kısmını oluşturan (Graham, 2003; Simard vd., 1983; Bilgili vd., 2010a), doğrudan müdahale ile söndürülmesi mümkün olmayan (Albini ve Stocks, 1986) bir yangın türüdür. Tepe yangınları ile mücadele edebilmenin zorluklarına karşın, örtü yangınlarının tepe yangınına dönüşmesinde belirleyici olan çevresel faktörlerin rolü hakkında yeterli bilgi bulunmamaktadır. Özellikle, yanıcı maddenin yatay ve dikey sürekliliğinde meydana gelen değişimlerin ve yanıcı madde yer değiştirmelerinin (aralama, budama gibi) tepe yangını dinamikleri üzerindeki etkilerinin anlaşılması gerekmektedir. Tepe yangınlarının başlaması (Van Wagner, 1977; Alexander, 1988; Cruz, 2004; 2005) ve yayılması (Rothermel, 1972; Rothermel, 1991; Cruz, 2005; Van Wagner, 1964) üzerinde etkili olan yanıcı madde özelliklerinin belirlenmesi, yangın davranışına ilişkin sağlıklı tahminler yapılabilmesi açısından büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışma kapsamında, aralama görmüş genç kızılçam ağaçlandırma alanlarında, aralama öncesinde ve sonrasında, yangın davranışında meydana gelen değişimin belirlenebilmesi amaçlanmıştır. Arazi koşullarında yapılan deneme yangınlarından elde edilen verilerle, (i) aralamanın yangın yayılma oranı, yanıcı madde tüketimi, yangın şiddeti ve yangın türü üzerindeki etkilerinin ortaya konulması, (ii) tepe yangını oluşumu ve gelişimini tetikleyen yanıcı madde özellikleri ve hava hallerinin belirlenmesi ve (iii) kabul görmüş bazı yangın davranış modellerinin test edilmesi hedeflenmiştir. Böylece, yanıcı madde ve meteorolojik özelliklere bağlı olarak yangın davranışının karşılaştırılmalı değerlendirilmesine imkân sağlanmaya çalışılmıştır. Diğer yandan, var olan ve geliştirilme sürecinde bulunan yangın modellerinin doğrulanması ve değerlendirilmesi süreçlerine önemli katkılar sağlanacağı düşünülmektedir.

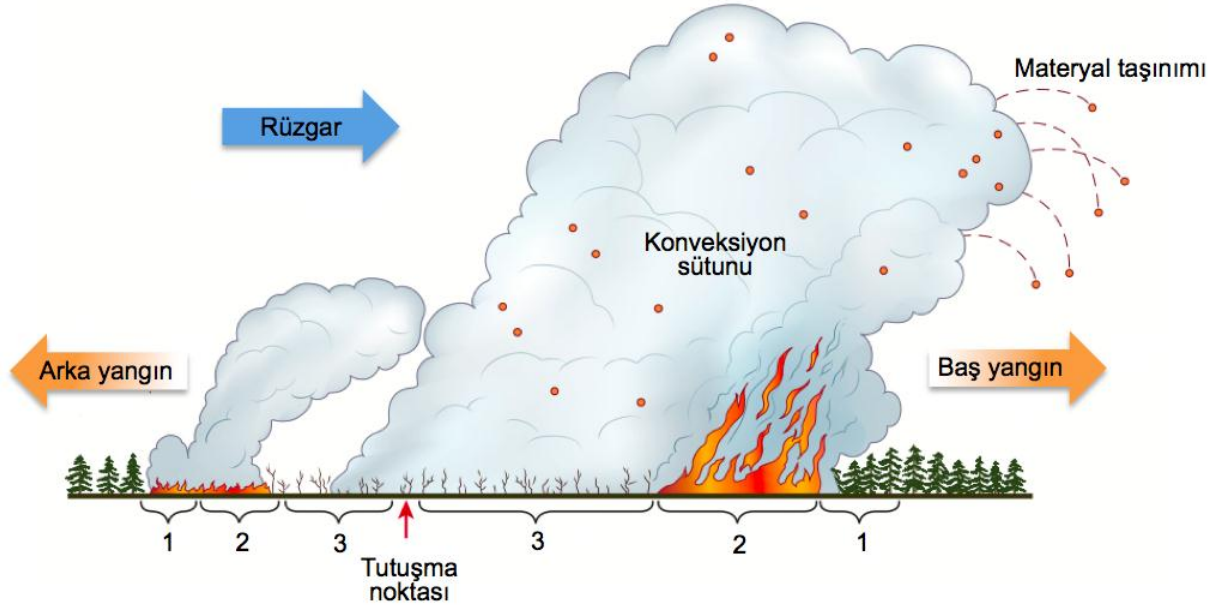
1.2. Yangın Davranışı ve Aralamanın Yangın Davranışı Üzerine Etkisi

Orman yangınları, çok eski çağlardan beri can ve mal kayıplarına neden olan, ekosistemlerin sürekliliğini bozan, mücadelesi zor bir tehdit unsuru olarak görülmüştür. Bu bakış açısı beraberinde yangın araştırmalarını başlatarak, yangın davranışının anlaşılmasını, yangın davranışını değiştiren müdahalelerin belirlenmesini ve yangın davranış modellerinin geliştirilmesini zorunlu kılmıştır (Alexander ve Thomas, 2004). Son yıllarda, meşcere yapısını şekillendiren silvikültürel müdahale (aralama, budama vb.) ve yanıcı madde uygulamalarının (örtü temizliği, kontrollü yakma vb.) yangın davranışı

üzerindeki etkilerinin anlaşılması ve modellenmesi için yoğun çabalar harcanmaktadır (Reiner vd., 2009). Günümüze kadar yapılan yangın araştırmalarında, yangın davranışı ve özelliklerinin belirlenmesi, aralamanın yangın davranışı üzerine olan etkisi ve yangın davranış modellerine ilişkin elde edilen bilgiler aşağıda özetlenmeye çalışılmıştır.

1.2.1. Yangın Davranışı

Yangın davranışı, bir yangının yayılma oranı, tüketilen yanıcı madde miktarı, bunlara bağlı olarak açığa çıkardığı enerji miktarı ve alev uzunluğunu ifade eden genel bir terimdir (Countryman, 1972; Pyne vd., 1996). Orman yangınları, hava halleri, topoğrafya ve yanıcı madde özelliklerine bağlı olarak farklı davranışlar ortaya koyar (Gisborne, 1923; Countryman, 1966; Countryman, 1972; Küçük ve Sağlam 2004, Rothermel, 1972; Simard, 1991; MacCaw vd., 2012, Bilgili ve Methven, 1990). Yangın davranışındaki farklılıklar, yangının çevreye olan etkilerini ve kontrol gücünü belirler. Bu nedenle, yangın davranış özelliklerinin belirlenmesi ve bu özellikler üzerinde etkili olan faktörlerin ortaya konulması, yangınların kontrol edilebilmesi ve yangın tehlikesinin tahmin edilebilmesi için gereklidir. Yangın yayılma oranı (YO), en önemli yangın davranış özelliklerinden birisidir. Yangın organizasyonlarının başarısı ve etkinliği, yangın yayılma oranının doğru tahmin edilmesine bağlıdır. YO, alevli yanmanın birim zamanda kat ettiği yatay mesafeyi ifade eder. Genellikle, YO yangının en hızlı yayıldığı baş yangını için kullanılmaktadır. Baş yangında oluşan güçlü konveksiyon sütunu ile taşınan materyaller, yangın önünde nokta yangınları başlatarak yangının hızla yayılmasına ve geniş alanda etkili olmasına neden olur. Yangın çevresinde YO'nun en düşük olduğu kısım, rüzgâra ters istikamette yayılan arka yangındır. Yan yangın yayılma oranı, baş yangın ve arka yangın yayılma oranı arasında bir değer alır (Şekil 1). YO, rüzgâr, sıcaklık, bağıl nem gibi hava hallerine, eğim ve baki gibi topoğrafik özelliklere ve yanıcı madde tipi, dağılımı, miktarı, boyutu, düzeni, sürekliliği, nem içeriği ve mineral madde içeriği gibi yanıcı madde özelliklerine bağlı olarak değişir (Sağlam vd., 2010). Günümüzde, bu özelliklerdeki değişime bağlı olarak yangın yayılma oranını tahmin eden çok sayıda fiziksel, deneysel ve yarı deneysel yangın davranış çalışmaları gerçekleştirilmiştir (Cruz, 2004; 2005; Bilgili vd., 2008; Rothermel, 1972; Van Wagner, 1973; Van Wagner, 1977; Van Wagner, 1989). Ancak, yapılan çalışmalarda özellikle yanıcı madde özelliklerindeki değişimin yangın yayılma oranı üzerindeki etkisi henüz tam olarak açıklanabilmiş değildir.



Şekil 1. Hâkim rüzgâr yönünde yayılan bir yangında, baş, arka yangın ve yanma evreleri; ön ısınma (1), tutuşma ve alevli yanma (2), kor halinde yanma (3). (Alexander vd., 2012)

Yangın yayılma oranı, alevli yanma zonunda tüketilen yanıcı madde miktarına bağlı olarak açığa çıkan ısı miktarı ile yakından ilişkilidir (Pickett, 2010; Alexander ve Cruz, 2014, Alexander vd., 2012). Orman yangınlarında, toprak yüzeyi ile ağaç tepesi arasında mevcut tüm yanıcı maddelerin yanma derecesi ve yanma şekli dikkate alınarak, yangının bir alandan diğerine yayılması üç biçimde gerçekleşir;

- Toprak yangınları: Mineral toprak ile toprak yüzeyi arasında yer alan kalın organik madde tabakasının (ham humus veya kuru turbalıklar) yanmasıyla meydana gelen ve oldukça yavaş yayılan bir yangın türüdür. Ülkemiz ormanlarında kalın humus tabakası ve turbalıklar bulunmadığından bu yangın türü ülkemizde görülmez.

- Örtü yangınları: Toprak yüzeyinde bulunan ölü (kuru dal, kütük, kesim artıkları v.b) ve diri (ot, çayır, funda, yaprak, yosun, fide vb.) yanıcı maddeleri yakan yangındır. Örtü yangınları, 0,1 ile 10 m/dk arasında değişken bir yayılma oranına sahip olup, tepe yangını potansiyelinin en önemli belirleyicisi konumundadır.

- Tepe yangınları: Örtü yangınlarının tepedeki yanıcı maddeleri tutuşturmayaya yetecek sıcaklığa ulaşması sonucu, ağaç ve ağaççıkların tepelerini yakarak yayılan yangındır. Tepe yangınlarının başlamasında, gövde üzerinde yer alan ve merdiven yanıcı maddeler olarak adlandırılan kuru dal, asılı ibre, yosun, liken gibi yanıcı maddelerin sağladığı dikey sürekliliğin oldukça önemli olduğu bilinmektedir. Tepe yangınları, çoğunlukla iğne

yapraklı ormanlarda ve maki vejetasyon tipinde görülen bir yangın türüdür (Cruz vd., 2013). Meşcere tepe çatısında ilerleyen tepe yangınları, genellikle 10 ile 100 m/dk arasında değişen yayılma oranlarına ulaşabilmekte ve nokta yangınlarına neden olmaktadır (Rothermel, 1983; 1991; Alexander, 1998). Orman yangınlarında tepe yangını üçe ayrılmaktadır (Van Wagner, 1977);

- 1) Pasif tepe yangınları: Ağaç tepelerini, tekli veya gruplar halinde yakan ve yaklaşık 15-25 m/dk hızında yayılma oranına sahip yangınlardır. Pasif tepe yangınları iki belirgin durumda meydana gelir. Birincisi, tepe altı yüksekliği ve tepe yanıcı madde yoğunluğunun optimumda olduğu ancak yanıcı madde nemi ve rüzgâr koşullarının, tepe yangını oluşturmaya yetecek şiddette olmadığı durumlarda görülür (Lawson 1973; Dyrness ve Norum 1983). İkincisi, tepe altı yüksekliği ve tepe yanıcı madde yoğunluğunun, tepe yangını oluşumu için gerekli eşik değere ulaşmadığı durumunda pasif tepe yangını görülür (Dieterich 1979; Alexander 1998).
- 2) Aktif tepe yangınları: Örtüden tepeye kadar ulaşan alevlerin, ağaç tepelerindeki ibre ve ince dalları yakarak ilerlediği ve yaklaşık 25-100 m/dk yayılma oranına ulaşabilen, çok hızlı ve şiddetli yanan yangınlardır. Aktif tepe yangınları, tepedeki ibre ve ince dal yoğunluğunun yüksek olması ve tepe altı yüksekliğinin düşük olması ile birlikte örtü yangını şiddetinin kritik eşik değerine ulaşması durumunda meydana gelmektedir (Van Wagner, 1977).
- 3) Bağımsız tepe yangınları: Örtü yangınından bağımsız olarak ağaç tepelerinde ilerleyen yangındır. Doğada bu yangın türünün gözlemlenebilmesi oldukça zordur.

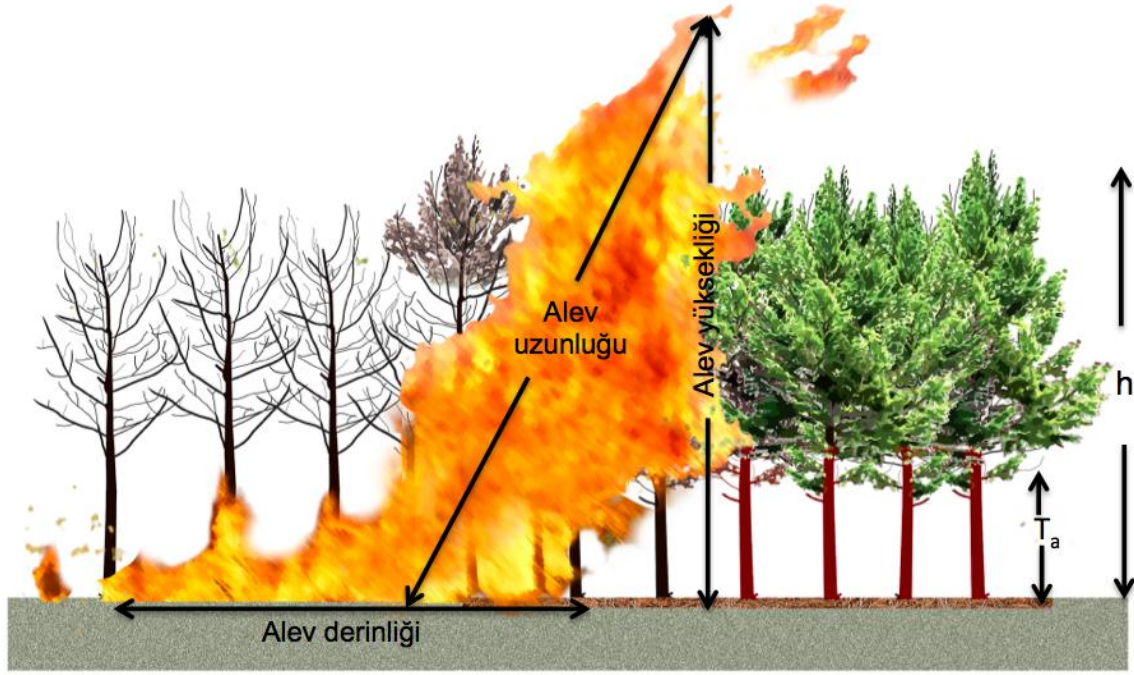
Yanıcı madde tüketimi (YMT), alevli yanma sürecinde açığa çıkan enerjinin kaynağını oluşturan, tüketilen toplam yanıcı madde miktarıdır. Bir yangının toprağa, vejetasyona ve diğer canlılara olan etkisi, tüketilen yanıcı madde miktarına ve yangının bir noktadaki kalış süresine bağlı olarak değişir (Neyişçi, 1985; Neyişçi, 1986; Neyişçi, 1988, Alexander, 1988). YMT, yanıcı madde nemine, konumuna (toprak, örtü, tepe), yanıcı maddenin fiziksel (süreklilik, sıkışıklık) ve kimyasal (uçucu bileşikler) özelliklerine bağlıdır. Yangın anında tüketilen yanıcı madde miktarı, toplam yanıcı madde miktarından

daha azdır ve genellikle ölü yanıcı maddeler (ölü örtüde yer alan ibre, dal, kozalak ve devrik ağaçlar ile dikili kurular) tüketilen yanıcı madde miktarının önemli bir kısmını oluşturur. Yangın anında tüketilen canlı yanıcı maddeler çoğunlukla yapraklar, ince ve orta kalınlıktaki dallardır. Bir alandaki yangın tehlikesinin ve yangının ekolojik etkilerinin azaltılması YMT ile yakından ilişkilidir. Bu nedenle, meşcerelerde aralama ve budama gibi silvikültürel müdahaleler sonrasında, tepe yanıcı madde tüketimi azalırken, ölü örtü tabakasında biriken kesim artıkları ile örtüde tüketilen yanıcı madde miktarı artırmakta ve şiddetli örtü yangınları meydana gelmektedir (Burrows, 1980).

Yangın şiddeti, organik materyalin yanmasıyla açığa çıkan ısı enerjisinin oransal bir ifadesidir. Hat yangınlarında, birim mesafede taşınan ısı oranına, yangın hattı şiddeti (kW/m) denilmektedir (Byram, 1959). Bazı sınırlamalar içermesine karşın, yangın şiddetinin belirlenmesinde aşağıdaki formül kullanılmaktadır (Byram, 1959);

$$Y\dot{S} = H.w.R \quad (1)$$

bu denklemde $Y\dot{S}$: Yangın hattı şiddeti (kW/m), H: Yanma ısı (cal/gr) (genellikle sabit bir sayı olarak kullanılır, w: Tüketilen yanıcı madde miktarı, (kg/m²), R: Yangın yayılma oranı (m/sn) olarak belirlenmiştir. $Y\dot{S}$, alev boyu ve alev uzunluğu ile yakından ilişkilidir (Şekil 2) (Alexander, 1988; Alexander ve Cruz, 2012a). Bu nedenle, tepe yangını başlama olasılığı (Alexander, 1998; Alexander ve Cruz, 2012b) ve nokta yangınlarının taşınma mesafesinin hesaplanmasında önemli bir yangın davranış özelliği olarak kullanılmaktadır (Morris, 1987; Cruz vd., 2012). Ayrıca yangın şiddeti, yangın öncesinde yapılacak taktik ve strateji planlarının başarısını, yangınla mücadele çalışmalarının etkinliğini (Bilgili, 1999; Andrews ve Rothermel, 1982; Alexander ve De Groot, 1988; Agee vd., 2000) ve yangın sonrası oluşabilecek zararın boyutlarını belirler (Alexander, 1982). Orman ekosistemlerinde, yanıcı madde özelliklerini değiştiren uygulamalar sonucunda, örtü yangını şiddeti ve alev uzunluğu artabildiği gibi, tepe yangını şiddeti ve alev uzunluğu azalabilmektedir.



Şekil 2. Meşcere ve alev özellikleri. T_a : Tepe altı yüksekliği h : Meşcere boyu,

1.2.1.1. Yangın davranışını etkileyen ana faktörler

Yangın davranışındaki farklılıklar, topoğrafik özellikler, hava halleri ve yanıcı madde özelliklerindeki değişimin bir sonucudur (Wilson, 1985; 1987; Albin ve Reinhardt, 1995; Agee vd., 2002). Yanıcı maddeler, topoğrafik özellikler ve hava halleri ile kıyaslandığında, müdahale edilebilir tek yangın davranış faktörüdür. Dolayısıyla, yangın araştırmacıları ve uygulayıcılar yanıcı madde özelliklerindeki değişimin ve buna neden olan silvikültürel müdahale (özellikle aralama ve budama) ve diğer yanıcı madde müdahalelerinin (kontrollü yakma, ölü örtü temizliği v.b.) yangın davranışındaki etkilerini belirlemek, topoğrafya ve hava halleri ile etkileşimini anlamak için yoğun bir çaba içerisine girmişlerdir.

- Topoğrafya ve yangın davranışı

Topoğrafya, orman yangınları üzerinde belirleyici bir etkiye sahiptir. Yangın davranışında değişimlere neden olan en önemli topoğrafik etmenler, eğim, bakı ve yükseltilerdir. Arazi eğiminin en belirgin etkisi, yangın yayılma oranı ve alev özellikleri üzerinde görülür (McArthur, 1968; Weise, 1997). Eğimin artmasıyla birlikte, alev açısı daralır, radyasyon, konveksiyon ve doğrudan alev teması ile birlikte ısı taşınımı artar (Pyne vd., 1996; Van Wagner, 1977b). Bu durum, henüz yanmamış olan yanıcı maddelerin daha

hızlı kuruyarak tutuşmasına, yangının daha hızlı ilerlemesine ve yangın şiddetinin artmasına neden olur (Curry ve Fons, 1938; 1940; Albini, 1974). Düz arazilerle karşılaştırıldığında, arazi eğiminin 10 derece artması, yangın yayılma oranının iki kat artmasıyla sonuçlanırken, eğimin 20 dereceye çıkması, yangın yayılma oranının dört kat artmasına neden olmaktadır (McArthur, 1968). Eğimin etkisi, rüzgâr ın yangın yayılma oranı üzerine olan etkisine benzerdir.

Bakı, yangın davranışında önemli farklılıklara neden olur (Rothermel, 1983). Gün içerisinde güney bakılarda yer alan yanıcı maddeler kuzey bakılara oranla, daha uzun süreli güneş ışınlarına maruz kalırlar. Bu durumun yangın yayılma oranı üzerinde iki etkisi vardır. Birincisi, kuzey bakılarda gözlemlenen mikroklimatik koşullar sebebiyle kuzey bakılardaki yanıcı madde miktarı genel olarak güney bakılardan daha fazladır. Ancak, güney bakılarda güneşlenme süresinin daha uzun olması, yanıcı madde nem içeriğinin düşmesine ve yanıcı maddelerin daha fazla ısınmasına neden olur. Bu durum yangının güney bakılarda daha şiddetli yanmasına neden olur.

Yükselti ile birlikte değişen hava halleri ve yanıcı madde özellikleri, yanma koşullarında farklılıklara neden olur. Dağlar ve vadiler arasında, gece ile gündüz oluşan sıcaklık, nem ve yağış farklılıkları yangın davranışında değişimler meydana getirir (Çanakçıoğlu, 1993).

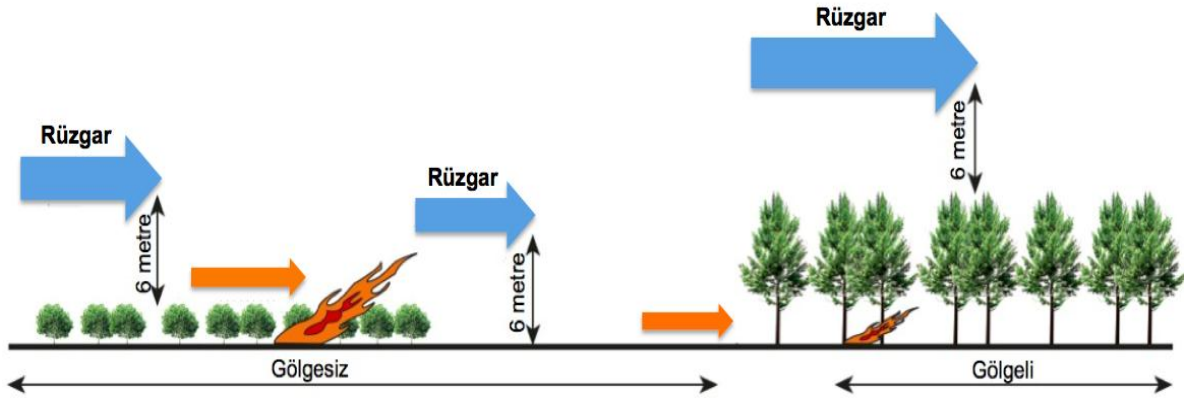
- Hava halleri ve yangın davranışı

Hava halleri, doğrudan yanma koşullarını etkileyerek yangın davranışını değiştiren en önemli faktördür. Rüzgâr , sıcaklık, bağıl nem ve yağış, yangın davranışı üzerinde en önemli etkiye sahip hava halleri olarak sıralanabilir (Countryman, 1971; Byram, 1954).

Rüzgâr, baş yangın alevlerini yanmamış yanıcı maddelere doğru eğerek, radyasyon ve konveksiyonla ısı taşımını artırır (Chandler vd., 1991; Nelson, 1980; Albini, 1981; Nelson ve Adkins, 1986). Böylece, yanıcı maddenin hızla nem kaybederek kurummasına ve tutuşması için gerekli ısı enerjisinin azalmasına neden olur. Bunun sonucunda, yangının daha hızlı ilerlemesine ve daha fazla yanıcı madde tüketerek yangın şiddetinin artmasına neden olur (Whelan, 1995). Rüzgâr hızı ile yangın yayılma oranı arasında üssel bir ilişki bulunmaktadır (Rothermel ve Anderson, 1966; McArthur, 1966; Fons, 1946; Rothermel, 1972; Pagni ve Peterson, 1973, Nelson ve Adkins, 1988). Rüzgâr hızının, yangın yayılma oranı üzerindeki etkisi, eğimin etkisine benzer bir özellik taşımaktadır (Curry ve Fons 1938, McArthur 1967, Rothermel, 1972, Weber ve de Mestre 1990). Rüzgâr, çok kısa

zaman dilimi içerisinde ani hız ve yön değişimleri gösterir. Özellikle düşük rüzgâr hızlarında bu kararsızlık hali daha belirgindir. Rüzgâr hızı ve yönünde gözlemlenen bu değişimler, yangın davranışında ve yangın türünde belirleyici rol oynar. Bu nedenle, yangın anında, rüzgâr hızının doğru ve hızlı bir şekilde belirlenmesi, yangın davranışının tahmininde hayati önem taşır. Orman yangınlarında standart olarak, 10 metre yükseklikteki açık alan rüzgâr hızı kullanılır. Rüzgâr hızı, yüzeye doğru yaklaştıkça vejetasyonun boyu ve kapalılığına bağlı olarak oluşan sürtünmenin etkisiyle logaritmik olarak azalır (Andrews, 2012). Bu azalma, örtü yangını davranışını etkiler ve yangın davranışının belirlenmesini zorlaştırır. Bu nedenle, örtü yangını yayılma oranının belirlenmesinde (Rothermel, 1972), *orta alev rüzgâr hızı* kullanılmaktadır (Şekil 3). Orta alev rüzgâr hızı, vejetasyon üzerindeki standart bir yükseklikteki (6 m yükseklikteki), rüzgâr hızının (Fischer ve Hardy, 1972), vejetasyon boyu ve kapalılığına bağlı olarak belirlenen bir rüzgâr düzeltme faktörü ile çarpılmasıyla elde edilir.

Sıcaklık, yanıcı maddelerin ısınmasına ve nem içeriğinin azalmasına neden olur. Sıcaklığa bağlı olarak kuruyan yanıcı maddeler, daha kolay tutuşarak, yangının hızla yayılmasını ve büyük alanlarda etkili olmasını tetikler (Bilgili vd., 2002).



Şekil 3. Örtü yangınlarında rüzgâr hızının vejetasyon tipine göre değişimi. Mavi oklar orta alev rüzgâr hızını gösterir (Andrews, 2012)

Bağıl nem, havanın bünyesinde su buharı halinde tutulan mutlak nemin, bulunduğu sıcaklık ve basınç ortamında taşıyabileceği azami su miktarına olan oranını ifade eder. Bağıl nem, artan sıcaklık ile birlikte azalır. Özellikle öğle saatlerinde sıcaklığın en yüksek değere ulaşmasıyla birlikte, bağıl nem en düşük seviyelere iner. Bağıl nemin düşük olduğu zamanlar orman yangınları için yüksek risk durumunu gösterir. Bağıl nem, yanıcı madde nem içeriğindeki değişimin belirlenmesinde ve yangın potansiyelinin ortaya konulmasında

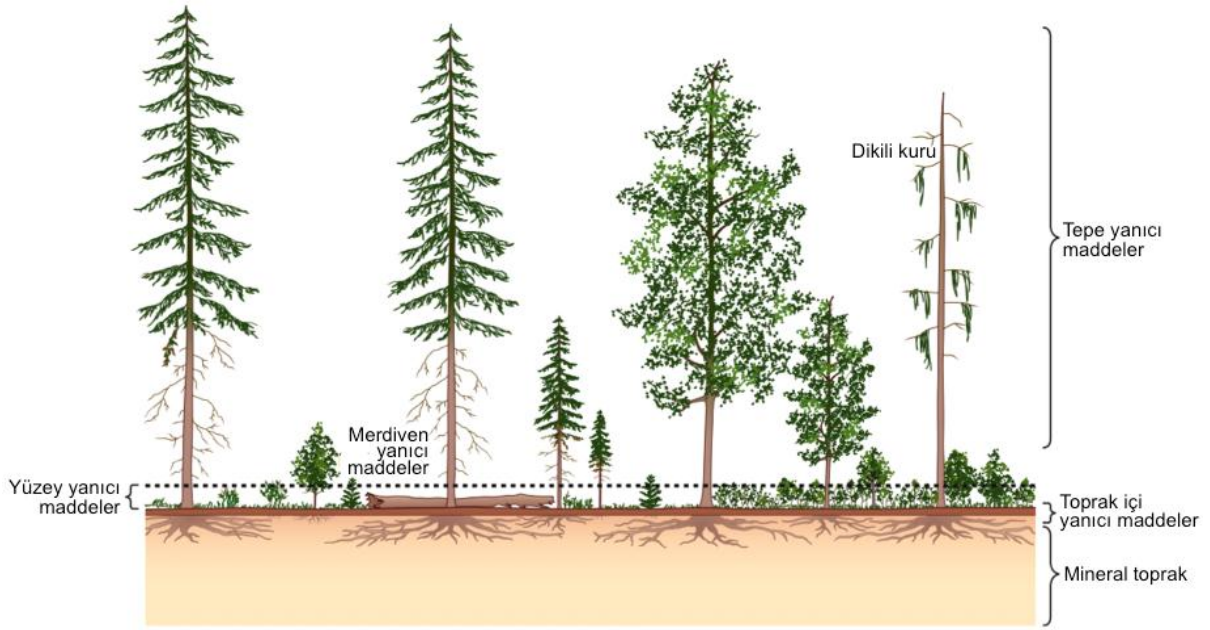
temel ölçüt olarak kullanılır. Bağıl nemin %15'in altına düşmesi, yangın tehlikesinin çok yüksek olduğunun bir göstergesidir.

Yağış, yanıcı madde nemi üzerinde etkili bir faktördür. Yanıcı maddelerin tutuşabilmesi ve yangının devam edebilmesi için, ölü örtü nem içeriğinin %30'un altında olması gerekir (Bilgili vd., 2002). Yağış, ince yanıcı maddelerde nem içeriğini hızla artırdığından (Sağlam, 2005), yangının çıkması ve yayılmasına engel olur. Yağışlardan sonra, yanıcı maddenin kurumması için geçen süre, yangın tehlikesi açısından son derece önemlidir. İnce yanıcı maddelerde yağış sonrası kuruma hızlı gerçekleşirken, kalın yanıcı maddelerde bu süre daha uzundur.

- Yanıcı maddeler ve yangın davranışı

Yanıcı maddeler, diğer faktörlerle kıyaslandığında bir yangının tutuşması, gelişmesi ve davranışında en etkili faktördür (Brown ve Davis, 1973; Bilgili, 1998b). Yanıcı maddelerin nem içeriği, boyutu, düzeni, miktarı, kimyasal içeriği, yatay ve dikey sürekliliği geniş alanlarda değişim göstermektedir (Van Wagner, 1963; Cruz ve Alexander 2013b). Ayrıca, yanıcı maddelerin çok çeşitli olması ve her bir yanıcı maddenin benzer koşullarda farklı yangın davranışı göstermesi, yanıcı maddelerin yangın davranışı üzerindeki etkilerinin anlaşılmasını zorlaştırmaktadır. Bu durum, yanıcı maddelerin sistematik bir yaklaşımla değerlendirilmesini gerekli kılmaktadır. Bu amaçla yanıcı maddeler genellikle toprak içi, yüzey, merdiven ve tepe yanıcı maddeleri olmak üzere dört gruba ayrılır (Şekil 4).

Yanıcı madde nem içeriği, yangınların başlaması, yayılması ve şiddetinde belirleyici rol oynar. Canlı yaprak, ibre ve dal kısımlarının nem içeriği, bitkinin büyüme, çiçeklenme ve gelişme dönemlerinde mevsimsel farklılıklar arz eder (Alexander ve Cruz 2013c). Bitkilerdeki canlı yanıcı madde nem içeriğinin aksine, ölü örtüde ve ağaç üzerinde asılı halde bulunan ölü yanıcı madde nem içeriği, bağıl nem ve hava sıcaklığına bağlı olarak gün içerisinde değişimler gösterir. Ölü yanıcı madde neminde değişimler, yangın tehlike potansiyelinin belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan bir gösterge değeridir (Van Wagner, 1961). Canlı ve ölü yanıcı maddelerin nem içeriği arttıkça, yanıcı maddelerin tutuşabilmesi için daha fazla ısı enerjisine ihtiyaç olacağından yangın yayılma oranı ile tüketilen yanıcı madde miktarında bir azalma meydana gelir. Meşcerelerde, kapalılığı değiştiren uygulamalar sonucunda meşcere içerisindeki sıcaklık ve rüzgâr hızı artarak yanıcı maddelerin daha hızlı nem kaybetmesine ve kurummasına neden olur.



Şekil 4. Orman yangınına ilişkin bir meşcere profili (Alexander vd., 2012)

Yangınına madde boyutu yanma hızını belirleyen önemli bir faktördür. Yangınına maddeler ince ve kalın olmak üzere iki farklı boyutta değerlendirilir. Yaprak, ibre, ince dallar ve çayır tipi yangınına maddelerden oluşan ince yangınına maddeler, kalın yangınına maddelere kıyasla çok hızlı nem kaybeder ve çabuk tutuşurlar. Orman yangınlarında, alevli yanma sürecine katılan ve yangının şiddetini belirleyen yangınına maddeler, çoğunlukla ibreler ve 0,6 cm'den daha küçük kalınlıktaki dallardan oluşan ince yangınına maddelerdir (Bilgili vd., 2010a, Bilgili vd., 2010b). Bu nedenle, orman ekosistemlerinde ince yangınına madde miktarını etkileyen ve yer değiştirmesine neden olan aralama ve budama gibi uygulamalar yangın yayılma oranı ve şiddeti üzerinde önemli etkiler oluşturur.

Yangınına madde miktarı, yangın yayılma oranını ve açığa çıkan enerji miktarını belirler (Rothermel, 1983; Whelan, 1995; Anderson, 1982). Bu nedenle, yangın öncesinde yangınına madde miktarının bilinmesi, çıkan bir yangın davranışının belirlenmesine ve kontrol altına alınmasına yardımcı olur. Yangınına madde miktarının belirlenmesinde, yanma durumlarına göre; 0,3 cm'den küçük, 0,3-0,6 cm, 0,6-1 cm, 1-2 cm, 2-5 cm, 5-10 cm ve 10 cm'den daha büyük kalınlık olmak üzere farklı sınıflar kullanılır (Vezina, 1962; Chandler vd., 1991). Böylece, mevcut yanma koşullarında tüketilebilecek yangınına madde miktarı doğru ve güvenilir şekilde hesaplanarak yangın yayılma oranı ve yangın şiddeti tahmin edilebilir. Ayrıca, meşcere yangınına madde özelliklerini değiştiren müdahalelerin sonuçları önceden

tahmin edilebilir. Toplam yanıcı madde miktarının değişmediği, ancak yanıcı maddenin yer değiştirdiği aralama ve budama gibi uygulamalarda ölü örtü tabakasında yoğun bir yanıcı madde birikimi olur. Bunun sonucunda, örtü yangını şiddeti artar ve bu durum tepe yangınının başlamasını kolaylaştırır. Ancak tepe yangınlarının devam edebilmesi, örtü yangını şiddetinin sürekliliğine, tepedeki yanıcı maddelerin miktarına ve devamlılığına bağlıdır (Van Wagner, 1977).

Yanıcı madde düzeni ve sürekliliği yangın yayılma oranını, şiddetini ve yangın türünü belirler. Yanıcı madde düzeni, yanıcı maddelerin yatay ve dikey yöndeki sıralanışını, yanıcı madde sürekliliği ise, yanıcı maddelerin yatay ve dikey yöndeki devamlılığını ifade eder. Seyrek veya sıkışık yanıcı maddelerde, yanıcı maddenin havalanması, nem içeriği ve kuruması değişeceğinden yangın yayılma oranı değişir. Yanıcı maddenin sürekli olması, yanmamış materyalin tutuşması için gereken ısı enerjisini arttıracığından yangının daha hızlı ilerlemesine neden olur. Çoğunlukla örtü tabakasında başlayan orman yangınlarının devam edebilmesi, ölü örtünün miktarına ve arazideki homojen dağılımına bağlıdır. Örtü yangınının tepe yangınına dönüşebilmesi ise, ölü örtü miktarına bağlı olarak açığa çıkan enerjinin, tepedeki yanıcı maddeleri tutuşturacak güce ulaşmasına bağlıdır. Bu nedenle, tepenin yerden yüksekliği ve ölü örtü ile tepe yanıcı maddeler arasında sürekliliği sağlayan merdiven yanıcı maddelerin varlığı tepe yangınlarının başlaması ile yakından ilişkilidir. Özellikle dikey sürekliliği destekleyen merdiven yanıcı maddeler, örtü yangınlarının tepe yangınlarına dönüşmesine zemin hazırlar. Bu nedenle, dikey yanıcı madde sürekliliğini azaltan budama gibi yanıcı madde müdahaleleri yangınlarla mücadelede önemlidir. Genellikle, tepe altı yüksekliğinin, örtü yangını alev yüksekliğinin 1,5 katı yükseklikte olması tepe yangını başlama olasılığını azaltabilir (Chandler vd., 1991, Mooney, 2013). Diğer yandan, aralama gibi uygulamalar, ölü örtü sürekliliğini artırmakta ve seyrek dizilime sahip bir ölü örtü tabakası oluşturarak örtü yangını yayılma oranını arttırabilmektedir. Farklı yanıcı madde özelliklerine bağlı olarak yangın davranışında meydana gelen değişimin belirlenmesi yangın davranış çalışmaları ve yanıcı madde amenajmanının konusudur. Yanıcı madde amenajmanı, yangınların çıkmasını önlemekten ziyade, çıkan bir yangının şiddetini ve zararını azaltmayı amaçlayan yönetim planlarıdır (Reinhardt, 2008). Bu nedenle yanıcı madde amenajmanı yangın söndürme çalışmaları açısından oldukça önemlidir (Cruz ve Plucinski, 2007). Yangınlarla mücadelede, ilk müdahale yer ve hava ekiplerinin başarısı yangın tehlikesi ve yangın hava halleri ile yakından ilişkilidir. Yangın tehlikesini azaltmak amacıyla, yanıcı

madde amenajmanı kapsamında gerçekleştirilen uygulamalar; silvikültürel müdahaleler ve kontrollü yakma olarak adlandırılan mekanik müdahaleler, zaman zaman kombine yöntemler olarak da kullanılmaktadırlar. Mekanik müdahaleler, ağaç sayısını ve tepe yoğunluğunu azaltan ve tepe altı yüksekliğini artıran böylece yangın davranışı üzerinde değişimlere neden olan oldukça etkili uygulamalardır (Keyes ve O'Hara, 2002; Pollet ve Omi, 2002; Stephens ve Moghaddas, 2005a, b; Agee ve Lolley, 2006; Stephens vd., 2009). Ancak mekanik müdahalelerin şekline ve şiddetine bağlı olarak, ölü örtü miktarında artışlar meydana gelir. Ölü örtü yanıcı madde özelliklerinin değiştirilmesi yangın davranışını (örn, yayılma oranı, alev yüksekliği, yangın şiddeti vb.) etkileyen en temel değişkenlerden biridir (Gould, 2007; Plucinski vd., 2008) Ölü örtüde zamanla biriken yanıcı maddeler yangın söndürme aktivitelerini zorlaştırır ve yangın zararını artırır.

1.2.2. Aralama ve Yangın Davranışı

Aralama, sırkılık çağından başlayarak meşcere gençleştirilinceye kadar yapılan devamlı ve planlı ağaç kesimleridir. Aralama meşcere sıklığını değiştirerek meşcere yapısı ve özelliklerini şekillendiren yaygın bir silvikültürel tekniktir (Agee ve Skinner, 2005; Stratton, 2004). Aralamanın temel amaçları; üstün nitelikli ağaçların gelişimini düzenlemek, ara hasılat elde etmek, meşcereyi doğal gençleştirmeye hazırlamak, yaban hayatı koşullarını iyileştirmek ve yangın tehlikesini azaltmak (Graham vd., 1999; Cochrane vd., 2012; Schroeder, 2010) olarak sıralanabilir. Bu amaçlara ulaşabilmek için genellikle üç farklı aralama yöntemi kullanılır. Bunlar, alçak aralama, yüksek aralama ve seçme aralamasıdır (Agee ve Skinner, 2005). Seçilen aralamanın yöntemi ve şiddetine bağlı olarak, meşcere yapısı ve yanıcı madde özelliklerinde değişimler meydana gelir (Tablo 1). Aralama ile meşcere kapalılığı kırılır, tepe yanıcı madde miktarı azalır, ölü örtü miktarı ve tepe altı yüksekliği artar (Şekil 5). Bunun yanı sıra, meşcere mikroklimatik özelliklerinde de değişimler görülür. Bu özelliklerin değişmesi yangın davranışında önemli farklılıkların oluşmasına yol açar (Fernandes vd., 2004; Rothermel, 1983; Scott 1998; Scott ve Reinhardt, 2001; Vaillant vd., 2009; Alexander, 2007; Alexander ve Lanoville, 1987; 1989; Bilgili vd., 2006; Bilgili vd., 2010a, 2011b).

Meşcere kapalılığı, aralamanın şiddetine bağlı olarak değişir. Ağaç tepeleri birbirinden uzaklaşır ve tepe yanıcı maddelerinin yatay sürekliliği azalır. Kapalılığı kırılan bir meşcerede tepe yangınının ilerlemesi yavaşlar. Rüzgâr hızındaki dalgalanmalar, yangın

türünde ani değişimlere neden olur. Diğer yandan, kapalılığın kırılması, meşcere içerisine daha fazla güneş ışığının girmesine, sıcaklığın artmasına ve ölü örtüdeki yanıcı maddelerin hızla kurumasına neden olur (Van Wagendonk, 1996; Weatherspoon, 1996; Agee ve Skinner, 2005; Keyes 2006; Stratton, 2004).

Tablo 1. Aralama görmüş ve görmemiş meşcerelerde, yangın davranışı üzerinde etkili olan meşcere özellikleri, yanıcı madde özellikleri ve hava hallerine ilişkin faktörlerin karşılaştırılması

Yangın davranışını etkileyen özellikler	Faktörler	Silvikültürel durumu	
		Aralama görmüş	Aralama görmemiş
Yanıcı madde özellikleri	Ölü örtü miktarı	Yüksek	Düşük
	Tepe yoğunluğu	Düşük	Yüksek
	Tepe sürekliliği	Kesintili	Kesintisiz
	Yanıcı madde nemi	Düşük	Yüksek
	Yanıcı madde sıcaklığı	Yüksek	Düşük
	Asılı ibre ve dal miktarı	Az	Çok
Mikroklimatik özellikler	Meşcere içi rüzgâr hızı	Yüksek	Düşük
	Hava sıcaklığı	Yüksek	Düşük
	Solar radyasyon	Yüksek	Düşük
Meşcere özellikleri	Kapalılık	Düşük	Yüksek
	Tepe altı yüksekliği	^a Artar	Tedrici artar
	Tepe altı boşluğu	Azalı	Tedrici artar
	Göğüs yüzeyi	Düşük	Yüksek

^aAlçak aralama metodundan sonra artar, diğer aralama yöntemlerinde tepe altı yüksekliği kısmen artar.

Aralama sonrasında meşcere kapalılığının kırılması örtü yangını potansiyelinin artmasıyla sonuçlanır. Alçak aralamada, küçük çaplı ağaçlar alandan uzaklaştırılırken, diğer iki aralama yönteminde daha geniş çaplı ve geniş tepeli ağaçlar alandan çıkarılmaktadır. Alçak aralamada, diğer aralama yöntemlerine göre meşcere kapalılığı fazla kırılmadığından bu etkiler daha az görülür.

Tepe yoğunluğu, meşcere tepe çatısında yer alan yanıcı madde miktarının ağaç tepe boyuna oranıdır. Tepe yangınında tüketilen yanıcı maddeler çoğunlukla ibreler ve çapı 6 mm'ye kadar olan dallardır. Tepe yoğunluğu, yangın davranışının tahmin edilmesi, özellikle yangın türünün belirlenmesi ile tepe yangınlarının başlaması ve yayılmasında oldukça açıklayıcı bir değişkendir. Tepe yoğunluğu arttıkça, yangın yayılma oranının arttığı bilinmektedir (Cruz, 2005). Aralama ile meşcere tepe yoğunluğunda bir azalma meydana gelir. Bu azalma, aktif tepe yangınlarının sürekliliğini engelleyebilmektedir. Aktif tepe yangınlarının devamlılığı için tepe yoğunluğu eşik değeri yaklaşık olarak 0,1

kg/m³ olarak belirlenmiştir (Agee, 1996; Alexander, 1988). Diğer yandan, tepe yoğunluğunun 0,05 kg/m³'ün altına düştüğü durumlarda pasif tepe yangınlarının gerçekleşmediği görülmüştür (Stocks, 2004b; Küçük, 2004; Van Wagner, 1977; 1993).



Şekil 5. Bir ağaçlandırma alanına ait meşcere profili a) Aralama görmemiş meşcere b) Aralama görmüş, tepe kapalılığı kırılmış ve kesim artıkları ölü örtü tabakasında birikmiş bir meşcere

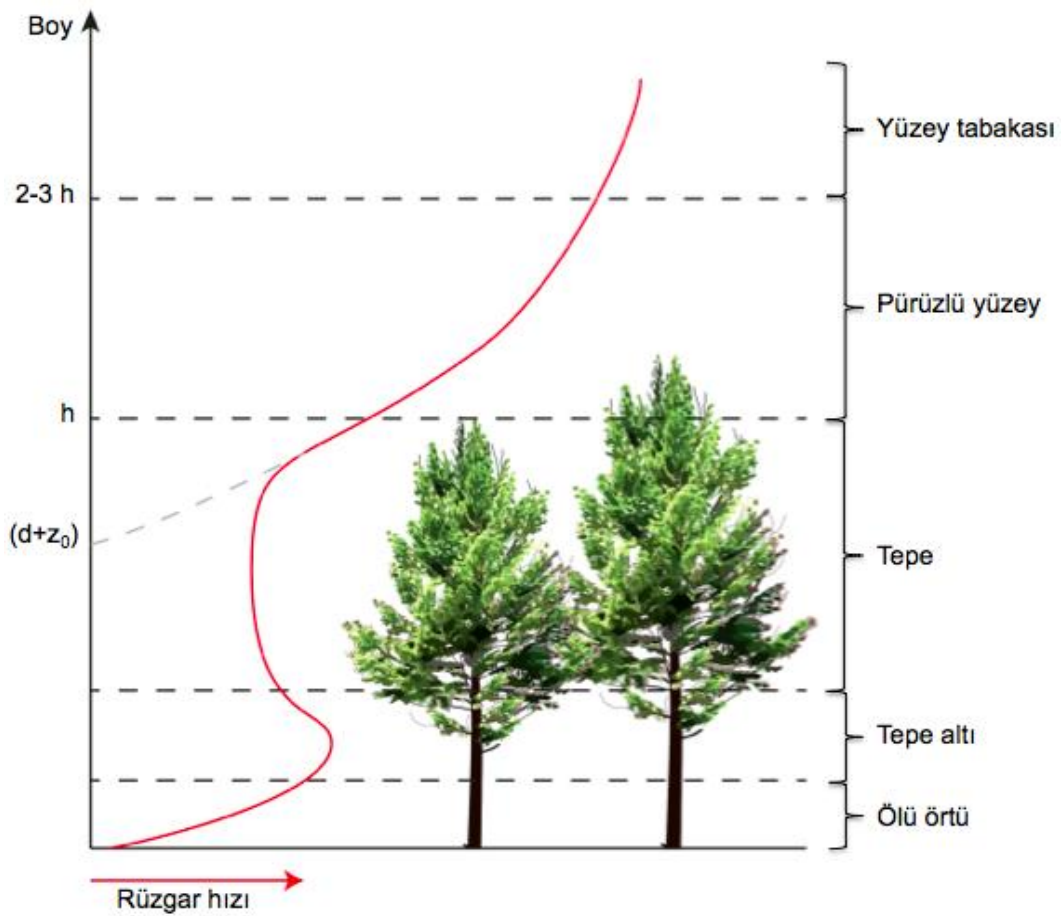
Ölü örtü miktarı, örtü yangını davranışı üzerinde rüzgâr dan sonra en etkili değişkenlerden birisidir (Rothermel, 1972; Cruz vd., 2004; Baysal, 2007; Appleby 1969). Aralama sonrasında meşcerede ölü örtü miktarı artar. Meşcere tepe çatısından uzaklaştırılan ağaçlar üzerindeki ibre ve dallar, ölü örtü tabakasında birikerek kesim artıklarını oluşturur. Yanıcı madde miktarındaki bu yer değiştirme yangın oluşumunu, gelişimini ve yangının çevresel etkilerini değiştirir (Carlton ve Pickford, 1982; Agee, 1996; Weatherspoon, 1996). Özellikle kesim artıkları üzerinde tutulan ibre miktarının ilk yıllarda fazla olması, yangın anında tüketilen yanıcı madde miktarını artırdığından örtü yangını şiddetini arttırıcı bir etki yapar. Kesim artıkları üzerindeki ibrelerin dökülme süresi ağaç türlerine göre değişmesine karşın, açık alanda bulunan kesim artıklarında ibre dökülme oranı, meşcere içerisinde yer alan kesim artıklarına oranla çok daha fazladır (Küçük vd., 2008; Bilgili vd., 2010a). Bu nedenle, aralamadan sonraki birkaç yıl içerisinde kapalılığa bağlı olarak kesim artıklarında ibre tutma oranı fazla olur. Aktif bir yanıcı madde olan ibre miktarının uzun süre ölü örtü tabakasında kalması, örtü yangını şiddetini artırarak tepe yangını potansiyelinin belli bir süre devam etmesini sağlar (Whitehead vd., 2008; Ma vd., 2010).

Tepe altı yüksekliği, ağaçtaki canlı ibre ve dalların yerden yüksekliğini ifade eder. Meşcerede ölü örtü veya diri örtü bulunuyorsa, tepe altı yüksekliği ile aralarındaki boşluğa tepe altı boşluğu denir. Bu iki kavram, tepe yangını başlaması olasılığını etkilediğinden yangın davranış çalışmalarında açıklayıcı değişken olarak kullanılmaktadır. Aralama sonrasında, ölü örtü miktarının artmasıyla birlikte ölü örtü derinliği de arttığından tepe altı boşluğu azalır. Bu durum örtü yangını şiddetini arttırıcı etki yaparak alev uzunluğunu artırır ve tepedeki yanıcı maddelerin tutuşmasını kolaylaştırır. Aralama metoduna göre farklılık arz etmesine karşın, aralama sonrasında tepe altı yüksekliği artar. Böylece tepe yangını başlama olasılığı ve tepe kavrulma oranı azalır. Tepelerin tutuşması için gereken alev uzunluğu artar.

Aralama görmüş ve aralama görmemiş meşcerelerde, meşcere içi mikroklimatik koşullarda belirgin farklılıklar meydana gelir (Whitehead vd., 2006; Weatherspoon, 1996; Agee ve Skinner, 2005; Keyes ve Varner, 2006; Reinhardt vd., 2008). Bu farklılıklar, meşcere içi rüzgâr hızı, hava sıcaklığı ve solar radyasyon üzerinde görülür. Aralama sonrasında, tepe çatısının açılması, yağmur sularının ağaç tepeleri tarafından daha az tutulmasına ve meşcere içi rüzgâr hızı, ölü örtü tabakasındaki hava sıcaklığı ile solar radyasyonun artmasına neden olur. Yağmur sonrasında, aralama görmüş ve görmemiş

meşcerelerde ince yanıcı madde nem içeriğinde önemli farklar görülürken, aralama sonrasında oluşan mikroklimatik faktörlerdeki değişim, yanıcı maddelerin hızla kurummasına ve bu farkın hızla kapanmasına yardımcı olur (Whitehead vd., 2006, Bigelow ve North, 2012).

Rüzgâr hızı, arazi yapısına ve vejetasyonun özelliklerine bağlı olarak değişir ve yangın davranışında farklı etkiler oluşturur (Bessie ve Johnson, 1995). Meşcere içerisindeki rüzgâr hızı, meşcere kapalılığına, ağaç boyuna ve tepe altı yüksekliğine bağlı olarak açık alandaki rüzgâr hızından çok daha düşüktür (Şekil 6).

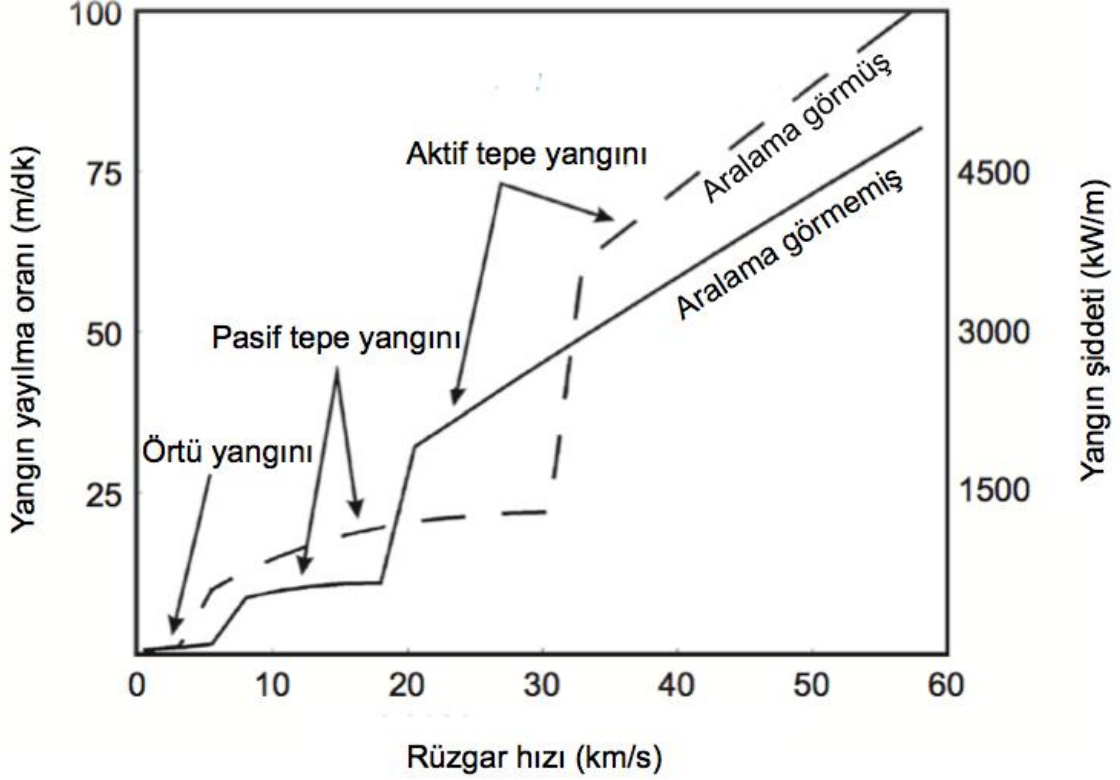


Şekil 6. Meşcere içi rüzgâr hızının, meşcere boyu (h) ve tepe altı yüksekliğine bağlı olarak değişimi (Gardiner'den (2004) uyarlanmıştır)

Aralama, meşcere içi rüzgâr dinamiklerini değiştirir. Aralama sonrasında meşcere kapalılığı ve sıklığının azalması ve yanıcı maddenin yatay ve dikey sürekliliğinin kırılması sonucunda, meşcere içirindeki rüzgâr hızı artar (Albini ve Baughman, 1979; Bigelow ve North, 2012). Rüzgâr hızının artması, örtü yangının yayılmasını ve şiddetini artırarak, alev uzunluğunu artırabilir. Bu durum, ağaçlandırma alanları gibi yanıcı madde sürekliliğinin

korunduğu meşcerelerde aralama sonrasında yangın tehlikesini ve tepe yangını potansiyelini artırıcı etki yapar (Douglas, 1967; 1964). Ölü örtü nemi, yanıcı maddelerin tutuşması ve yangının yayılması üzerinde etkili bir değişkendir (Beck vd., 2002). Aralama ile kapalılığın kırılması, meşcere içi rüzgâr hızı, hava sıcaklığı ve solar radyasyonun artması sonucunda ölü örtü nemi azalır. Böylece, aralama görmüş meşcereler, aralama görmemiş meşcerelere oranla daha yüksek tutuşma potansiyeline sahip olur.

Orman yangınlarının kontrol edilebilme zorluğu, yangın türü ile yakından ilişkilidir. Tepe yangınları, örtü yangınlarına kıyasla mücadelesi zor, masraflı ve tehlikeli yangınlardır. Örtü yangınlarında yayılma oranı, nadiren 6 m/dk'ye ulaşırken (Küçük vd., 2008), tepe yangınlarının yayılma oranı 100 m/dk'ya kadar çıkabilmektedir (Alexander, 1998). Bu nedenle meşcerelerde yapılan her türlü müdahalenin yangın davranışı üzerindeki etkilerinin bilinmesi, tepe yangınlarında yayılma oranı ve şiddetinin müdahale edilebilir düzeylerde tutulmasına imkân sağlayabilir (Graham, 1999; Agee ve Lolley, 2006). Aralama ve budama gibi silvikültürel teknikler, meşcere dinamikleri ile yanıcı madde özelliklerini değiştirir ve yangın yayılma oranı, yangın şiddeti ve yangın türü üzerinde belirleyici rol oynar (Bilgili, 1995; Cruz vd., 2008). Aralama sonrasında, tepe kapalılığındaki azalma ve tepe altı yüksekliğindeki artış, tepe yangınlarında yayılma oranı ve yangın şiddetini azaltıcı yönde bir etki yapar (Agee ve Skinner, 2005; Scott 1998; Stephens, 1998; Van Wagtendonk, 1996; Hirsch vd., 2004; Hirsch ve Pengelly, 1999). Buna karşın, ölü örtü miktarındaki artış ve mikroklimatik koşullardaki değişim aralamadan sonraki ilk yıllarda, örtü yangını şiddetini artırır (Williams, 1978; Bilgili, 1995; Agee ve Skinner, 2005). Bu değişimlerin bir sonucu olarak, orta ve yüksek şiddetli rüzgâr hızlarında (yaklaşık 30 km/s'e kadar), aralama görmüş meşcerelerde, daha hızlı ilerleyen pasif tepe yangınları görülürken, aynı rüzgâr koşullarında aralama görmemiş meşcerelerde pasif tepe yangınlarının daha ilerlediği ve kolaylıkla aktif tepe yangınlarına dönüştüğü görülmüştür (Cruz vd., 2008) (Şekil 7). Bu durum, aralama görmemiş meşcerelerdeki yangın yayılma oranını, aralama görmüş meşcerelere oranla iki veya üç kat artırabilmektedir (McArthur, 1965). Ayrıca, yangın tehlikesinin yüksek olduğu durumlarda, aralama görmemiş meşcerelerde yangınların pasif tepe yangını olarak ilerlediği, aralama görmüş meşcerelerde düşük şiddetli örtü yangını olarak gerçekleşmiştir (Billing, 1980; Cruz vd., 2008). Ancak, rüzgâr hızının olağanüstü değerlere ulaşması ve ölü örtü neminin çok fazla düşmesi durumunda, aralama görmüş ve görmemiş meşcerelerdeki yangın yayılma oranı ve şiddetinin benzerlik gösterdiği görülmüştür.



Şekil 7. Aralama görmüş (%50) ve aralama görmemiş çam plantasyonlarında rüzgâr hızına bağlı olarak yangın yayılma oranında meydana gelen değişim (Cruz vd., 2008)

1.2.3. Yangın Davranış Modelleri

Orman yangınları doğaya açık alanda meydana geldiğinden, birçok değişkenin etkisi altında farklı davranışlar ortaya koyar. Yangın davranışında meydana gelen farklılıkların detaylı olarak anlaşılması ve yangın tehlike potansiyelinin ortaya konulması yangınla mücadele çalışmalarının bir gereği olmuştur. Yangın davranışı, mevcut hava halleri, topoğrafik özellikler, değişen yanıcı madde özellikleri ve meşcere yapısına bağlı olarak farklılıklar arz eder (Bilgili, 1995). Yangın davranış çalışmaları, gerçek bir yangının yayılma oranı, tükettiği yanıcı madde miktarı ve açığa çıkardığı enerji miktarını tahmin eden modeller geliştirmek amacıyla yapılmıştır.

Yangın davranışı fiziksel, deneysel ve yarı-deneysel modellerle tahmin edilebilmektedir (Catchpole ve de Mestre, 1986; Pastor vd., 2003). Fiziksel modeller, çoğunlukla, ısı transfer mekanizması, akış dinamiği ve tüketim gibi fiziksel süreçleri dikkate alarak (Fons, 1946), yangın yayılma oranı ve yangın şiddeti gibi değişkenleri tahmin eder (Pagni ve Petersen, 1973; Fons, 1946). Deneysel modeller, orman

yangınlarının izlenmesi ve deneysel çalışmalardan sağlanan verilerle, yangın davranış parametrelerini istatistiksel olarak tahmin eder (Byram, 1959; Fernandes, 2001; Cruz, 2004). Deneysel yangınlar, laboratuvar ve arazi tabanlı olmak üzere iki farklı yöntemle gerçekleştirilirler. Bu iki yöntemin, belli özellikleri bakımından birbirlerine karşı üstünlükleri olmasına karşın deneysel yangınlar, neredeyse tüm aşamaları itibariyle, gerçek bir yangının temsili olduğundan yangın araştırmaları açısından ayrı bir değere sahiptir. Ancak, laboratuvar ve arazi deneme yangınlarında ölçek etkisi problemi, yangın davranışının belirlenebilmesini zorlaştırabilmektedir. Küçük ölçekte birbirini etkileyen süreçler, ölçek büyüdüğünde etkisini yitirebilmektedir. Bu nedenle, geliştirilen modelin hangi tür yangınlar için kullanılabileceği ve doğal bir yangını temsil edebilme gücünün bilinmesi önem taşır (Van Wagner, 1971). Diğer yandan, deneme yangınları doğaya açık alanda yapıldığından, tehlikeli, gerçekleştirilmesi oldukça zor, zaman alıcı ve masraflıdır. Bu durum, arazi tabanlı deneme yangını çalışmalarının sayısını sınırlandırmıştır (Bilgili ve Sağlam, 2003; Küçük vd., 2008; Sağlam vd., 2008; Stocks vd., 2004; Dyrness vd., 1983).

Orman yangınları çoğunlukla örtü yangını olarak başlar. Örtü yangınının, tepe yangınına dönüşmesi ve yayılmasında etkili olan birçok faktör vardır. Bunlardan bazıları kontrol altına alınabilir faktörlerdir. Tepe yangını oluşumunu etkileyen faktörlerin bilinmesi ve hangi düzeylerde etkili olduğunun belirlenmesi yangınla mücadele çalışmalarının etkinliği açısından bir hayli önemlidir. Yangın davranışı ile ilgili çalışmalar, ilk olarak örtü yangınlarının yayılması ve yangın şiddeti üzerinde yoğunlaşmıştır (Rothermel 1972). Daha sonra, örtü yangınlarının tepe yangınlarına dönüşmesi ve tepe yangını davranışı üzerinde etkili olan faktörler araştırılmaya başlanmıştır (Van Wagner, 1977, Molina vd., 2011). Son yıllarda, tepe yangını dinamiklerinin anlaşılması, tepe yangını şiddeti ve yayılma oranının kontrol edilebilir seviyelerde tutulabilmesi için yoğun çaba harcanmaktadır (Bilgili ve Sağlam, 2003; Küçük vd., 2008; Stocks vd., 2004). Özellikle, farklı yanıcı madde müdahaleleri ile silvikültürel müdahale ve tekniklerin tepe yangını davranışı üzerindeki etkileri üzerinde durulmaktadır (Collins vd., 2010; Fernandes, 2012). Ancak, yanıcı madde müdahalelerinin meşcere düzeyinde ve ekosistem düzeyindeki etkileri çoğunlukla teorik düzeyde (Scott, 1998; Graham vd., 1999; Fulé vd., 2001), yangın simülasyon modelleri (Van Wagendonk, 1996; Stephens vd., 2009) kullanılarak veya doğal yangınların izlenmesi (Pollet ve Omi, 2002; Cruz vd., 2008, Cochrane vd., 2012, Cram vd., 2006) ile izah edilmeye çalışılmaktadır.

Yangın simülasyon modellerinin temeli, tepe yangını (Van Wagner, 1977; Cruz, 2004; 2005) ve yangın yayılma modellerine (Rothermel, 1972, Rothermel, 1991) dayanmaktadır. Tepe yangını modelleri, aktif ve pasif tepe yangınlarının geçişini ve tepe yanıcı madde özelliklerini açıklamada yetersiz kaldığından sağlıklı tahmin yapılamamaktadır (Fulé vd., 2001; Scott ve Reinhardt; 2001; Cruz vd., 2003b; Alexander ve Cruz 2013a; 2013b). Tepe yangınlarına ilişkin çok sayıda fiziksel tabanlı (Albini, 1996; Butler vd., 2004; Grishin, 1997; Linn vd., 2002) ve deneysel tabanlı (Cruz vd., 2004; 2005; Forestry Canada Fire Danger Group, 1992; Rothermel, 1991) modeller geliştirilmiştir. Deneysel modeller, planlı ve plansız yangınlardan elde edilen verilerle geliştirilen matematiksel modellerdir. Şimdiye kadar geliştirilen tepe yangınının başlama ve yayılma modelleri, tepe altı yüksekliği, canlı ibre nem içeriği ve tepe yoğunluğu gibi yanıcı madde özelliklerini bağımsız değişkenler olarak kullanır (Van Wagner, 1977; Cruz, 2005). Ancak, mevcut tepe yangını modelleri silvikültürel müdahaleler ve diğer yanıcı madde müdahalelerinin yanıcı madde özelliklerinde oluşturduğu değişimlerin, tepe yangını oluşumu ve gelişimi üzerindeki etkilerini belirlemede ihtiyacı karşılayamamaktadır.

Deneysel yangınlar, yangın davranışı üzerinde etkili olan faktörlerin bazılarını sabit tutarak, diğer faktörlerdeki değişimin etkilerini görmeye imkân sağladığından bu açığın kapatılmasında önemli bir boşluğu doldurmaktadır (McArthur, 1966; Cheney, 1998; Rothermel, 1991; Cruz, 1999; Sağlam, 2005). Ayrıca, mevcut modellerin test edilmesinde ve performans ölçülmesinde kullanılırlar. Buna karşın, arazi tabanlı deneme yangını çalışmaları sınırlı sayıdadır ve bunların çok azı silvikültürel müdahalelerin etkilerini açıklayabilmektedir. Bu durum, yanıcı maddelerin karmaşık yapı ve tür özelliklerindeki farklılıklara bağlı olarak yangın davranışında meydana gelebilecek değişimlere karşı duyarlı modellerin geliştirilmesini zorlaştırmaktadır.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

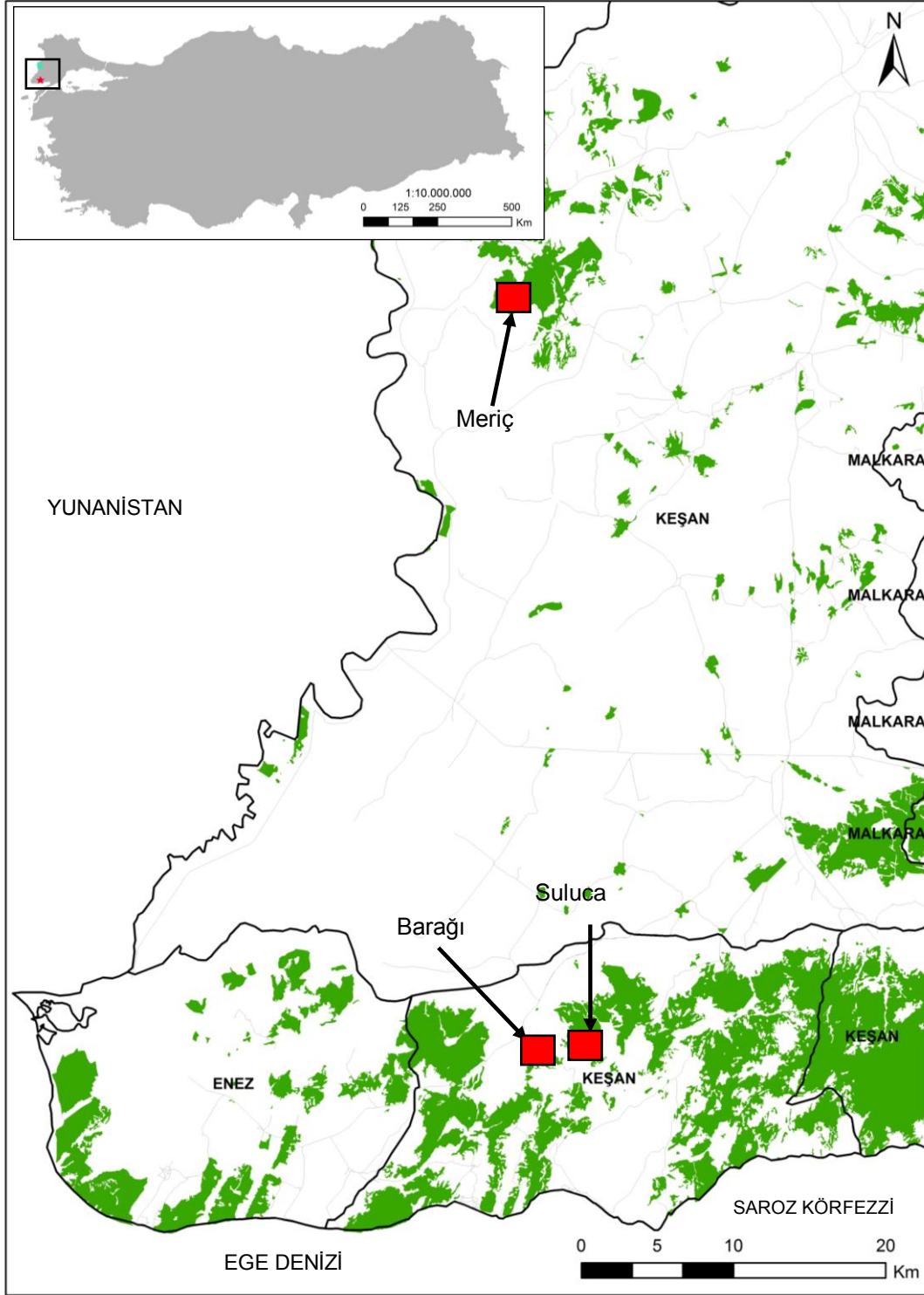
Bu çalışma kapsamında kızılçam ağaçlandırma alanlarında aralamanın yanıcı madde özellikleri ve yangın davranışında meydana getirdiği değişimler, deneme yangınları gerçekleştirilerek belirlenmeye çalışılmıştır. Deneme yangınları, üç aşamadan oluşan ölçümlerle gerçekleştirilmiştir;

- (1) deneme yangınlarından önce yapılan ölçümler,
- (2) deneme yangınları sırasında yapılan ölçümler,
- (3) deneme yangınlarından sonra yapılan ölçümler.

Çalışma alanı belirlendikten sonra bu üç başlık altında yapılan ölçümler ve kullanılan yöntemler aşağıda detaylı olarak anlatılmıştır.

2.1. Çalışma Alanı

Kızılçam (*Pinus brutia Ten.*), kurak ve fakir topraklarda kolay ve hızlı büyüme eğiliminde olan, 5.854.573 milyon hektar orman alanı ile ülkemizde en geniş yayılış alanına sahip asli ağaç türümüzdür. Kızılçamın saf meşcere kuruluşları, çoğunlukla yüksek şiddetli yangınların görüldüğü, yangına hassas alanlarda yayılış göstermektedir. Kızılçamı bu özelliğinden dolayı yangın amenajmanı açısından en önemli ibreli türlerimizin başında gelir. Bu nedenle çalışma alanları kızılçam yapay ağaçlandırma sahalarından seçilmiştir. Deneme yangınlarının gerçekleştirileceği alanlar, (1) düz bir alandan, (2) aynı yaşlı, benzer yapı ve özellikte olan, sııklık-direklik çağına ulaşmış ve (3) bakım görmemiş ve görmüş (yaklaşık %30 aralama) kızılçam gençleştirme sahalarından seçilmiştir. Ayrıca seçilen alanların, deneme yangınları esnasında tehlike arz etmeyecek bölgelerde olmasına özen gösterilmiştir. Bu doğrultuda, Orman Genel Müdürlüğünden alınan yasal izin ile Çanakkale Orman Bölge Müdürlüğü, Keşan Orman İşletme Müdürlüğünde, Çınarlıdere ve Keşan Orman İşletme Şefliği sınırları içerisinde yer alan kızılçam ağaçlandırma sahaları, çalışma alanı olarak seçilmiştir. Buna göre, Keşan Orman İşletme Şefliği, Edirne ili, Meriç ilçesi Küçükaltıağaç köyüne bir kilometre uzaklıkta, 1985 yılında dikim yolu oluşturulmuş kızılçam ağaçlandırma blokları çalışma alanı olarak belirlenmiştir (Şekil 8).



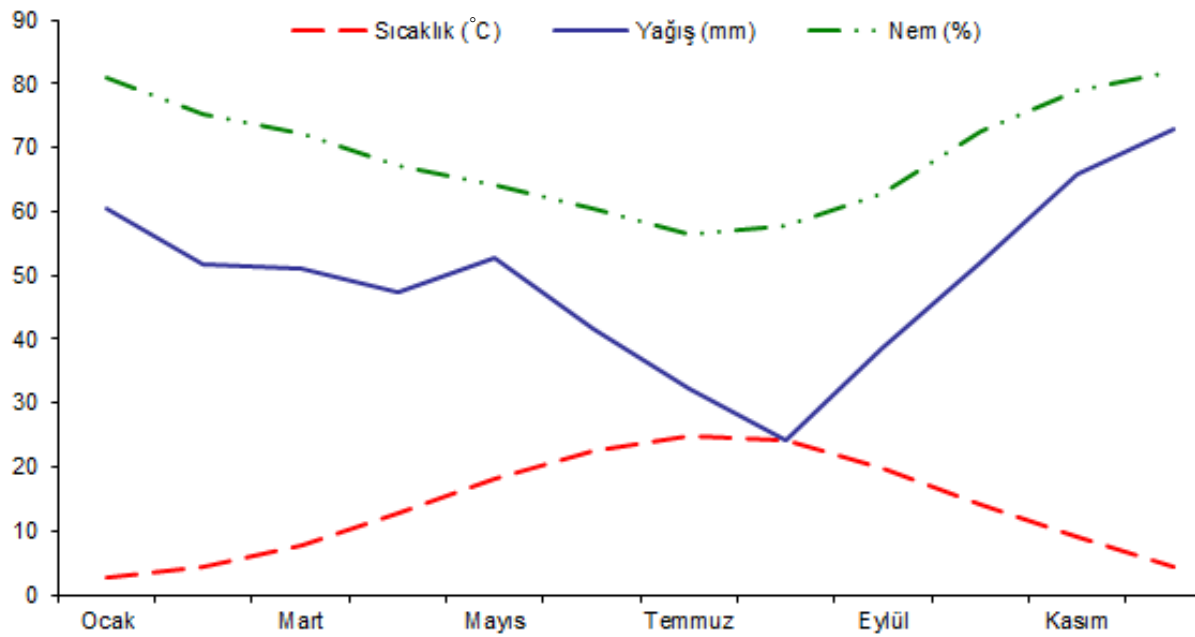
Şekil 8. Barağı, Suluca ve Meriç'te çalışma alanı olarak seçilen sahaların Orman İşletme Şeflik sınırlarına göre coğrafik konumları

Diğer çalışma alanları, Keşan ilçesi, Çınarlidere Orman İşletme Şefliğinde, birbirine komşu olan Barağı köyü ve Suluca köyü yakınlarında, 1986 yılında meydana gelen büyük bir orman yangını sonrasında ağaçlandırmaya konu olan ve 1988 yılında dikim yoluyla

ağaçlandırılan iki farklı bölgede seçilmiştir. Seçilen her iki orman işletme şefliği sınırı içindeki çalışma alanları, 2×3 m aralık-mesafe ile dikimi yapılmış yapay gençleştirme sahalarından oluşmaktadır. Bu çalışma alanlarının birbirine uzaklığı, karayolu ile yaklaşık 90 kilometredir. Çınarlidere Orman İşletme şefliğinin toplam alanı; 18.290 ha olup, bu alanın 12.276 ha'ı ormanlık sahadır. Diğer yandan Keşan Orman İşletme şefliğinin toplam alanı; 18.290 ha olup, bu alanın 12.276 ha'ı ormanlık sahadır. Her iki .araştırma alanı, orman yangınlarına I. derecede hassas bölgede yer aldığından, yangınlar açısından tehlike arz eden önemli yerler arasında ikinci sırada bulunmaktadır.

Coğrafi konum olarak Çınarlidere Orman İşletme Şefliği; 40° 47' 32" - 40° 38' 53" kuzey enlemleri ve 26° 40' 36" - 26° 54' 43" doğu boylamları arasında, Merkez Orman İşletme Şefliği; 40° 47' 32" - 40° 38' 53" kuzey enlemleri ve 26° 40' 36" - 26° 54' 43" doğu boylamları arasında yer almaktadır. Araştırma alanı 1/25000 ölçekli Çanakkale G 17 a3, b3, b4, c1, c2 ve d2 numaralı topoğrafik haritalarda yer almaktadır.

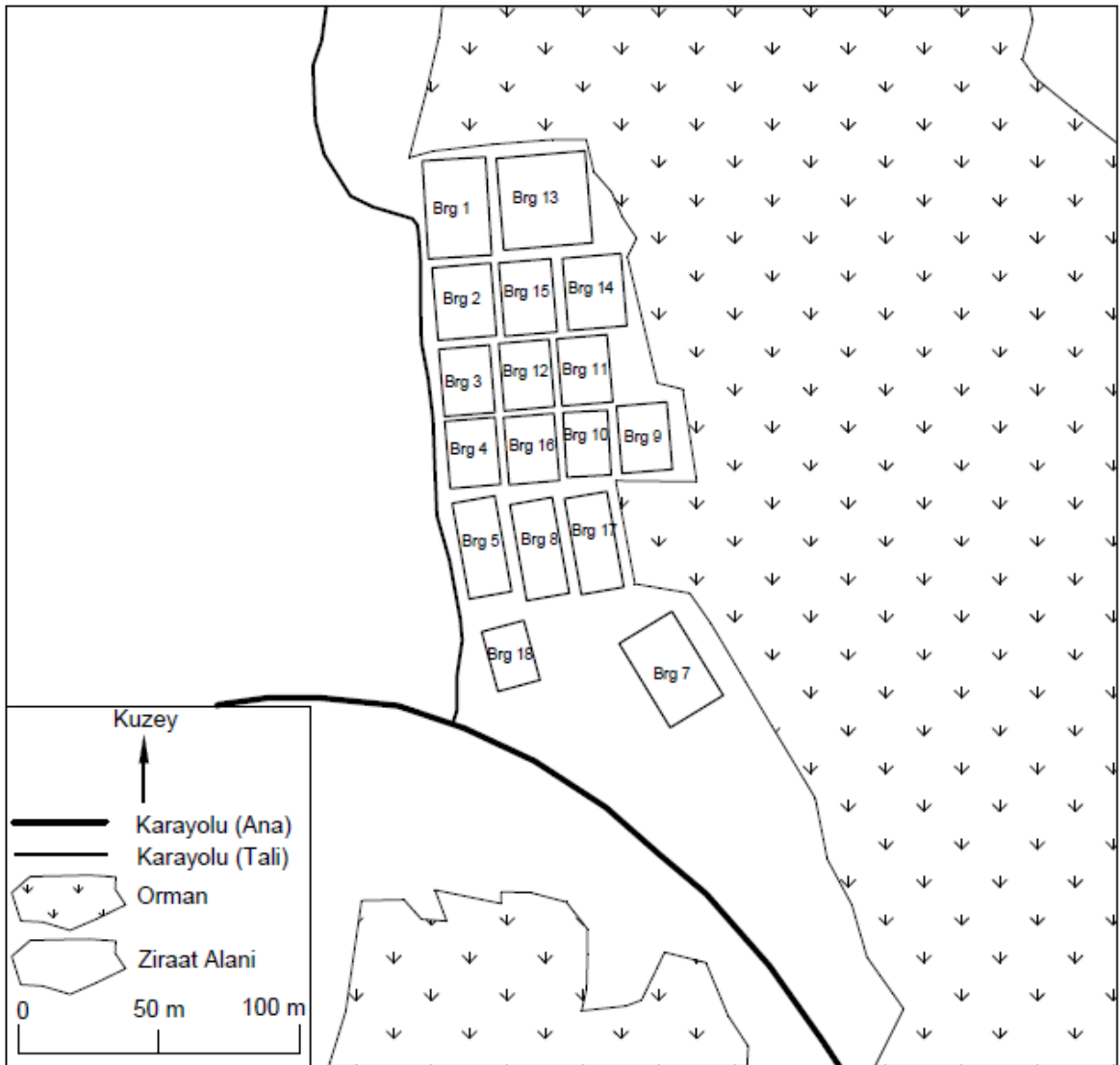
Araştırma alanında, 1975-2013 yılları arasında ortalama en yüksek sıcaklık 44.1 °C ile Temmuz ayında, ortalama en düşük sıcaklık -19 C ile ocak ayında, en düşük ortalama nem %62 ile temmuz ve ağustos aylarında, ortalama en yüksek rüzgâr hızı 24,4 km/s ile Nisan ayında, ortalama en düşük yağış 26 mm ile Ağustos ayında, ortalama en yüksek yağış 69 mm ile kasım ayında gerçekleşmektedir (Şekil 9) (URL-1, 2014).



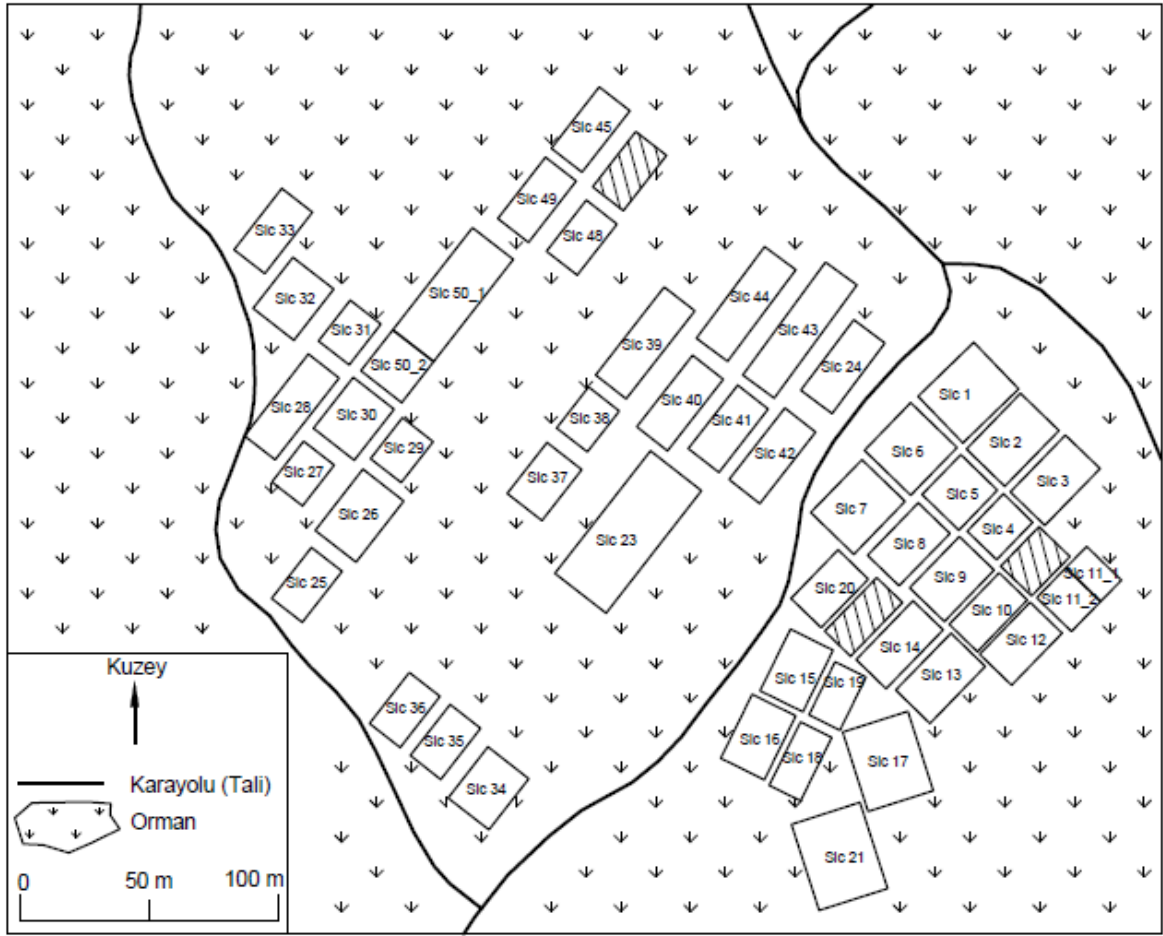
Şekil 9. Orman yangınlarının en fazla meydana geldiği ağustos-eylül aylarını içeren ve araştırma alanına ait aylık ortalama sıcaklık, yağış ve nem değerleri

2.2. Deneme Yangını Parsellerinin Hazırlanması

Aynı yapı ve özellikteki üç farklı yerden seçilen kızılçam ağaçlandırma sahalarında deneme yangını parselleri hazırlanarak, birbirini izleyen dört yıl boyunca toplam 105 deneme yangını gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen deneme yangınlarının 61 tanesi aralama görmüş parsellerde, 44 tanesi aralama görmemiş parsellerde yapılmıştır. Aralama görmüş parsellerden 33 deneme parseli, aralamadan bir yıl sonra, 28 deneme parseli ise aralamadan iki yıl sonra yakılmıştır. Deneme yangını parsellerinin, yakıldığı yıllara göre alan krokileri aşağıda verilmiştir (Şekil 10, 11 ve 12).



Şekil 10. Barağı köyü yakınlarında gerçekleştirilen deneme yangınları alan krokileri



Şekil 11. Suluca köyü yakınlarında gerçekleştirilen deneme yangınları alan krokileri

Deneme yangını parselleri oluşturulmadan önce, çalışma alanlarına en yakın meteoroloji istasyonlarından temin edilen veriler ile çalışma alanlarına bir ay öncesinde kurulan seyyar meteoroloji istasyonundan elde edilen bilgiler doğrultusunda hâkim rüzgâr yönüne karar verilmiştir. Çoğunlukla belirlenen hâkim rüzgâr yönüne paralel ve uzunlamasına olacak şekilde deneme yangını parselleri hazırlanmıştır. Ancak rüzgâr yönündeki değişimlere hazırlıklı olmak için, hâkim rüzgâr yönüne 15-20 derecelik açılarla hazırlanan parseller oluşturulmuştur. Deneme yangını parselleri, 25 x 40 m ile 40 x 90 m arasında değişen ebatlardadır. Boyutları küçük olan parseller, düşük rüzgâr hızlarında, uzun ve geniş parseller ise yüksek rüzgâr hızlarında yakılmak üzere hazırlanmıştır. Deneme yangınlarının gerçekleştirileceği parseller boyutlandırılarak, etraflarında 7-10 m genişliğinde güvenlik şeritleri oluşturulmuştur. Oluşturulan güvenlik şeritleri dozer yardımıyla temizlenerek, üzerindeki yanıcı maddeler uzaklaştırılmış ve söndürme ekip ve araçlarının kullanımına hazır hale getirilmiştir.

2.2.1.1. Meşcere Özelliklerinin Belirlenmesi

Deneme yangınları yapılmadan önce, hazırlanan parsellerin tamamında meşcere yapısı ve yanıcı madde özellikleri ile ilgili ölçümler yapılmıştır. Ölçümler, her parsel içerisindeki genel yapıyı temsil eden 10×15 m ebadında bir örnekleme alanında gerçekleştirilmiştir. Örnekleme alanı içerisindeki tüm ağaçların boyu, tepe altı yüksekliği, tepe çapı ve göğüs yüksekliği çapı ($d_{1.30}$) ve ağaçların birbirine olan uzaklığı ölçülmüştür. Ağaç boyu boy ölçer ile tepe çapları şerit metre ile göğüs yüksekliği çapı kumpas ile ölçülmüştür. Ağaçların çapı ve tepe çapı ölçümleri birbirine dik, iki yatay ölçümün ortalaması olarak alınmıştır. Bununla birlikte, her bir parselin kapallığı, ağaç tepelerinin toprağı örtme derecesine göre % değer olarak verilmiştir. Ayrıca, her bir parselin hektardaki ağaç sayısını belirleyebilmek için parsel içerisindeki tüm ağaçlar yangınlardan sonra sayılarak parsel içerisindeki toplam ağaç sayıları belirlenmiştir. Parselin genelinde yer alan diri örtünün dağılımı % olarak verilmiş ve ortalama boyları kaydedilmiştir. Çalışma alanlarının ağaçlandırma sahaları olması, diri örtü probleminin bulunmaması ve genel olarak parsel içerisindeki diri örtü kapallığının % 20'yi geçmemesi nedeniyle parsel içerisinde diri örtü örnekleme görsel olarak belirlenmiştir. Ancak, gerekli görülen durumlarda üç doğrusal hat boyunca 10 m mesafe adımlayarak (~15 adım), diri örtüye karşılık gelen adım sayısı toplam adım sayısına oranlanarak diri örtü için ortalama bir kapallık değeri (%) belirlenmiştir.

2.2.1.2. Yanıcı Madde Miktarının Belirlenmesi

Deneme yangınlarının gerçekleştirildiği kızılçam ağaçlandırma alanlarında yanıcı madde miktarının belirlenmesi için, her bir deneme yangını parselinde, mineral toprak üstünden ağaç tepesine kadar uzanan katmanlarda yanıcı madde miktarı ayrı ayrı belirlenmiştir (Brown ve Davis, 1973). Yanıcı madde katmanları meşcere örtü tabakasından tepeye doğru sırasıyla;

- humus tabakası (mineral toprak üzerindeki organik maddenin ayrışmaya başladığı kısım)
- ölü örtü tabakası (dökülen ibreler, kabuk parçaları ve farklı boyutlardaki odunsu materyal vb.)
- tepe altı yüksekliği kuru ve asılı materyal (meşcere tepe altı yüksekliği içinde yer

alan ve doğal dal budanması sonucunda oluşan kuru dallar ve bunlar üzerinde asılı kalan döküntü ibreler)

- diri örtü tabakası
- tepe yanıcı maddeleri (ağaç tepesindeki ibreler, ölü ve canlı dallar, ağaç gövdesi dışındaki tüm odunsu materyal)olarak belirlenmiştir.

Belirlenen her bir katman için farklı örnekleme yöntemlerinden yararlanılarak yanıcı madde örnekleme yapılmıştır. Her bir katmandaki yanıcı madde miktarının belirlenmesi aşağıda detaylı olarak anlatılmıştır.

2.2.1.2.1. Humus ve Ölü Örtü Yanıcı Madde Miktarının Belirlenmesi

Deneme yangınlarından önce, deneme parsellerinin her birinde ayrı ayrı yapılmak suretiyle, parsel kenarından en az bir ağaç boyu içerden başlayarak, bir köşeden, çapraz diğer köşeye kadar uzanan hat boyunca, rastgele beş adet örnek alan alınmıştır. Örnek alan boyutları 50 x 50 cm ebadında olup, örneklerin alınmasında aynı ebatlarda özel olarak hazırlanmış metal bir çerçeve kullanılmıştır (Şekil 13).

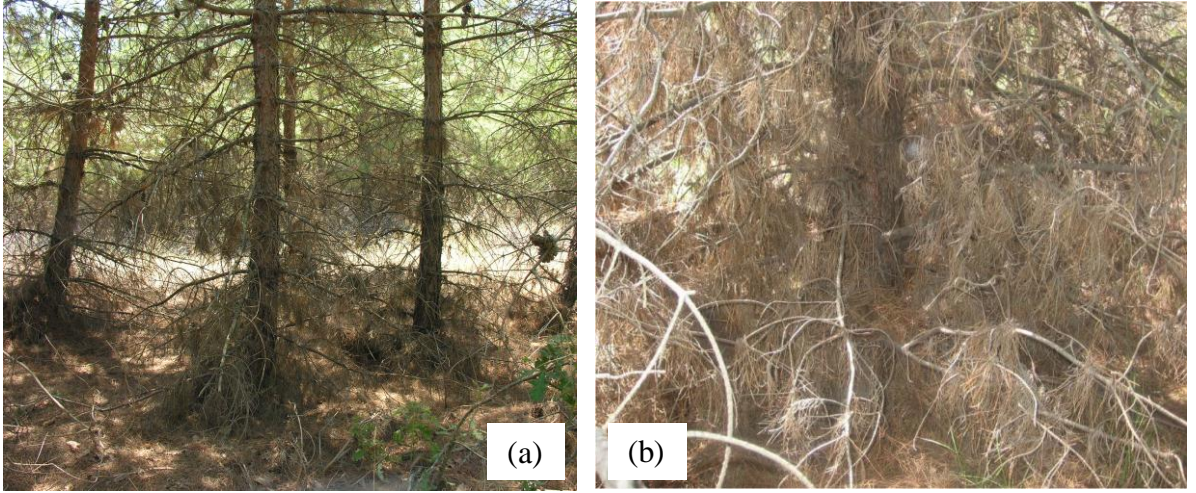


Şekil 13. Ölü örtü örneklerinin metal çerçeve yardımıyla alınması

Bu metal çerçeve içerisine öncelikle ölü örtü tabakası, organik tabakaya kadar poşetlenmiştir. Daha sonra metal çerçeve içindeki organik tabaka, mineral toprak seviyesine kadar ayrıca poşetlenerek fırın kurusu ağırlıkları belirlenmek üzere laboratuvara götürülmüştür. Laboratuvara götürülen örnekler, yangın çalışmalarında esas alınan temel sınıflandırma sistemine göre; <0,3, 0,3–0,6, 0,6–1,0, 1,0–2,5, ve >2,5 cm çap kademelerine ayrılmış ve 24 saat süre ile kurutma fırınlarında 105 °C’de kurutulmuş ve fırın kurusu ağırlıkları hassas (1/100 gr) terazi ile tartılmıştır (McRae vd., 1979). Elde edilen fırın kurusu ağırlıklar, deneme yangınları sonrasında, humus ve ölü örtü tabakasındaki yanıcı madde tüketiminin belirlenmesinde ve yangın şiddetinin hesaplanmasında kullanılmıştır.

2.2.1.2.2. Tepe Altı Kuru Dal ve Tepe Altı Asılı İbre Miktarlarının Belirlenmesi

Kızılcıam, bir ışık ağacı olmasına karşın, doğal dal budanması ile kuruyan dallar uzun yıllar gövde üzerinde kalabilmektedir. Gövde üzerinde kalan dallar, ağaçtan dökülen ibreleri üzerinde tutarak, örtü ile tepe arasında dikey sürekliliği sağlayan merdiven yanıcı madde miktarını arttırmaktadır (Şekil 14).



Şekil 14. Kızılcıamda (a) doğal dal budanması ve (b) tepe altı boşluğunda yoğun döküntü ibre birikimine ilişkin bir görünüm

Deneme yangınları öncesinde, doğal dal budanması ile kuruyan dal miktarını ve tepe altı boşluğunda asılı haldeki ibre miktarını belirlemek için müdahale görmüş ve görmemiş parsellerden farklı çap ve boy kademelerinden seçilen 30 örnek üzerinde ölçümler

yapılmıştır. Seçilen ağaçların, boyu, göğüs yüzeyi, tepe çapı ve tepe altı yüksekliği ölçülmüştür. Seçilen ağaçların boyu 5 ile 10 metre, göğüs yüzeyi 11,5 ile 25,2 cm, tepe çapı 3 ile 5,5 metre, tepe altı yüksekliği 0,90 ile 4,50 metre arasında değişim göstermiştir. Örnekleme yapılan ağacın altına serilen naylon örtü üzerine, tepe altı boşluğunda yer alan asılı haldeki kuru ibreler dökülerek toplu halde tartılmış ve fırın kurusu ağırlığının belirlenmesi için, bir miktar ibre poşetlenerek fırın kurusu ağırlıkları belirlenmek üzere laboratuvara götürülmüştür. Daha sonra, tepe altı boşluğunda doğal dal budanması sonucu kuruyan dallar, motorlu testere yardımıyla gövdeden ayrılmıştır. Kesilen dallar, ölü örtü ve tepe yanıcı madde ölçümlerinde esas alınan temel sınıflandırma sistemine göre; <0,3, 0,3–0,6, 0,6–1,0, 1,0–2,5, ve >2,5 cm çap kademelerine ayrılmış toplam ağırlıkları belirlenmiş ve içlerinden alınan nem örnekleri tartılıp poşetlenerek, 24 saat süre ile kurutma fırınlarında 105 °C’de kurutulularak fırın kurusu ağırlıklarının belirlenmesi için laboratuvara götürülmüştür. Yapılan ölçümlerde, bir ağacın tepe altı boşluğunda, asılı halde bulunan ibre miktarı fırın kurusu ağırlığı ortalama 250 gram ve en yüksek 850 gram olduğu belirlenmiştir. Yapılan ölçümlerde, bir ağacın tepe altı boşluğunda asılı halde bulunan ibre miktarı (YM_{Aib}) ağaç boyunun (A_{boy}) bir fonksiyonu olarak aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır;

$$YM_{Aib} = 252.65 \times A_{boy} - 1221.8 \quad (2)$$

Tepe altı boşluğunda yer alan kuru dalların toplam fırın kurusu ağırlığı yaklaşık olarak 1 ile 6 kilogram arasında değişim göstermiştir. Bir ağacın tepe altı boşluğundaki toplam kuru dal miktarı (YM_{Kdal}) ağaç boyu, tepe çapı ve tepe altı yüksekliğinin çarpımından elde edilen sanal değişkenin (TAT) bir fonksiyonu olarak aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır;

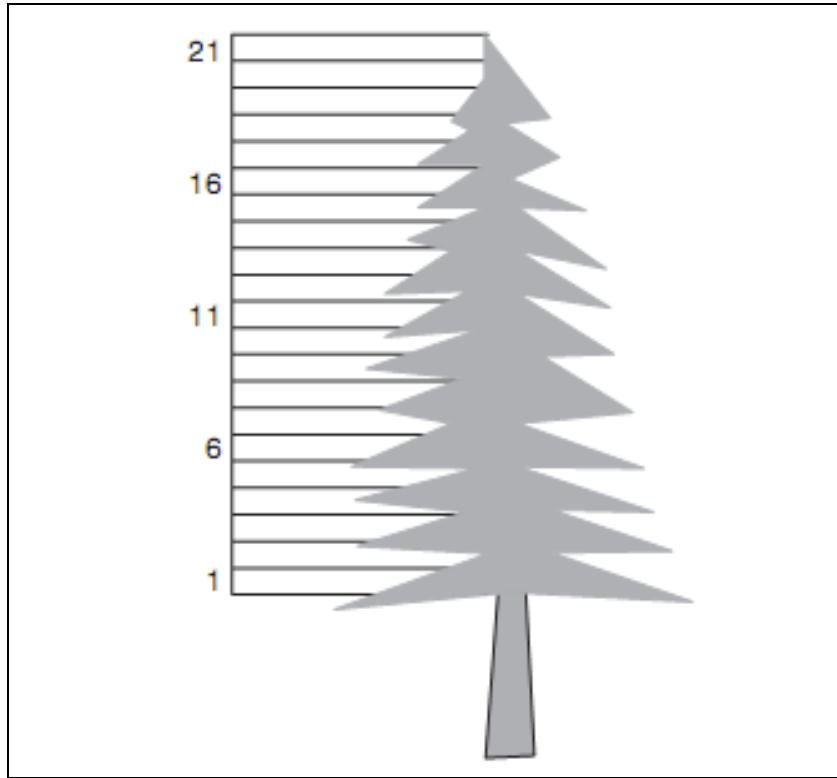
$$YM_{Kdal} = 33.692 \times TAT + 1556.5 \quad (3)$$

Hesaplanan kuru dal miktarı yüzde olarak ortalama dal kalınlıklarına ayrılmıştır. Buna göre toplam kuru dal miktarının, %28,5’i <0,3 cm, %16,1’i 0,3–0,6 cm, %19,4’ü 0,6–1,0 cm, %35,5’i 1,0–2,5 cm, %0,39’u >2,5 cm kalın dallardan ibaret olduğu belirlenmiştir. Böylece, her bir deneme yangını parselinde alınan örnekleme alanı

içerisinde her bir ağaç için hesaplamalar yapılmış tepe altı asılı ibre miktarı ve kuru dal ağırlığı kg/m^2 cinsinden hesaplanmıştır.

2.2.1.2.3. Tepe Yanıcı Madde Miktarının Belirlenmesi

Bu çalışma kapsamında Meriç, Küçükaltıağaç'ta yer alan çalışma alanından, farklı çap ve boy kademelerinden rastgele seçilen toplam 15 adet ağaç kesilerek tepe yanıcı madde miktarları belirlenmiştir. Bu ağaçlar, kesilmeden önce; ağaç boyu, tepe boyu ve tepe çapı ve göğüs yüksekliği çapı ölçülmüştür. Motorlu testere ile kesilen ağaçların, tepe kısmı 21 eşit seksiyona bölünerek (1., 6., 11., 16. ve 21. seksiyon olmak üzere) 5 seksiyon seçilmiştir (Şekil 15). Bu şekilde, tepe tacındaki canlı yanıcı madde miktarının daha sağlıklı belirlenmesi amaçlanmıştır.



Şekil 15. Kesilen ağaçların ibre ve dal miktarının örneklenme tekniği. Biokütle belirlenmesinde 1, 6, 11, 16, 21 numaralı seksiyonlar örneklenmiştir (Küçük 2008'den alınmıştır)

Küçük tepeli ağaçlarda tepenin tamamı, uzun tepeli ağaçlarda ise tepeyi seksiyonlara ayırarak yanıcı madde miktarı belirlenmiştir. Seçilen seksiyonlardaki tüm yeşil ve kuru dallar gövdeye birleşim yerlerinden motorlu testere ile kesilmiştir. Her bir seksiyon

içerisine giren ibre ve 0,3 cm'den ince, 0,3-0,6 cm, 0,6-1 cm, 1,1-2,5 cm ve 2,5 cm'den daha kalın çaplı dallar birbirinden ayrılarak, hassas terazi (1/100 gr) ile tartılmış, yaş ibre ve dal ağırlıkları bulunmuştur. Daha sonra laboratuvara götürülmek üzere, ibre ve dal kısımlarından alınan yaş haldeki örnekler arazide tartılmış ve yaş ağırlıkları belirlenmiştir. Laboratuvara götürülen yaş ibre ve dal örnekleri 24 saat süre ile 105 °C'de kurutma fırınlarında fırın kurusu hale getirilerek fırın kurusu ağırlıkları belirlenmiş ve her bir ağacın fırın kurusu ağırlığı bu oranlar kullanılarak bulunmuştur.

Çalışma alanında yer alan ağaçların canlı yanıcı madde miktarını daha iyi temsil edebilmek için 15 ağaç kesilmiştir. Kesilen ağaçlara ek olarak, aynı alanlarda daha önce yapılan çalışmalardan sağlanan 35 kızılçam ağacına ilişkin biokütle verileri birleştirilmiştir (Küçük, 2008; Bilgili ve Küçük, 2009). Elde edilen veri tabanı kullanılarak regresyon denklemleri geliştirilmiş ve bir ağaçtaki toplam yanıcı madde miktarı belirlenmiştir. Bir ağaca ait toplam tepe yanıcı madde miktarı, göğüs yüzeyi çapı, tepe çapı ve tepe boyunun fonksiyonu olarak geliştirilen regresyon denklemi yardımıyla bulunduktan sonra, diğer yanıcı madde bileşenleri, Tablo 2'de verilen % değerlerden hesaplanmıştır.

Tablo 2. Kızılçam için bir ağaçta bulunan toplam tepe yanıcı madde miktarı içindeki yanıcı madde bileşenlerinin yüzde oranları

Tür	Dallar					^a Aktif yanıcı maddeler	^b Toplam
	İbre	Çok ince	İnce	Orta	Kalın		
Kızılçam ağaçları	26	11	10	24	29	47	100

^a Bir ağaç üzerindeki ibre, çok ince (0.0-0.3), ince (0.3-0.6), orta (0.6-1.0) ve kalın dal miktarı (1.0 >) toplamının yüzde değeridir.

^b İbre ve tüm kalınlıktaki (çok ince, ince, orta ve kalın) dalların toplamıdır. Kızılçam fidanlarının gövde ağırlıkları bu toplamın içinde yer alırken, ağaç formundaki bireylerde gövde ağırlığı toplam yanıcı madde ağırlığına katılmamıştır

2.2.2. Deneme Yangınları Sırasında Yapılan Ölçümler

Deneme yangınları gerçekleştirildiği esnada yapılan işlemler, yakma zamanının belirlenmesi, yakma tekniğinin belirlenmesi, yanıcı madde nem içeriğinin belirlenmesi, rüzgâr ölçümleri ve yangın anında tutulan kayıtlar olmak üzere beş başlık altında ele alınarak tüm detayları aşağıda anlatılmıştır.

2.2.2.1. Yakma Zamanının Belirlenmesi

Deneme yangınlarından bir hafta önce, çalışma alanına kurulan elektronik seyyar meteoroloji istasyonundan ölçülen günlük hava halleri (sıcaklık, bağıl nem, rüzgâr hızı ve yağış miktarı) düzenli olarak bilgisayara kaydedilmiştir. Deneme yangınları öncesinde elde edilen bu veriler, deneme yangınları yapıldıktan sonra elde edilen yangın davranış verileri ile ilişkiye getirilerek yangın davranışının belirlenmesinde kullanılmıştır.

Meteorolojik şartlar açısından sıcaklığın yüksek, bağıl nemin düşük olduğu ve yangın tehlikesinin yüksek olduğu temmuz ve ağustos ayında deneme yangınları gerçekleştirilmiştir. Deneme yangınlarının başlatılması, hâkim rüzgâr yönüne ve şiddetine bağlı olarak belirlenmiştir. Deneme parsellerinin gün içerisinde tercih edilen tutuşturulma zamanı, en uygun yakma koşullarını yakalayabilmek amacıyla öğleden sonra olarak belirlenmiş ve çoğunlukla 14:00-18:00 saatleri arasında gerçekleştirilmiştir. Ancak, farklı nem ve rüzgâr koşullarının etkisini görebilmek amacıyla günün diğer saatlerinde de yakmalar yapılmıştır. Ayrıca, önerilen yakma zamanını yakalayabilmek için, hava koşulları sürekli olarak takip edilmiş ve özellikle rüzgâr hızı ve yönünün en uygun olduğu durumlarda tutuşturma başlatılmıştır. Ayrıca, deneme yangınlarına başlamadan önce, ilgili birimlere gerekli bilgilendirmeler yapılmış ve yakın civardaki köy muhtarlıklarına ve çalışma alanını gören yangın gözetleme kulelerine haber verilmiştir.

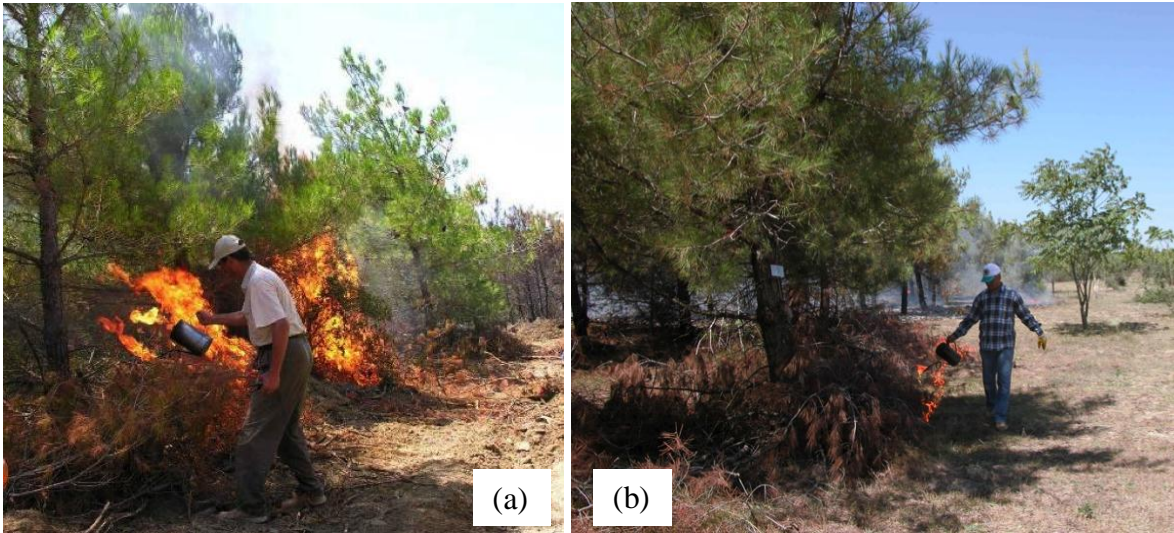
2.2.2.2. Yakma Tekniğinin Belirlenmesi

Deneme yangınları, her bir parselin rüzgâr yönüne dik olan kenarından hat şeklinde tutuşturularak başlatılmıştır. Böylece, doğal orman yangınlarındaki *sabit yayılma hızına* kısa sürede ulaşılabilmektedir (Cheney, 1981; Cheney ve Gould, 1995; Alexander vd., 1991). Parsellerin hat şeklinde kolaylıkla tutuşturulabilmesi için %50 gaz veya motorin ve %50 benzin karışımı ile doldurulan alev ibriği kullanılmıştır (Şekil 16). Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen deneme yangınları, yaklaşık 2 ile 10 dakika arasında değişen zamanlarda tamamlanmıştır. Deneme yangınlarında uzun parseller yüksek rüzgâr hızlarında, kısa parseller ise düşük rüzgâr hızlarında yakılarak yayılma oranı süresi uzatılmaya çalışılmıştır.

Deneme yangınlarında kayıtlar, hat tutuşma anından, sonra sabit yayılma hızına ulaşması görsel olarak belirlendiği andan itibaren alınmaya başlanmıştır. Bu da genellikle,

yavaş yayılan yangınlarda 1-2 m hızlı ilerleyen yangınlarda 3-6 m parsel kenarından sonrasında ölçümler başlatılmıştır.

Parseller tutuşturulduktan sonra, yangının sabit yayılma hızına ulaşması, 20-25 saniyelik bir zaman diliminde gerçekleşmiştir. Tutuşturulan parsel kenarı boyunca aynı anda ilerlemesini sağlamak için, yakma işlemi parsel kenarına belli bir açı ile başlatılmıştır. Yangınların başlatılması ve sonlandırılması bir yangın amiri tarafından yönetilmiş ve tüm ekip arasındaki iletişim el telsizleri ile sağlanmıştır. Deneme yangınlarında kontrolün sağlanması ve oluşabilecek tehlikelere karşı önlemlerin alınması, Keşan Orman İşletme Müdürlüğü, Mercan, Süleymaniye ve İzzetiye yangın söndürme ekipleri tarafından sağlanmıştır. Deneme yangınlarının gerçekleştirildiği anda, iki arazöz ve beraberindeki yangın ekibi çalışmalar esnasında alanda hazır halde bekletilmiştir.



Şekil 16. Deneme yangını parsellerinin hat yangını olarak tutuşturulması anından (a) Sulaca ve (b) Meriç çalışma alanlarından bir görünüm

2.2.2.3. Yanıcı Madde Nem İçeriğinin Belirlenmesi

Deneme yangınlarından önce, ölü örtü, kesim artıkları ve canlı materyalin olduğu katmanlarındaki yanıcı maddelerin nem içerikleri belirlenmiştir. Yanıcı madde nem içeriğinin belirlenmesi için, deneme yangınları yapılmadan hemen önce her parselde, üç farklı yerden alınan ölü ve canlı ibre ve dal (0,3 cm'den ince, 0,3-0,6 cm, 0,6-1 cm, 1,1-2,5 cm ve 2.5 cm'den daha kalın çaplı) yanıcı madde nemi örnekleri, hassas terazide tartılarak bunların yangın öncesi ağırlıkları belirlenmiştir. Bu örnekler laboratuvarında kurutma fırınlarında 105 °C'de 24 saat süre kurutulduktan sonra tartılarak, fırın kurusu ağırlıkları

belirlenmiştir. Böylece, deneme yangınları öncesinde her parselin ölü örtü yanıcı madde nem içeriği, ibre ve dal örnekleri için ayrı ayrı aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır;

$$YMN = \left(\frac{AG_{Yas} - AG_{Kuru}}{AG_{Kuru}} \right) \times 100 \quad (4)$$

Burada; YMN: yanıcı madde fırın kuru nem içeriği (%), AG_{Yas} : örneğin alındığı zamandaki örnek ağırlığı, AG_{Kuru} : 105 °C'de 24 saat bekletilen örneğin fırın kuru ağırlığını ifade eder.

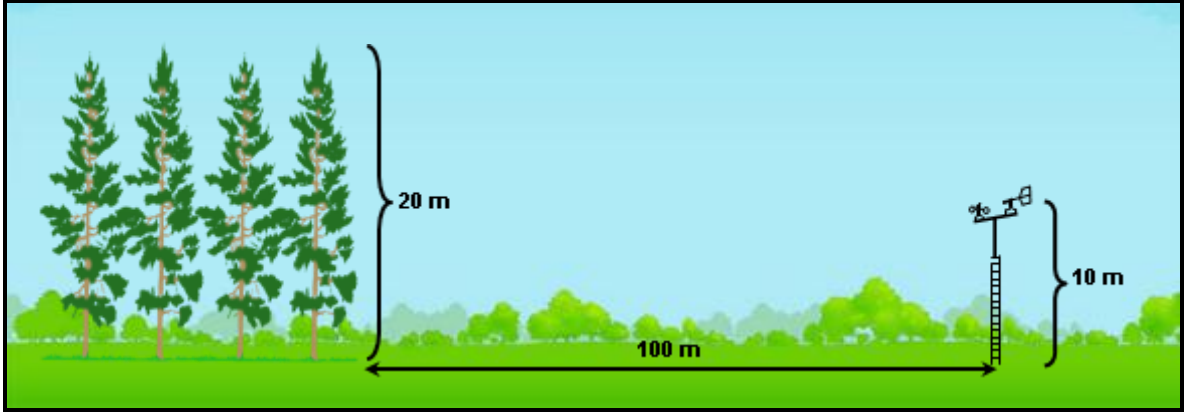
2.2.2.4. Rüzgâr Ölçümleri

Yangınlar sırasında meteorolojik ölçümleri gerçekleştirmek için, bir adet mobil meteoroloji istasyonu (Huger) ve elde taşınabilir, rüzgâr, sıcaklık ve nem ölçer (Kestrel 3000) kullanılmıştır. Mobil meteoroloji istasyonu, deneme yangını yapılan her parselin 40-50 metre uzağına ve yerden 5-10 m yüksekliğe kurulmuştur ve yangınlar sırasında 10-15 saniye aralıklarla rüzgâr hızı okumaları kaydedilmiştir (Şekil 17). Meteoroloji istasyonunun 5 m yüksekliğe kurulduğu durumlarda, 10 m yükseklikteki rüzgâr hızı bir formül yardımıyla hesaplanmıştır (Turner ve Lawson, 1978).

Deneme yangınları boyunca devam eden rüzgâr hızı okumalarının aritmetik ortalaması alınarak her bir deneme yangınında yangın davranışı üzerinde etkili olan ortalama rüzgâr hızı belirlenmiştir. Deneme yangınlarında 10 saniye aralıklarla rüzgâr hızında yaşanan değişimlerin, deneme yangınlarına göre farklılıklarını ortaya koymak ve rüzgâr hızındaki ani iniş ve çıkışların yangın davranışındaki etkilerini görebilmek için rüzgâr hamlesi-1 ve rüzgâr hamlesi-2 olmak üzere iki değişken hesaplanmıştır.

Rüzgâr hamlesi-1, deneme yangınlarının başlangıcından son zaman alımına kadar yapılan rüzgâr okumalarındaki en yüksek rüzgâr hızının, ortalama rüzgâr hızına oranını ifade eder.

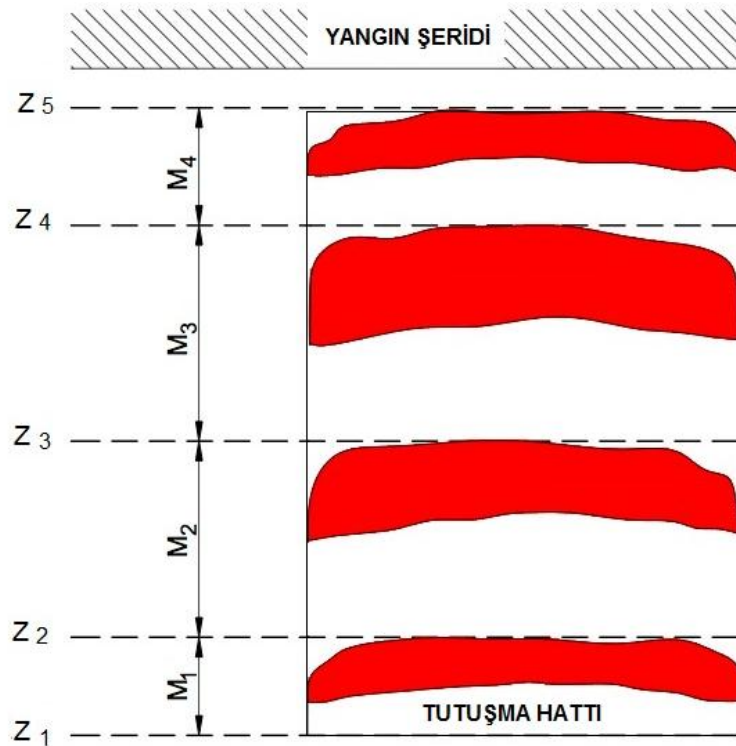
Rüzgâr hamlesi-2 ise, en yüksek rüzgâr hızından, en düşük rüzgâr hızı değeri çıkarılarak elde edilen değer, ortalama rüzgâr hızına bölünmesi ile hesaplanır. Rüzgâr hamlesi-2 değişkeni, deneme yangınları boyunca rüzgâr hızında yaşanan iniş ve çıkışların bir göstergesi olarak, analizlerde kullanılmıştır.



Şekil 17. Meteoroloji istasyonunun meşcere ağaç boyuna göre kurulum mesafesi ve standart anemometre yüksekliği (Şekil ölçekli değildir) (Turner ve Lawson 1978'den uyarlanmıştır)

2.2.2.5. Yangın Anında Tutulan Kayıtlar

Deneme parsellerinde yangının yayılması, parsellerin karşılıklı kenarlarına daha önceden dikilen direklere ulaşma zamanları kaydedilerek tespit edilmiştir. Deneme yangını boyunca farklı yayılma oranları tespit edildiğinde ara okumalar ve mesafe ölçümü yapılarak ağırlıklı yangın yayılma oranı belirlenmiştir (Şekil 18).



Şekil 18. Farklı yayılma oranlarında alınan ara okumalar ve mesafe ölçümlerinin şematik gösterimi. (Z: zaman, M: mesafe)

Deneme yangınlarında, meşcerelerin boylu oluşu her iki kenar boyunca yangının eş zamanlı ilerleyişinin izlenmesini zorlaştırmıştır. Bu nedenle, yangın anında tutulan kayıtlar ve parsellerin her iki tarafından alınan kamera görüntüleri birlikte değerlendirilerek yangının parsel boyunca hat şeklini koruyup korumadığı incelenmiş ve hat yangınının bozulduğu ve parsel kenarına doğru yayılmanın görüldüğü yangınlar değerlendirmeye alınmamıştır. Bunun için, yangının direklere ulaşma zamanı eş zamanlı olarak tutulan iki süre ölçer değerinin ortalaması olarak alınmıştır. Ayrıca, karşılıklı kenarlara yerleştirilen iki adet kamera ile deneme yangınları kaydedilmiş (Şekil 19) ve çalışma ekibindeki her çalışmada bulunan el telsizleri yardımıyla, yangının başlama ve bitiş zamanları kamera çekimlerine kaydedilmiştir. Elde edilen bu görüntüler, daha sonra ayrıntılı olarak incelenmiş ve verilerin değerlendirilmesinde kullanılmıştır.



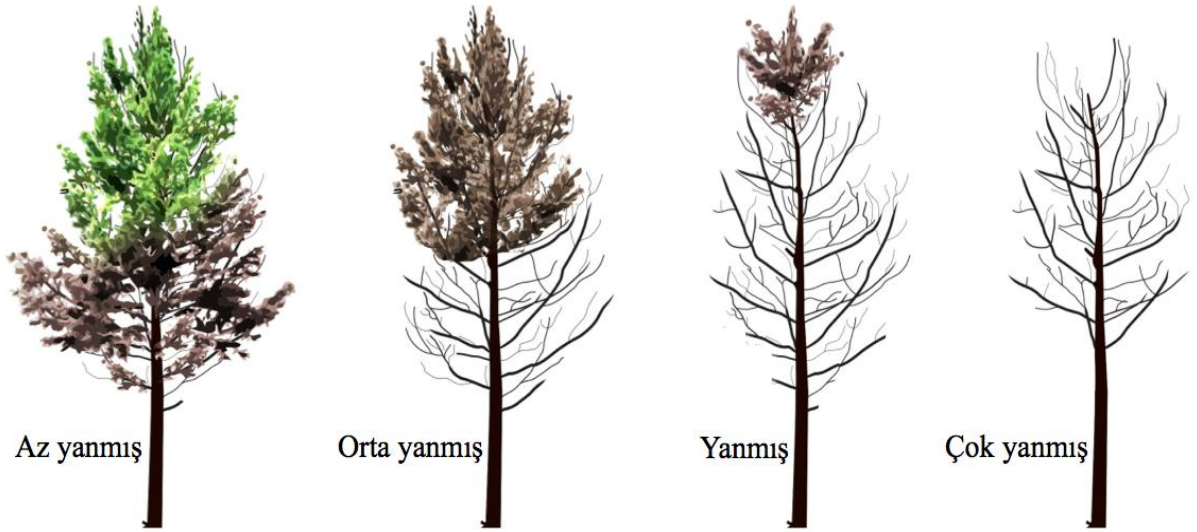
Şekil 19. Deneme yangınlarının (a) meşçere içinden (b) yüksek bir noktadan kamera kayıtlarının alınması anından bir görünüm

2.2.3. Deneme Yangınları Sonrasında Yapılan Ölçümler

Deneme yangınları tamamlandıktan sonra, yangının sabit yayılma hızına ulaştığı andaki parsel boyu ve ara okumaların alındığı mesafeler ölçülerek, parselin ortalama yayılma oranı belirlenmiştir. Parsel boyu olarak ilk okuma ile son okuma arasındaki yangının yayılmasının gözlemlendiği mesafe kullanılmıştır. Deneme yangınlarından bir ya da iki gün sonra alana gidilerek, yangın anında tüketilen yanıcı madde miktarının belirlenmesi için gerekli ölçümler yapılmıştır. Bu çalışma kapsamında deneme yangınlarında tüketilen yanıcı madde miktarının belirlenmesi aşağıda detaylı olarak izah edilmiştir.

2.2.3.1. Yanıcı Madde Tüketiminin Belirlenmesi





Deneme yangınları öncesinde ve sonrasında belirlenen yanıcı madde miktarı arasındaki fark, yangınlar sırasında tüketilen yanıcı madde miktarını diğer bir ifade ile yanıcı madde tüketimini verir. Deneme yangınlardan bir veya iki gün sonra, gerçekleşen yanma koşullarında tüketilen yanıcı madde miktarının tespit edilmesi için, ölü örtü ve ağaçlarda ölçümler yapılmıştır. Bu ölçümlerden önce, bireysel olarak tek bir ağacın yanma derecesine bağlı olarak, ibre ve dal kısımlarının hangi oranlarda yandığını tespit etmek amacıyla, *az yanmış*, *orta yanmış*, *yanmış* ve *çok yanmış* olmak üzere dört sınıf belirlenmiştir. (Şekil 20).



Şekil 20. Ağaçların yanma derecesine bağlı olarak sınıflandırılması

Belirlenen yanma derecelerine ilişkin toplam ibre, ince, orta kalın ve çok kalın dal miktarlarının yangın anında tüketilen % değerleri ve bu ağaçların genel fiziksel özellikleri belirlenmiştir (Tablo 3). Bunun için farklı çap ve boy kademelerinde 20 adet yanmış ağaç seçilmiş ve bu ağaçların göğüs yükseklikleri çapları ölçülmüştür. Göğüs yüksekliği çapının tercih edilme nedeni, yanıcı madde bileşenlerinin miktarlarının belirlenmesinde kullanılan tüm regresyon eşitliklerinde en yüksek ilişkiyi vermesi ve yanmadan dolayı herhangi bir ölçüm kaybının olmamasıdır. Geliştirilen regresyon modellerinden yararlanılarak, ağaçların yanmadan önceki yanıcı madde miktarı hesaplanmıştır. Kesilen ağaçların ibre ve dal çap kademelerine ayrılarak arazide hassas terazi ile tartılmıştır. İbre ve dal kısımlarından örnekler alınıp fırın kurusu ağırlıkları belirlenmek üzere laboratuvara götürülmüştür. Böylece, her bir ağacın yangın sonrasındaki fırın kurusu yanıcı madde miktarı belirlenmiş ve yangın öncesindeki ve sonrasında oluşan fark, tüketilen yanıcı madde miktarını vermiştir.

Tablo 3. Genç kızılçam meşcerelerinde, farklı yanma derecesine bağlı olarak yangın anında tüketilen ibre, ince, orta kalın ve çok kalın dal miktarları oranları ve ağaçların genel fiziksel özellikleri.

Genel görünüm	Ağaç yanma derecesi	Tüketilen yanıcı madde miktarı		Ağaçtaki fiziksel değişimler	Yangın türü
		Yanan kısım	Yanma oranı (%)		
	Az yanmış	İbre	5-10	Ağaçtaki ibre ve dallar yanmamıştır. İbreler kavrulmuş ve kahverengi bir renge dönüşmüştür.	Örtü
		İnce	10-15		
		Orta	7		
		Kalın	2		
		İri	-		
	Orta yanmış	İbre	45-50	Ağaç tepe boyunun yarısına yakın kısımdaki ibre ve ince dallar yanmıştır. Geriye kalan ve tepeye yakın olan kısım ise kavrulmuş ve renk değişikliğine uğramıştır.	Şiddetli örtü Pasif tepe
		İnce	30		
		Orta	15		
		Kalın	5		
		İri	-		
	Yanmış	İbre	80-95	Ağaçtaki ibrelerin tamamına yakın bir kısmı yanmıştır. Bazen ağaç tepesinde bir miktar ibre yanmadan kalabilir. Ağaçtaki toplam ince dalların yarısı yakın kısmı yanmıştır. Yanma özellikle tepe boyunun orta kısımlarında ve tepe altına yakın bölgelerde şiddetli olmuştur.	Pasif tepe Aktif tepe
		İnce	50		
		Orta	30		
		Kalın	15		
		İri	5		
	Çok yanmış	İbre	95-100	Ağaçtaki ibrelerin tamamı, toplam ince dalların ise yarısından fazlası yanmıştır. Şiddetli yanma sonrasında, ağacın tepe tacına yakın kısmındaki ince dallar yanmadan kalmıştır. Yanma derinliği oldukça fazladır.	Aktif tepe
		İnce	70		
		Orta	50		
		Kalın	30		
		İri	20		



Şekil 21. Çalışma alanından (a) yangın sonrası genel bir görünüm, (b) şiddetli tepe yangını görmüş parselden görünüm

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Yanıcı maddelerin çok çeşitli olması ve benzer koşullarda farklı yangın davranışı göstermesi yangın davranışındaki değişimler üzerinde etkili olan faktörlerin anlaşılmasını zorlaştırdığından çalışma alanı olarak özellikle homojen yapıya sahip bir ağaçlandırma alanı belirlenmiştir. Bu amaçla 18 yaşında kızılçam ağaçlandırma alanlarında gerçekleştirilen 76 deneme yangını, yanıcı madde ve yangın davranışı özellikleri bakımından analiz edilmiştir. Genç kızılçam ağaçlandırma alanlarında gerçekleştirilen deneme yangınlarına ilişkin bulgular altı başlık altında ele alınmıştır. Bunlar sırasıyla; (1) deneme yangınları öncesinde deneme yangını parsellerinde gerçekleştirilen yanıcı madde özelliklerine ilişkin bulgular, (2) yangın davranışına ilişkin bulgular, (4) tepe yangını oluşumunun lojistik regresyon analizi ile tahmin edilmesi ve (5) bazı yangın modellerinin gerçekleştirilen deneme yangınları ile test edilmesi ve son olarak, (6) deneme yangınları esnasında nokta yangınlarından gelişerek büyüyen ve kaçan yangınlar tüm detayları ile ele alınarak, arazide elde edilen tecrübe ve deneyimler paylaşılmaya çalışılmıştır.

3.1. Yanıcı Madde Özelliklerine İlişkin Bulgular

Aynı yaşlı ve benzer yapıdaki genç kızılçam meşcerelerinden seçilen deneme yangını parselleri (Tablo 4), aralama görmüş ve aralama görmemiş olarak sınıflandırılarak her bir parselin ağaç ve meşcere özellikleri deneme yangınlarından birkaç gün öncesinde ölçülerek detaylı olarak belirlenmiştir (Tablo 5, 6 ve 7).

Tablo 4. Deneme yangınlarının gerçekleştirileceği üç farklı çalışma alanına ilişkin bazı meşcere özelliklerinin karşılaştırılması

Meşcere özellikleri	Çalışma Alanları								
	Barağı			Suluca			Meriç		
	Mak	Min	\bar{X}	Mak	Min	\bar{X}	Mak	Min	\bar{X}
Ağaç boyu (m)	8	10	9	5	10	7	5	8	6
Göğüs çapı (cm)	12	15	13	11	19	15	11	17	14
Kapalılık (%)	70	90	85	60	96	77	60	97	81
Göğüs yüzeyi (m ²)	17	31	21	11	34	22	7	29	16
^a TAY (m)	1.5	3.0	2.5	1.0	3.0	1.8	0.5	1.9	1.0

^a: TAY: Tepe altı yüksekliği

Not: \bar{X} = Ortalama, Min: En küçük değer, Mak: En büyük değer

Aralama görmüş ve görmemiş parseller, ağaç özellikleri bakımından (ağaç boyu, göğüs yüzeyi çapı vb.) belirgin farklar göstermemesine karşın, meşcere özellikleri (kapalılık, sıklık, tepe altı yüksekliği vb.) açısından önemli farklar göstermiştir. Aralamadan sonra meşcere kapalılığı kırılmış olan parseller, aralama görmemiş parsellere göre çoğunlukla daha düşük meşcere kapalılığına sahip oldukları görülmüştür. Meşcerelerdeki diri örtü varlığı dikkate alındığında, aralama görmüş parsellerdeki diri örtü miktarının daha yüksek olduğu görülmüştür.

Deneme yangınlarının gerçekleştirildiği 76 adet deneme yangını parselinde ortalama ağaç boyu 7 m, göğüs yüksekliği çapı 14,2 cm, tepe altı yüksekliği 1,6 m ve hektardaki ağaç sayısı 520 ile 2105 arasında değişmiştir. Parsellerdeki meşcere kapalılığı %60-97 arasındadır. Deneme yangını parsellerinin sadece 34'ünde diri örtüye rastlanmıştır. Bu parsellerdeki diri örtü kaplama oranı %5 ile %35 arasında değişiklik göstermiştir. Üç farklı alandan seçilen deneme yangını parselleri, bazı meşcere özellikleri bakımından birbirlerinden farklılık göstermektedir (Tablo 4). Buna göre, Meriç çalışma alanında yer alan deneme yangını parsellerinin ağaç boyu bakımından diğer alanlardan daha kısa olduğu ve tepe altı yüksekliğinin düşük olduğu görülmektedir. Barağı ve Suluca'da yer alan deneme yangını parselleri meşcere özellikleri bakımından birbirine oldukça yakın değerlerden oluşmaktadır.

Aralama görmemiş 32 deneme yangını parselinde ortalama ağaç boyu 7 m, göğüs yüksekliği çapı 14,2 cm, tepe altı yüksekliği 1,5 metredir. Parsellerin hektardaki ağaç sayısı 566 ile 2105 arasında değişiklik göstermiştir. Hektardaki ortalama ağaç sayısı ise 1383'dür. Aralama görmemiş parsellerdeki meşcere kapalılığı %60-97 arasında değişmektedir. Parsellerin ortalama meşcere kapalılığı %83'tür ve parsellerin 9'unda diri örtüye rastlanmıştır. Bu parsellerdeki ortalama diri örtü kaplama oranı %16'dır.

Aralama görmüş parsellerdeki yancı madde özellikleri aralamadan sonraki birinci ve ikinci yılın sonunda deneme yangınları öncesinde belirlenmiştir. Aralamadan bir yıl sonra yakılan 23 deneme yangını parselinde ortalama ağaç boyu 7,8 m olup, 5 ile 10,3 m arasında değişiklik göstermiştir. Parsellerdeki göğüs yüksekliği çapı 13,3 cm, tepe altı yüksekliği 1,9 m, hektardaki ortalama ağaç sayısı 1236'dır. Ortalama meşcere kapalılığı %84 olan bu parsellerin kapalılığı %70-91 arasında değişmektedir. Parsellerin sadece 17'sinde diri örtüye rastlanmış ve bu parsellerdeki ortalama diri örtü kaplama oranı %5'tir.

Tablo 5. Aralama görmemiş deneme yangını parsellerine ait ağaç ve meşcere özellikleri

Parsel	Ağaç özellikleri						Meşcere özellikleri						
	Ağaç boyu (m)			Göğüs çapı (cm)			^a TAY (m)	^b TAB (m)	Tepe oranı	Sıklık (no/ha)	Göğüs yüzeyi (m ² /ha)	Kapalılık (%)	Diri örtü (%)
	\bar{X}	\pm	SD	\bar{X}	\pm	SD							
Slc 1	7,3	\pm	0,7	13,9	\pm	2,6	2,0	1,88	0,72	1625	25,53	75	-
Slc 2	7,7	\pm	1,3	14,9	\pm	2,4	2,0	1,88	0,74	1587	28,38	75	-
Slc 3	7,4	\pm	0,9	13,6	\pm	1,4	3,0	2,87	0,59	1484	21,70	85	-
Slc 4	6,7	\pm	1,2	12,6	\pm	2,3	2,7	2,54	0,60	1854	23,80	85	-
Slc 5	6,6	\pm	0,6	14,3	\pm	2,5	2,0	1,90	0,70	1410	23,27	70	-
Slc 6	8,2	\pm	1,2	15,4	\pm	0,8	2,7	2,56	0,67	1790	33,55	80	-
Slc 8	6,9	\pm	0,7	13,8	\pm	1,7	2,0	1,82	0,71	2083	31,67	85	-
Slc 9	7,4	\pm	1,0	14,0	\pm	2,3	1,2	1,06	0,84	1591	25,13	85	-
Slc 10	7,6	\pm	1,1	14,6	\pm	2,3	2,5	2,35	0,67	1591	27,30	95	-
Slc 11	8,0	\pm	1,0	14,7	\pm	1,8	2,0	1,82	0,75	1975	33,87	90	-
Slc 12	8,1	\pm	1,1	14,3	\pm	1,8	3,0	2,81	0,63	2105	34,17	90	-
Slc 14	8,0	\pm	1,2	13,1	\pm	2,0	2,3	2,13	0,71	2072	28,68	80	-
Slc 16	7,5	\pm	1,1	13,6	\pm	2,1	1,5	1,35	0,80	1818	26,85	85	-
Slc 22	8,0	\pm	1,0	14,7	\pm	1,8	2,0	1,82	0,75	1975	33,87	90	-
Slc 23	7,5	\pm	0,6	15,6	\pm	2,0	1,0	0,87	0,87	1329	25,74	96	-
Mrc 13	5,8	\pm	0,9	12,8	\pm	2,8	0,8	0,75	0,86	992	13,26	83	-
Mrc 14	6,7	\pm	0,5	14,3	\pm	2,7	1,0	0,92	0,85	842	13,98	90	-
Mrc 17	5,7	\pm	0,7	13,5	\pm	1,9	0,7	0,61	0,88	1002	14,63	85	-
Mrc 20	5,8	\pm	0,7	13,5	\pm	2,8	0,7	0,59	0,88	1325	19,76	83	15
Mrc 21	5,6	\pm	0,7	12,6	\pm	2,7	0,5	0,36	0,91	1532	19,96	90	20
Mrc 22	6,2	\pm	0,7	14,2	\pm	1,8	0,7	0,62	0,89	854	13,70	90	-
Mrc 23	6,0	\pm	0,8	13,1	\pm	2,7	0,8	0,77	0,86	1020	13,80	74	-
Mrc 24	5,8	\pm	0,8	12,9	\pm	2,7	0,7	0,66	0,87	1052	13,68	68	-
Mrc 25	7,3	\pm	0,8	13,2	\pm	3,0	1,0	0,94	0,87	1254	17,74	95	-
Mrc 26	7,6	\pm	0,6	13,5	\pm	1,8	0,7	0,62	0,91	1136	16,59	95	-
Mrc 32	6,2	\pm	1,0	15,1	\pm	1,4	1,1	1,00	0,82	622	11,20	63	17
Mrc 33	6,3	\pm	1,0	15,8	\pm	2,0	1,5	1,43	0,77	567	11,21	60	20
Mrc 34	6,9	\pm	0,9	15,9	\pm	2,0	1,4	1,30	0,80	1143	22,90	76	14
Mrc 35	6,2	\pm	0,6	14,1	\pm	2,8	0,9	0,88	0,85	1064	16,73	74	10
Mrc 36	7,2	\pm	0,8	16,7	\pm	1,7	1,1	0,87	0,84	1083	23,90	78	10
Mrc 37	8,1	\pm	0,8	15,4	\pm	2,0	1,9	1,90	0,76	1500	28,50	97	-
Mrc 38	7,0	\pm	1,2	16,2	\pm	2,9	1,2	0,97	0,84	1000	21,08	75	17
Tüm parseller													
\bar{X}	6,9			14,2			1,5	1,40	0,79	1384	22,38	82,5	15,9
SD	0,8			1,1			0,8	0,73	0,09	434	7,17	9,7	9,5

^a: TAY: Tepe altı yüksekliğidir. Ağaç tepesinin en alttaki canlı dalların yerden ortalama yüksekliğidir.

^b: TAB: Tepe altı boşluğudur. Ağaç tepesinin en alttaki canlı dalların, ölü örtü derinliğinden veya varsa diri örtü boyundan farkıdır. Not: \bar{X} = Ortalama, SD= Standart sapma

Aralamadan iki yıl sonra yakılan 21 adet deneme yangını parselinde ağaç boyu 5,3 ile 9,5 m arasında değişiklik göstermektedir. Parsellerin göğüs yüksekliği çapı 15 cm, tepe altı yüksekliği 1,6 metre olup hektardaki ağaç sayısı 701-1275 arasında değişir. Parsellerde %60-88 arasında değişen meşcere kapalılığı, ortalama %72 civarındadır. Aralamadan iki yıl sonra yakılan 21 deneme yangını parsellinden 18'inde diri örtüye rastlanmıştır ve ortalama diri örtü kaplama oranı %11'dir (Tablo 8).

Tablo 6. Aralama görmüş (1 yıl sonra yakılan) parsellere ait ağaç ve meşcere özellikleri

Parsel	Ağaç özellikleri					Meşcere özellikleri							
	Ağaç boyu (m)			Göğüs çapı (cm)		Tepe oranı	Sıklık (no/ha)	Göğüs yüzeyi (m ² /ha)	Kapalılık (%)	Diri örtü (%)			
	\bar{X}	±	SD	\bar{X}	±						SD	^a TAY (m)	^b TAB (m)
Brg 1	8,9	±	0,7	13,4	±	2,8	2,3	2,01	0,74	1877	27,39	90	-
Brg 2	9,7	±	0,8	14,2	±	2,4	3,0	2,70	0,69	1140	18,46	85	5
Brg 3	10	±	0,4	13,6	±	1,9	2,3	1,90	0,78	1622	23,95	90	5
Brg 4	7,9	±	0,4	12,6	±	1,3	1,5	1,17	0,81	1515	19,06	85	5
Brg 5	7,9	±	1,7	12,8	±	2,5	2,3	1,94	0,72	1246	16,52	90	-
Brg 7	8,4	±	0,4	13,8	±	1,5	2,5	2,21	0,70	1315	19,86	70	-
Brg 9	8,5	±	1,2	13,6	±	2,9	2,5	2,18	0,71	1386	20,85	85	5
Brg 10	8,9	±	1,0	13,2	±	1,3	3,0	2,68	0,66	1397	19,26	85	5
Brg 11	9,0	±	0,4	13,6	±	0,9	3,0	2,68	0,67	1408	20,52	85	10
Brg 12	8,5	±	1,1	12,6	±	0,9	2,8	2,42	0,68	1582	20,16	85	5
Brg 13	9,9	±	0,5	12,8	±	1,8	2,5	2,17	0,75	1463	19,12	90	5
Brg 14	10,	±	0,3	14,6	±	1,5	2,0	1,63	0,81	1850	31,24	90	15
Brg 15	9,3	±	1,6	12,2	±	2,2	3,0	2,68	0,68	1476	17,69	80	5
Brg 16	8,1	±	0,7	13,8	±	1,8	2,7	2,37	0,67	1504	22,79	85	5
Mrc 5	7,7	±	1,0	16,1	±	3,4	0,9	0,67	0,88	556	11,65	91	-
Mrc 6	5,8	±	0,9	12,8	±	3,0	0,8	0,65	0,86	520	6,99	75	-
Mrc 7	5,6	±	0,8	11,3	±	2,1	0,6	0,32	0,90	979	10,16	85	15
Mrc 8	5,6	±	0,6	11,7	±	2,3	0,6	0,36	0,89	1059	11,64	85	-
Mrc 9	5,6	±	0,7	12,2	±	0,7	0,7	0,45	0,88	836	9,75	83	-
Mrc 10	4,9	±	0,9	11,2	±	1,4	0,6	0,40	0,88	785	7,84	70	-
Mrc 27	5,8	±	0,4	13,9	±	1,2	1,2	0,94	0,79	750	11,43	75	15
Mrc 29	6,8	±	0,4	14,8	±	2,1	1,8	1,77	0,74	1000	17,56	85	-
Mrc 30	6,9	±	0,3	17,0	±	1,6	1,2	1,19	0,82	1167	26,55	83	15
Tüm parseller													
\bar{X}	7,8			13,4			1,9	1,63	0,76	1236	17,85	84	6
SD	1,6			1,4			0,9	0,85	0,08	378	6,40	6	5

^aTAY: Tepe altı yüksekliğidir. Ağaç tepesinin en alttaki canlı dalların yerden ortalama yüksekliğidir

^bTAB: Tepe altı boşluğudur. Ağaç tepesinin en alttaki canlı dalların, ölü örtü derinliğinden veya varsa diri örtü boyundan farkıdır.

Not: \bar{X} = Ortalama, SD= Standart sapma

Tablo 7. Aralama görmüş (2 yıl sonra yakılan) parsellere ait ağaç ve meşcere özellikleri

Parsel	Ağaç özellikleri					Meşcere özellikleri							
	Ağaç boyu (m)			Göğüs çapı (cm)		Tepe oranı	Sıklık (no/ha)	Göğüs yüzeyi (m ² /ha)	Kapalılık (%)	Diri örtü (%)			
	\bar{X}	±	SD	\bar{X}	±						SD	^a TAY (m)	^b TAB (m)
Slc 24	9,6	±	1,2	17,1	±	2,4	2,5	2,16	0,74	1223	28,72	85	30
Slc 25	6,7	±	0,7	15,2	±	1,6	1,5	1,21	0,78	992	18,09	70	10
Slc 26	6,0	±	0,6	13,9	±	2,9	1,5	1,18	0,75	1106	17,33	70	20
Slc 27	6,6	±	0,4	16,6	±	1,7	2,0	1,72	0,70	1122	24,58	75	20
Slc 28	7,8	±	1,1	14,1	±	2,5	1,3	0,99	0,84	737	11,86	75	-
Slc 29	6,1	±	0,6	14,6	±	1,2	1,0	0,72	0,84	1121	18,99	70	5
Slc 30	6,5	±	0,3	13,8	±	2,9	1,5	1,22	0,77	952	14,68	60	-
Slc 31	6,2	±	0,6	13,9	±	1,9	1,5	1,21	0,76	1105	16,98	80	-
Slc 32	7,1	±	0,9	14,5	±	2,2	1,7	1,44	0,76	820	13,88	70	20
Slc 34	6,6	±	0,9	14,9	±	1,6	1,5	1,35	0,77	758	12,77	60	10
Slc 38	5,3	±	0,8	11,1	±	0,8	1,3	1,01	0,76	1143	11,07	75	-
Slc 39	6,4	±	0,8	14,2	±	1,6	1,0	0,72	0,84	1111	17,82	75	15

Tablo 7'nin devamı

Parsel	Ağaç özellikleri						Meşcere özellikleri						
	Ağaç boyu (m)			Göğüs çapı (cm)			Tepe oranı	Sıklık (no/ha)	Göğüs yüzeyi (m ² /ha)	Kapalılık (%)	Diri örtü (%)		
	\bar{X}	±	SD	\bar{X}	±	SD							
Slc 40	7,7	±	0,5	17,0	±	2,4	2,5	2,19	0,68	1275	29,51	80	-
Slc 42	5,9	±	0,5	12,7	±	1,9	1,8	1,54	0,70	894	10,73	65	-
Slc 43	7,6	±	0,7	14,5	±	1,2	1,3	1,12	0,83	1000	16,59	88	20
Slc 44	7,5	±	0,5	15,9	±	2,1	2,2	2,02	0,71	924	18,61	77	15
Slc 45	7,0	±	1,0	15,0	±	2,8	1,0	0,83	0,86	911	16,48	80	-
Slc 48	6,0	±	0,4	13,8	±	0,9	1,3	1,11	0,79	714	10,65	60	-
Slc 49	7,2	±	0,3	17,5	±	2,7	1,3	1,11	0,82	741	18,06	70	20
Slc 50	6,8	±	0,9	18,8	±	2,4	1,7	1,52	0,75	701	19,63	60	10
Slc 51	6,8	±	0,7	18,8	±	2,3	1,7	1,42	0,75	971	27,17	80	10
Tüm parseller													
\bar{X}	6,8			15,1			1,5	1,32	0,77	968	17,8	72	11
SD	0,9			1,9			0,4	0,42	0,05	175	5,6	8	9

^aTAY: Tepe altı yüksekliğidir. Ağaç tepesinin en alttaki canlı dalların yerden ortalama yüksekliğidir

^bTAB: Tepe altı boşluğudur. Ağaç tepesinin en alttaki canlı dalların, ölü örtü derinliğinden veya varsa diri örtü boyundan farkıdır.

Not: \bar{X} = Ortalama, SD= Standart sapma

Tablo 8. Deneme yangını parsellerine ait ölü örtü özellikleri

Parsel	MD ^c	Ölü örtü yanıcı madde miktarı (kg/m ²)											
		İbre		Dalların çap kademelerine dağılımı ^b (cm)								Kabuk	Toplam
		\bar{X}	% ^a	<0.6	0.6-1.0	1.0-2.5	2.5>	\bar{X}	\bar{X}	\bar{X}			
Slc 1	-	1,106	62	0,260	15	0,192	11	0,079	4	0,029	0,126	1,791	
Slc 2	-	1,386	62	0,357	16	0,155	7	0,215	10	0,044	0,075	2,232	
Slc 3	-	1,238	54	0,320	14	0,158	7	0,233	10	0,121	0,204	2,275	
Slc 4	-	0,981	54	0,154	9	0,148	8	0,383	21	0,023	0,114	1,802	
Slc 5	-	1,211	70	0,317	18	0,095	5	0,046	3	0,050	0,009	1,728	
Slc 6	-	1,476	58	0,374	15	0,195	8	0,222	9	0,074	0,195	2,535	
Slc 8	-	1,028	63	0,302	19	0,134	8	0,017	1	-	0,140	1,621	
Slc 9	-	1,358	72	0,154	8	0,106	6	0,062	3	0,066	0,144	1,890	
Slc 10	-	1,250	67	0,260	14	0,120	7	0,070	4	0,075	0,077	1,852	
Slc 11	-	1,289	74	0,146	8	0,121	7	0,071	4	-	0,108	1,736	
Slc 12	-	1,432	71	0,199	10	0,077	4	0,037	2	0,040	0,223	2,007	
Slc 14	-	1,715	80	0,175	8	0,052	2	0,030	1	0,032	0,151	2,156	
Slc 16	-	2,015	80	0,201	8	0,119	5	0,085	3	0,049	0,054	2,523	
Slc 22	-	1,367	67	0,210	10	0,194	10	0,113	6	0,045	0,108	2,036	
Slc 23	-	0,623	36	0,325	19	0,114	7	0,447	26	0,051	0,164	1,724	
Mrc 13	-	0,481	82	0,102	18	-	-	-	-	-	-	0,584	
Mrc 14	-	0,630	80	0,161	20	-	-	-	-	-	-	0,790	
Mrc 17	-	0,848	77	0,247	23	-	-	-	-	-	-	1,094	
Mrc 20	-	0,797	78	0,227	22	-	-	-	-	-	-	1,023	
Mrc 21	-	0,647	79	0,168	21	-	-	-	-	-	-	0,815	
Mrc 22	-	0,908	77	0,270	23	-	-	-	-	-	-	1,178	
Mrc 23	-	0,586	80	0,143	20	-	-	-	-	-	-	0,729	
Mrc 24	-	0,742	78	0,205	22	-	-	-	-	-	-	0,947	
Mrc 25	-	0,895	77	0,265	23	-	-	-	-	-	-	1,161	
Mrc 26	-	0,848	77	0,247	23	-	-	-	-	-	-	1,094	
Mrc 32	-	0,313	53	0,114	19	0,034	6	0,032	5	0,050	0,050	0,594	
Mrc 33	-	0,141	70	0,053	26	0,008	4	0,000	0	-	-	0,202	
Mrc 34	-	0,334	65	0,097	19	0,029	6	0,036	7	0,010	0,010	0,516	
Mrc 35	-	0,112	92	0,004	3	-	-	-	-	-	0,006	0,122	

Tablo 8'in devamı

Parsel	MD ^c	Ölü örtü yanıcı madde miktarı (kg/m ²)											
		İbre		Dalların çap kademelerine dağılımı ^b (cm)								Kabuk	Toplam
		\bar{X}	% ^a	<0.6	0.6-1.0	1.0-2.5	2.5>	\bar{X}	% ^a	\bar{X}	% ^a		
Mrc 36	-	0,587	73	0,109	14	0,034	4	0,066	8	-	0,002	0,799	
Mrc 37	-	0,415	58	0,189	27	0,039	6	0,067	9	-	-	0,710	
Mrc 38	-	0,465	64	0,118	16	0,064	9	0,080	11	0,000	0,003	0,729	
Brg 1	1	1,154	38	0,874	29	0,573	19	0,325	11	-	0,108	3,034	
Brg 2	1	1,430	32	1,510	34	0,639	14	0,493	11	-	0,373	4,446	
Brg 3	1	1,940	54	1,011	28	0,366	10	0,193	5	-	0,082	3,592	
Brg 4	1	0,835	30	0,957	34	0,398	14	0,516	19	-	0,078	2,785	
Brg 5	1	1,583	53	0,853	28	0,291	10	0,135	4	-	0,151	3,013	
Brg 7	1	0,773	27	1,065	38	0,369	13	0,503	18	-	0,117	2,827	
Brg 9	1	0,974	24	1,387	34	0,732	18	0,890	22	-	0,050	4,034	
Brg 10	1	1,289	47	0,825	30	0,279	10	0,210	8	-	0,153	2,755	
Brg 11	1	1,580	31	2,693	54	0,321	6	0,371	7	-	0,060	5,024	
Brg 12	1	0,673	54	0,350	28	0,139	11	0,000	0	-	0,081	1,243	
Brg 13	1	2,057	40	1,511	29	0,719	14	0,782	15	-	0,070	5,139	
Brg 14	1	1,027	41	0,591	23	0,407	16	0,482	19	-	0,012	2,518	
Brg 15	1	1,638	75	0,407	19	0,104	5	0,000	0	-	0,030	2,180	
Brg 16	1	1,309	31	1,265	30	0,445	11	0,523	13	0,535	0,090	4,167	
Mrc 5	1	1,376	62	0,522	23	0,150	7	0,088	4	0,094	-	2,230	
Mrc 6	1	0,622	63	0,194	20	0,080	8	0,047	5	0,050	-	0,994	
Mrc 7	1	0,483	68	0,124	17	0,047	7	0,027	4	0,029	-	0,710	
Mrc 8	1	0,681	51	0,262	20	0,181	13	0,105	8	0,113	-	1,341	
Mrc 9	1	0,592	66	0,174	19	0,062	7	0,036	4	0,039	-	0,903	
Mrc 10	1	0,337	74	0,058	13	0,028	6	0,017	4	0,018	-	0,457	
Mrc 27	1	0,096	35	0,083	30	0,021	8	0,034	12	0,030	0,009	0,272	
Mrc 29	1	0,304	87	0,033	10	0,011	3	0,000	0	-	-	0,348	
Mrc 30	1	0,335	97	0,012	3	0,000	0	0,000	0	-	-	0,347	
Slc 24	2	0,660	33	0,361	18	0,200	10	0,647	32	-	0,136	2,004	
Slc 25	2	0,451	24	0,682	36	0,188	10	0,525	27	-	0,066	1,912	
Slc 26	2	0,552	26	0,603	28	0,199	9	0,532	25	-	0,268	2,154	
Slc 27	2	0,548	26	0,595	28	0,195	9	0,528	25	-	0,272	2,138	
Slc 28	2	0,544	26	0,587	28	0,191	9	0,524	25	-	0,266	2,112	
Slc 29	2	0,476	20	0,578	24	0,296	12	0,643	27	0,353	0,073	2,420	
Slc 30	2	0,472	20	0,570	24	0,292	12	0,639	27	0,349	0,069	2,392	
Slc 31	2	0,468	20	0,562	24	0,288	12	0,635	27	0,345	0,065	2,364	
Slc 32	2	0,488	22	0,652	30	0,223	10	0,562	26	0,114	0,134	2,174	
Slc 34	2	0,491	22	0,762	35	0,228	10	0,565	26	0,040	0,106	2,192	
Slc 38	2	0,385	29	0,241	18	0,050	4	0,269	20	0,249	0,119	1,312	
Slc 39	2	0,350	22	0,369	23	0,324	20	0,258	16	0,285	0,000	1,586	
Slc 40	2	0,653	34	0,364	19	0,113	6	0,549	28	0,068	0,181	1,926	
Slc 42	2	0,497	29	0,436	25	0,145	8	0,452	26	0,083	0,122	1,736	
Slc 43	2	0,706	31	0,384	17	0,156	7	0,781	35	-	0,224	2,251	
Slc 44	2	0,504	29	0,375	22	0,118	7	0,494	28	0,111	0,138	1,740	
Slc 45	2	0,509	25	0,504	25	0,208	10	0,392	19	0,274	0,144	2,032	
Slc 48	2	0,490	21	0,708	30	0,116	5	0,901	38	0,080	0,058	2,353	
Slc 49	2	0,576	38	0,323	21	0,136	9	0,403	27	0,080	-	1,518	
Slc 50	2	0,533	28	0,515	27	0,126	7	0,652	34	0,080	0,029	1,935	
Slc 51	2	0,553	27	0,555	27	0,146	7	0,672	32	0,100	0,049	2,075	
Tüm parseller													
\bar{X}		0,719	45	0,541	24	0,210	9	0,354	16	0,138	0,101	1,936	
SD		0,455	22	0,485	8	0,181	5	0,279	11	0,118	0,086	1,202	

^a Toplam ölü örtü miktarı üzerinden yüzde değerini gösterir.

^b Odunsu materyallerin çap sınıfları şu aralıklarda değerlendirilmiştir: <0.59, 0.60–0.99, 1.00–2.49 ve 2.50 > cm.

^c MD: Aralamadan sonra geçen yıl. Değer bulunmayan parseller aralama görmemiştir.

^d Örnek büyüklüğü 50X50 cm olan 5 adet örneğin aritmetik ortalamasıdır.

Not: \bar{X} = aritmetik ortalama, σ = SD=standart sapma

Tablo 9. Deneme yangınları öncesinde, parsellere ait, ölü örtü derinliği, toplam ölü örtü ve humus yanıcı madde miktarı ve yoğunluğuna ilişkin değerler

Parsel	MD ^c	Ölü örtü derinliği (m)	Toplam örtü yanıcı madde miktarı (kg/m ²)		Yanıcı madde yoğunluğu (kg/m ³)	
			ölü örtü	humus	ölü örtü	humus
Slc 1	-	0,122	1,791	0,461	14,699	3,785
Slc 2	-	0,119	2,232	0,519	18,751	4,360
Slc 3	-	0,126	2,275	0,476	18,032	3,776
Slc 4	-	0,158	1,802	0,397	11,439	2,519
Slc 5	-	0,099	1,728	0,378	17,508	3,826
Slc 6	-	0,143	2,535	0,580	17,703	4,052
Slc 8	-	0,177	1,621	0,414	9,153	2,336
Slc 9	-	0,135	1,890	0,476	13,980	3,523
Slc 10	-	0,151	1,852	0,505	12,253	3,344
Slc 11	-	0,178	1,736	0,550	9,762	3,092
Slc 12	-	0,189	2,007	0,566	10,594	2,985
Slc 14	-	0,166	2,156	0,550	13,005	3,316
Slc 16	-	0,155	2,523	0,488	16,326	3,160
Slc 22	-	0,178	2,036	0,550	11,453	3,092
Slc 23	-	0,128	1,724	0,593	13,511	4,645
Mrc 13	-	0,082	0,584	0,269	7,084	3,261
Mrc 14	-	0,076	0,790	0,397	10,383	5,217
Mrc 17	-	0,085	1,094	0,254	12,844	2,983
Mrc 20	-	0,110	1,023	0,288	9,302	2,619
Mrc 21	-	0,138	0,815	0,264	5,908	1,911
Mrc 22	-	0,076	1,178	0,328	15,497	4,315
Mrc 23	-	0,075	0,729	0,306	9,720	4,082
Mrc 24	-	0,071	0,947	0,284	13,338	4,001
Mrc 25	-	0,019	1,161	0,187	61,086	9,844
Mrc 26	-	0,085	1,094	0,254	12,844	2,983
Mrc 32	-	0,123	0,594	0,120	4,825	0,977
Mrc 33	-	0,034	0,202	0,044	5,973	1,306
Mrc 34	-	0,085	0,516	0,117	6,053	1,371
Mrc 35	-	0,027	0,122	0,040	4,569	1,513
Mrc 36	-	0,272	0,799	0,165	2,938	0,608
Mrc 37	-	0,042	0,710	0,221	16,830	5,234
Mrc 38	-	0,190	0,729	0,092	3,835	0,484
Brg 1	1	0,294	3,034	0,663	10,319	2,254
Brg 2	1	0,297	4,446	0,761	14,975	2,562
Brg 3	1	0,346	3,592	0,797	10,383	2,304
Brg 4	1	0,329	2,785	0,541	8,471	1,644
Brg 5	1	0,312	3,013	0,541	9,653	1,732
Brg 7	1	0,292	2,827	0,602	9,680	2,060
Brg 9	1	0,318	4,034	0,614	12,695	1,932
Brg 10	1	0,319	2,755	0,663	8,645	2,079
Brg 11	1	0,320	5,024	0,675	15,716	2,112
Brg 12	1	0,335	1,243	0,614	3,716	1,835
Brg 13	1	0,332	5,139	0,780	15,493	2,352
Brg 14	1	0,367	2,518	0,834	6,869	2,275
Brg 15	1	0,318	2,180	0,712	6,853	2,238
Brg 16	1	0,328	4,167	0,565	12,711	1,724
Mrc 5	1	0,230	2,230	0,140	9,676	0,609
Mrc 6	1	0,189	0,994	0,284	5,257	1,502

Tablo 9'un devamı

Parsel	MD ^c	Ölü örtü derinliği (m)	Toplam örtü yanıcı madde miktarı (kg/m ²)		Yanıcı madde yoğunluğu (kg/m ³)	
			ölü örtü	humus	ölü örtü	humus
Mrc 7	1	0,233	0,710	0,253	3,044	1,086
Mrc 8	1	0,240	1,341	0,255	5,598	1,063
Mrc 9	1	0,219	0,903	0,244	4,115	1,112
Mrc 10	1	0,205	0,457	0,162	2,231	0,789
Mrc 27	1	0,262	0,272	0,030	1,038	0,114
Mrc 29	1	0,033	0,348	0,071	10,431	2,126
Mrc 30	1	0,038	0,347	0,108	9,262	2,875
Slc 24	2	0,344	2,004	0,000	5,826	0,000
Slc 25	2	0,289	1,912	0,681	6,607	2,354
Slc 26	2	0,317	2,154	0,708	6,788	2,232
Slc 27	2	0,284	2,138	0,706	7,525	2,486
Slc 28	2	0,255	2,112	0,712	8,274	2,790
Slc 29	2	0,278	2,420	0,395	8,690	1,419
Slc 30	2	0,277	2,392	0,391	8,630	1,411
Slc 31	2	0,288	2,364	0,387	8,196	1,342
Slc 32	2	0,257	2,174	0,593	8,448	2,304
Slc 34	2	0,145	2,192	0,721	15,070	4,959
Slc 38	2	0,286	1,312	0,503	4,593	1,761
Slc 39	2	0,283	1,586	0,000	5,597	0,000
Slc 40	2	0,312	1,926	0,510	6,170	1,632
Slc 42	2	0,258	1,736	0,436	6,725	1,690
Slc 43	2	0,185	2,251	0,287	12,166	1,549
Slc 44	2	0,179	1,740	0,287	9,745	1,607
Slc 45	2	0,173	2,032	0,513	11,755	2,970
Slc 48	2	0,170	2,353	1,084	13,842	6,374
Slc 49	2	0,194	1,518	0,606	7,822	3,124
Slc 50	2	0,180	1,935	0,845	10,752	4,694
Slc 51	2	0,280	2,075	0,865	7,412	3,089
Tüm parseller						
\bar{X}		0.200	1.838	0.438	10.377	2.562
σ		0.096	1.062	0.241	7.207	1.552

^c MD: Aralamadan sonra geçen yıl. Değer bulunmayan parseller aralama görmemiştir.

Not: \bar{X} = aritmetik ortalama, σ = standart sapma

Çalışma alanında yer alan ağaçların canlı yanıcı madde miktarını daha iyi temsil edebilmesi için, kızılçam biokütle çalışmalarına (Küçük vd., 2008) ek olarak, Meriç, Küçükaltıağaç köyünde yer alan çalışma alanında, farklı çap ve boy kademelerinden rastgele seçilen toplam 15 adet kızılçamın tepe yanıcı madde miktarı belirlenmiştir (Tablo 10). Kesilen 15 adet ağacın biokütle değerleri ile Küçük (2008) tarafından farklı yaş, çap ve boylardaki kızılçam bireylerinde gerçekleştirilen 35 adet ağacın biokütle değerleri birleştirilerek korelasyon ve regresyon analizleri yapılmıştır. Bu analizler öncesinde, bağımlı ve bağımsız değişken değerlerine tek örnekli Kolmogorov-Smirnov (K-S) testi uygulanarak normal dağılım kontrolü yapılmıştır. Korelasyon analizleri, özellikle ağaç boyu, tepe çapı ve tepe boyunun, toplam yanıcı madde miktarı üzerinde belirleyici bir

etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Yapılan regresyon analizi sonucunda, bir ağacın toplam biokütle miktarını tahmin eden en iyi model aşağıdaki eşitlikte verilmiştir:

$$y = -16696.4 + (841.9 \times d_{1.30}) + (2622.1 \times T\text{çap}) + (1683.9 \times T\text{boy}) \quad (3)$$

Burada, y : Bir ağacın toplam biokütle miktarı (gr), $d_{1.30}$: Göğüs yüzeyi çapı (cm), $T\text{çap}$: Tepe çapı (m), $T\text{boy}$: Tepe boyu (m) olarak ifade edilmiştir. Bu denklem ile elde edilen toplam biokütle miktarı, Tablo 2’de yer alan % değerler kullanılarak ibre ve dal kısımlarına ayrılmıştır. Deneme yangınlarına ilişkin meşcere ve yanıcı madde özellikleri her bir parsel için hazırlanan görsel grafikler yardımıyla incelenmiştir (Şekil 23, Şekil 24 ve Şekil 25).

Tablo 10. Genç kızılçam ağaçlandırma alanından kesilen 15 adet ağaca ilişkin tepe yanıcı madde miktarları

Ağaç No	Ağaç özellikleri					Canlı yanıcı madde miktarları (kg)					
	boy (m)	tçap (m)	tboy (m)	yaş (yıl)	$d_{1.3}$ (cm)	İbre	ince	orta	kalın	çkalın	toplam
1	6,3	2,6	4,3	16	14	2,86	1,93	1,68	3,02	0,45	9,94
2	6,8	2,1	4,9	16	11	2,01	0,86	1,34	1,30	0,07	5,59
3	6,4	2,8	5,1	16	13	2,95	1,62	2,17	2,76	0,11	9,61
4	5,6	2,7	4,3	16	10	2,06	1,11	1,09	2,91	0,40	7,56
5	6,2	2,2	4,8	16	11	1,75	1,02	0,72	1,55	0,31	5,35
6	5,4	2,9	4,1	16	12	2,92	1,35	2,20	2,20	0,56	9,22
7	7,2	2,9	5,8	16	14	3,68	1,90	2,31	2,74	1,20	11,83
8	5,3	3,1	3,8	16	13	2,99	1,59	2,55	2,90	0,45	10,48
9	5,7	2,7	4,3	16	12	2,36	1,33	1,12	3,01	0,51	8,33
10	5,7	2,4	4,7	16	11	2,36	1,18	1,23	2,41	0,30	7,49
11	6	2,7	5,4	16	11	2,25	1,58	1,09	1,97	0,43	7,32
12	6	3	5,1	16	14	2,17	1,81	1,56	3,06	1,64	10,25
13	5,9	2,4	5,3	16	11	1,88	1,45	0,70	1,70	0,00	5,73
14	5,6	2,5	5	16	11	1,70	1,06	1,31	1,87	0,23	6,16
15	4,8	2,3	4,1	16	9	2,11	1,37	1,10	1,59	0,52	6,69
\bar{X}	5,9	2,6	4,7	16	12	2,40	1,41	1,48	2,33	0,48	8,10
σ	0,6	0,3	0,6	0	1,5	0,56	0,33	0,58	0,63	0,43	2,03

boy: ağaç boyu, tboy: ağaç tepe boyu, tçap: ağaç tepe çapı, $d_{1.3}$: göğüs yüzeyi çapı, ibre: ağaç tepesindeki canlı ibre miktarı, ince: ince dal miktarı (0,0-0,6 mm), orta: orta kalın dallar (0,6-1,0 mm), kalın: kalın dallar (1,0-2,5 mm), çkalın: en kalın dallar (>2,5 mm)

Tablo 11. Deneme yangını parsellerine ait tepe yanıcı madde, tepe altı kuru dal ve tepe altı asılı ibre miktarları

Parsel	MD ^c	Tepe yanıcı madde miktarı (kg/m ²)							Tepe altı kuru dal ve ibre miktarı (kg/m ²)						
		Canlı ibre	Dalların çap kademelerine dağılımı (cm) ^a					Toplam	Asılı İbre ^b	Dalların çap kademelerine dağılımı (cm) ^a					Toplam
			0.6<	0.6-1.0	1.0-2.5	2.5>	Aktif ^d			0.6<	0.6-1.0	1.0-2.5	2.5>	Aktif ^d	
Slc 1	-	0,575	0,464	0,531	0,310	0,332	1,039	2,211	0,099	0,236	0,112	0,192	0,008	0,335	0,548
Slc 2	-	0,640	0,517	0,591	0,345	0,369	1,157	2,462	0,116	0,242	0,115	0,197	0,008	0,358	0,563
Slc 3	-	0,427	0,345	0,394	0,230	0,246	0,772	1,642	0,095	0,262	0,125	0,213	0,009	0,358	0,609
Slc 4	-	0,471	0,380	0,434	0,253	0,272	0,851	1,810	0,088	0,294	0,140	0,238	0,010	0,382	0,681
Slc 5	-	0,475	0,384	0,438	0,256	0,274	0,858	1,827	0,062	0,196	0,093	0,159	0,006	0,258	0,456
Slc 6	-	0,742	0,600	0,685	0,400	0,428	1,342	2,855	0,153	0,348	0,166	0,283	0,011	0,501	0,807
Slc 8	-	0,669	0,541	0,618	0,360	0,386	1,210	2,574	0,107	0,286	0,136	0,232	0,009	0,393	0,664
Slc 9	-	0,625	0,505	0,577	0,337	0,361	1,130	2,404	0,102	0,182	0,086	0,148	0,006	0,284	0,421
Slc 10	-	0,581	0,469	0,536	0,313	0,335	1,050	2,235	0,112	0,272	0,129	0,221	0,009	0,383	0,630
Slc 11	-	0,834	0,673	0,770	0,449	0,481	1,507	3,206	0,047	0,095	0,045	0,077	0,003	0,142	0,733
Slc 12	-	0,732	0,591	0,676	0,394	0,422	1,324	2,817	0,174	0,410	0,195	0,333	0,013	0,583	0,950
Slc 14	-	0,739	0,597	0,682	0,398	0,426	1,335	2,841	0,164	0,345	0,164	0,280	0,011	0,509	0,800
Slc 16	-	0,665	0,537	0,614	0,358	0,384	1,203	2,559	0,121	0,227	0,108	0,184	0,007	0,348	0,526
Slc 22	-	0,834	0,673	0,770	0,449	0,481	1,507	3,206	0,047	0,095	0,045	0,077	0,003	0,142	0,733
Slc 23	-	0,626	0,506	0,578	0,337	0,361	1,131	2,407	0,089	0,148	0,071	0,121	0,005	0,238	0,344
Mrc 13	-	0,305	0,247	0,282	0,164	0,176	0,552	1,175	0,023	0,095	0,041	0,076	0,001	0,118	0,213
Mrc 14	-	0,319	0,258	0,295	0,172	0,184	0,578	1,229	0,040	0,092	0,040	0,073	0,001	0,133	0,207
Mrc 17	-	0,355	0,286	0,327	0,191	0,205	0,641	1,364	0,021	0,093	0,041	0,074	0,001	0,114	0,210
Mrc 20	-	0,470	0,380	0,434	0,253	0,271	0,850	1,808	0,033	0,124	0,054	0,098	0,001	0,157	0,277
Mrc 21	-	0,486	0,392	0,448	0,261	0,280	0,878	1,868	0,031	0,130	0,057	0,103	0,001	0,161	0,291
Mrc 22	-	0,328	0,265	0,303	0,177	0,189	0,593	1,261	0,029	0,082	0,036	0,065	0,001	0,110	0,183
Mrc 23	-	0,362	0,292	0,334	0,195	0,209	0,654	1,391	0,030	0,100	0,043	0,079	0,001	0,129	0,224
Mrc 24	-	0,361	0,292	0,333	0,194	0,208	0,653	1,389	0,026	0,098	0,043	0,078	0,001	0,123	0,219
Mrc 25	-	0,412	0,333	0,380	0,222	0,238	0,744	1,584	0,078	0,134	0,058	0,107	0,001	0,212	0,301
Mrc 26	-	0,495	0,400	0,457	0,266	0,285	0,894	1,903	0,078	0,115	0,050	0,092	0,001	0,193	0,258
Mrc 32	-	0,264	0,213	0,244	0,142	0,152	0,478	1,016	0,022	0,072	0,032	0,058	0,001	0,094	0,163
Mrc 33	-	0,247	0,200	0,228	0,133	0,143	0,447	0,952	0,021	0,075	0,033	0,060	0,001	0,096	0,169

Tablo 11'in devamı

Parsel	MD ^c	Tepe yanıcı madde miktarı (kg/m ²)							Tepe altı kuru dal ve ibre miktarı (kg/m ²)						
		Canlı ibre	Dalların çap kademelerine dağılımı (cm) ^a					Toplam	Asılı İbre ^b	Dalların çap kademelerine dağılımı (cm) ^a					Toplam
			0.6<	0.6-1.0	1.0-2.5	2.5>	Aktif ^d			0.6<	0.6-1.0	1.0-2.5	2.5>	Aktif ^d	
Mrc 34	-	0,532	0,429	0,491	0,286	0,307	0,961	2,045	0,060	0,154	0,067	0,122	0,001	0,214	0,345
Mrc 35	-	0,427	0,345	0,394	0,230	0,246	0,771	1,641	0,036	0,056	0,024	0,045	0,000	0,092	0,126
Mrc 36	-	0,585	0,472	0,540	0,315	0,337	1,057	2,249	0,066	0,143	0,062	0,113	0,001	0,208	0,320
Mrc 37	-	0,714	0,577	0,659	0,384	0,412	1,291	2,746	0,124	0,261	0,114	0,208	0,002	0,385	0,586
Mrc 38	-	0,496	0,401	0,458	0,267	0,286	0,897	1,908	0,056	0,127	0,055	0,101	0,001	0,182	0,284
Brg 1	1	0,735	0,594	0,678	0,396	0,424	1,328	2,826	0,193	0,272	0,121	0,280	0,082	0,464	0,754
Brg 2	1	0,508	0,410	0,469	0,273	0,293	0,918	1,953	0,140	0,226	0,101	0,233	0,069	0,366	0,629
Brg 3	1	0,738	0,596	0,681	0,397	0,426	1,334	2,839	0,212	0,255	0,113	0,262	0,077	0,466	0,707
Brg 4	1	0,575	0,465	0,531	0,310	0,332	1,040	2,212	0,117	0,167	0,074	0,172	0,051	0,285	0,464
Brg 5	1	0,436	0,352	0,402	0,235	0,251	0,788	1,677	0,096	0,171	0,076	0,176	0,052	0,267	0,475
Brg 7	1	0,482	0,389	0,445	0,259	0,278	0,871	1,853	0,118	0,192	0,085	0,198	0,058	0,310	0,532
Brg 9	1	0,531	0,429	0,490	0,286	0,306	0,960	2,043	0,128	0,212	0,094	0,219	0,064	0,341	0,590
Brg 10	1	0,522	0,421	0,482	0,281	0,301	0,943	2,007	0,143	0,251	0,112	0,259	0,076	0,394	0,697
Brg 11	1	0,540	0,436	0,498	0,291	0,311	0,975	2,075	0,148	0,253	0,112	0,260	0,077	0,401	0,702
Brg 12	1	0,517	0,417	0,477	0,278	0,298	0,934	1,988	0,146	0,242	0,108	0,249	0,073	0,389	0,673
Brg 13	1	0,608	0,491	0,562	0,328	0,351	1,100	2,340	0,186	0,241	0,107	0,248	0,073	0,427	0,669
Brg 14	1	0,961	0,776	0,887	0,518	0,555	1,738	3,697	0,255	0,287	0,128	0,296	0,087	0,543	0,798
Brg 15	1	0,543	0,438	0,501	0,292	0,313	0,981	2,088	0,166	0,272	0,121	0,281	0,082	0,439	0,757
Brg 16	1	0,504	0,407	0,466	0,272	0,291	0,912	1,940	0,124	0,219	0,098	0,226	0,066	0,343	0,610
Mrc 5	1	0,271	0,219	0,250	0,146	0,156	0,490	1,042	0,040	0,065	0,028	0,052	0,001	0,105	0,145
Mrc 6	1	0,163	0,132	0,151	0,088	0,094	0,295	0,628	0,013	0,050	0,022	0,039	0,000	0,062	0,111
Mrc 7	1	0,269	0,217	0,248	0,145	0,155	0,486	1,035	0,018	0,083	0,036	0,066	0,001	0,100	0,186
Mrc 8	1	0,308	0,249	0,284	0,166	0,178	0,557	1,185	0,019	0,091	0,040	0,073	0,001	0,111	0,205
Mrc 9	1	0,264	0,213	0,243	0,142	0,152	0,476	1,014	0,016	0,075	0,032	0,059	0,001	0,091	0,167
Mrc 10	1	0,190	0,153	0,175	0,102	0,109	0,343	0,730	0,001	0,066	0,029	0,052	0,001	0,067	0,148
Mrc 27	1	0,283	0,228	0,261	0,152	0,163	0,511	1,087	0,018	0,087	0,038	0,070	0,001	0,106	0,196
Mrc 29	1	0,382	0,309	0,353	0,206	0,221	0,691	1,470	0,050	0,143	0,062	0,114	0,001	0,193	0,321
Mrc 30	1	0,575	0,464	0,530	0,309	0,332	1,039	2,210	0,062	0,148	0,064	0,118	0,001	0,210	0,332
Slc 24	2	0,638	0,515	0,589	0,343	0,368	1,153	2,453	0,073	0,260	0,124	0,211	0,008	0,333	0,603
Slc 25	2	0,391	0,315	0,360	0,210	0,225	0,706	1,502	0,046	0,125	0,059	0,101	0,004	0,171	0,289

Tablo 11'in devamı

Parsel	MD ^c	Tepe yanıcı madde miktarı (kg/m ²)							Tepe altı kuru dal ve ibre miktarı (kg/m ²)						
		Canlı ibre	Dalların çap kademelerine dağılımı (cm) ^a					Aktif ^d	Toplam	Asılı İbre ^b	Dalların çap kademelerine dağılımı (cm) ^a				
			0.6<	0.6-1.0	1.0-2.5	2.5>				0.6<	0.6-1.0	1.0-2.5	2.5>		
Slc 26	2	0,336	0,272	0,311	0,181	0,194	0,608	1,294	0,033	0,129	0,061	0,105	0,004	0,162	0,300
Slc 27	2	0,479	0,387	0,442	0,258	0,276	0,866	1,843	0,050	0,167	0,079	0,136	0,005	0,217	0,387
Slc 28	2	0,287	0,232	0,265	0,155	0,166	0,519	1,105	0,054	0,089	0,043	0,073	0,003	0,144	0,207
Slc 29	2	0,397	0,321	0,367	0,214	0,229	0,718	1,528	0,035	0,115	0,055	0,093	0,004	0,150	0,267
Slc 30	2	0,326	0,263	0,301	0,175	0,188	0,589	1,253	0,039	0,118	0,056	0,096	0,004	0,157	0,274
Slc 31	2	0,368	0,297	0,340	0,198	0,212	0,666	1,416	0,037	0,134	0,064	0,109	0,004	0,171	0,312
Slc 32	2	0,317	0,256	0,293	0,171	0,183	0,573	1,219	0,047	0,111	0,053	0,090	0,004	0,158	0,258
Slc 34	2	0,285	0,230	0,263	0,153	0,164	0,515	1,095	0,035	0,094	0,045	0,077	0,003	0,129	0,219
Slc 38	2	0,252	0,203	0,232	0,135	0,145	0,455	0,968	0,014	0,117	0,056	0,095	0,004	0,131	0,271
Slc 39	2	0,417	0,337	0,385	0,225	0,241	0,754	1,604	0,043	0,114	0,054	0,093	0,004	0,158	0,265
Slc 40	2	0,586	0,474	0,541	0,316	0,338	1,060	2,255	0,093	0,241	0,115	0,196	0,008	0,334	0,559
Slc 42	2	0,227	0,183	0,209	0,122	0,131	0,410	0,872	0,025	0,112	0,053	0,091	0,004	0,136	0,259
Slc 43	2	0,402	0,325	0,371	0,216	0,232	0,727	1,546	0,070	0,123	0,058	0,100	0,004	0,193	0,284
Slc 44	2	0,396	0,320	0,366	0,213	0,229	0,717	1,525	0,062	0,150	0,072	0,122	0,005	0,212	0,349
Slc 45	2	0,390	0,315	0,360	0,210	0,225	0,705	1,499	0,050	0,098	0,047	0,080	0,003	0,148	0,227
Slc 48	2	0,220	0,178	0,203	0,118	0,127	0,398	0,846	0,020	0,075	0,036	0,061	0,002	0,095	0,175
Slc 49	2	0,341	0,275	0,314	0,183	0,197	0,616	1,310	0,044	0,087	0,042	0,071	0,003	0,132	0,203
Slc 50	2	0,332	0,269	0,307	0,179	0,192	0,601	1,279	0,035	0,092	0,044	0,075	0,003	0,127	0,214
Slc 51	2	0,460	0,372	0,425	0,248	0,265	0,832	1,770	0,048	0,128	0,061	0,104	0,004	0,176	0,296
\bar{X}		0.468	0.378	0.432	0.252	0.270	0.845	1.799	0.075	0.162	0.074	0.141	0.016	0.237	0.407
σ		0.170	0.137	0.157	0.092	0.098	0.308	0.654	0.055	0.081	0.038	0.077	0.027	0.131	0.217

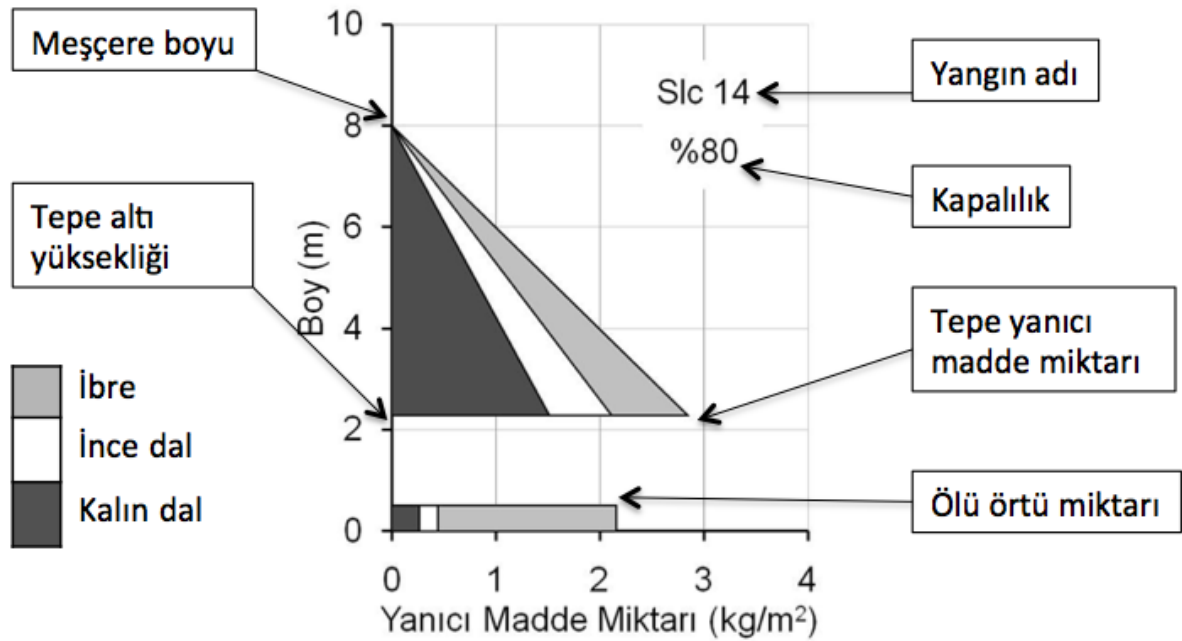
^a Odunsu materyallerin çap sınıfları bu aralıklarda değerlendirilmiştir: <0.59, 0.60–0.99, 1.00–2.49 ve 2.50 > cm.

^b Tepe altı yüksekliğinde yer akan kuru dallar üzerinde biriken döküntü ibre miktarıdır.

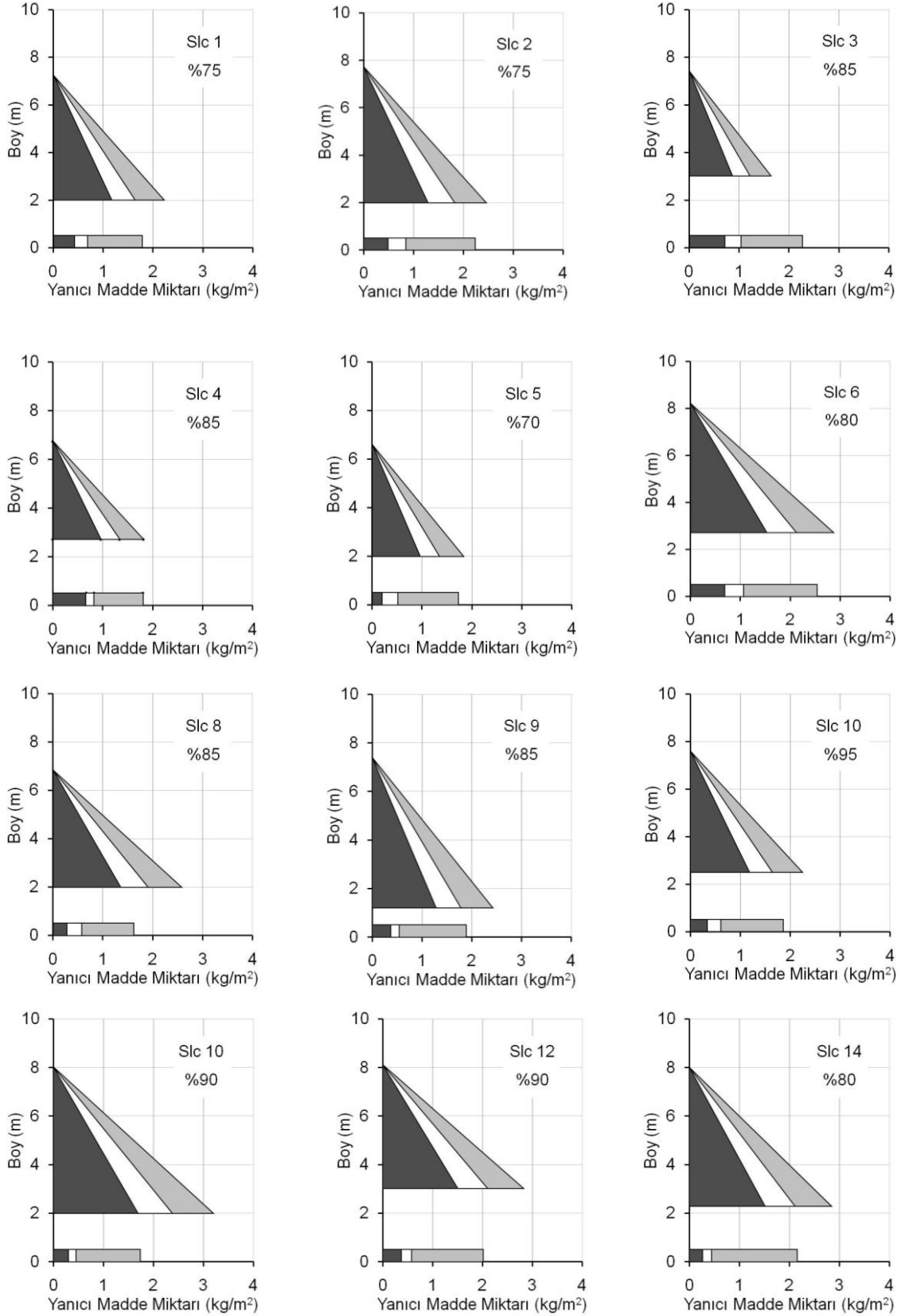
^c MD: Aralamadan sonra geçen yıl. Değer bulunmayan parseller aralama görmemiştir.

^d İbre ve 0.59 cm'den küçük ince dalların toplamından oluşur.

Deneme yangını parsellerinde yapılan yanıcı madde ve meşcere ölçümlerinin karşılaştırılmalı olarak değerlendirilebilmesi amacıyla her bir parcel için meşcere profilleri oluşturulmuştur (Şeki 22, Şekil 23, Şekil 24, Şekil 25). Böylece, üç farklı çalışma alanında hazırlanan deneme yangını parselleri arasındaki farkların görülmesi ve aralama sonucu meydana gelen değişimin belirlenmesi sağlanmaya çalışılmıştır. Aralama sonrasında yanıcı madde özelliklerinde meydana gelen en önemli değişimin ölü örtü ve tepe yanıcı madde miktarında meydana geldiği açık olarak görülmüştür (Şekil 23, Şekil 24, Şekil 25). Aralama görmemiş parsellerde, tepe yanıcı madde miktarının örtü yanıcı madde miktarından fazla olduğu anlaşılmıştır (Şekil 23). Aralama sonrasında bu durumun değiştiği ve deneme yangını parselleri ölü örtü miktarının tepe yanıcı madde miktarından daha fazla olduğu, bazı deneme yangını parsellerinde bu farkın iki katına kadar ulaşabildiği belirlenmiştir (Örneğin, Brg 9, 13, 16 ve Slc 48 deneme yangını parselleri (Şekil 24 ve Şekil 25).

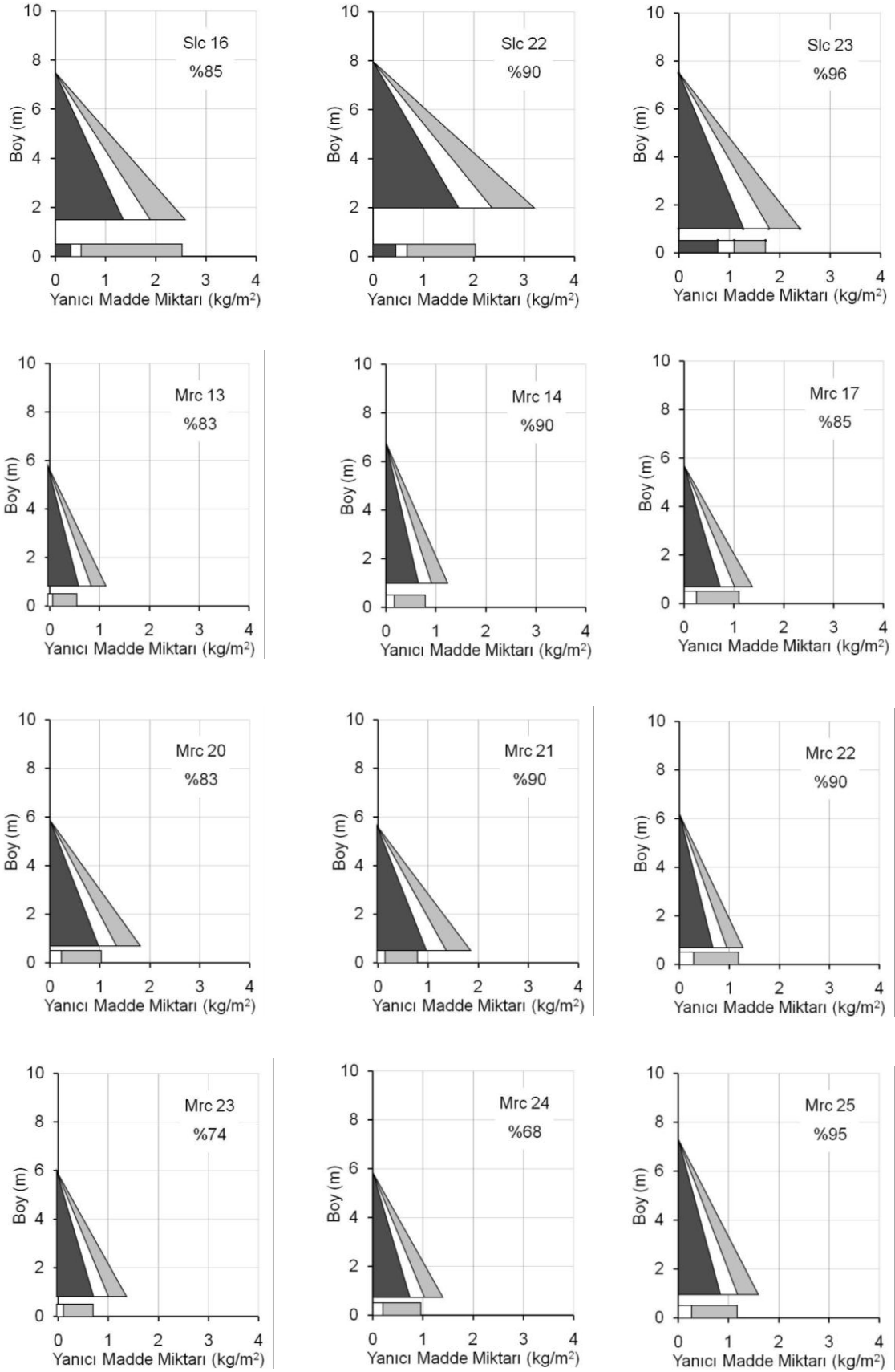


Şekil 22. Deneme yangını parsellerine ait bazı yanıcı madde ve meşcere özelliklerinin şematik izahı

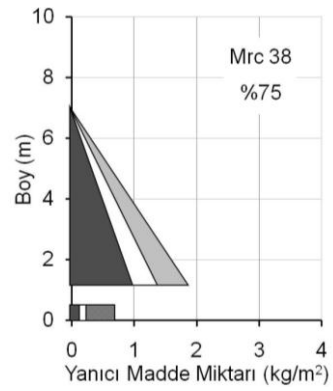
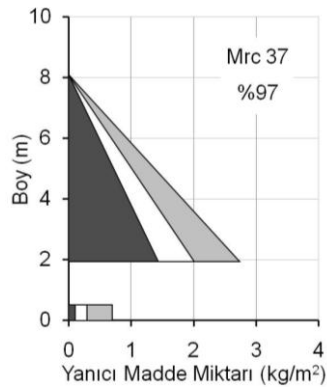
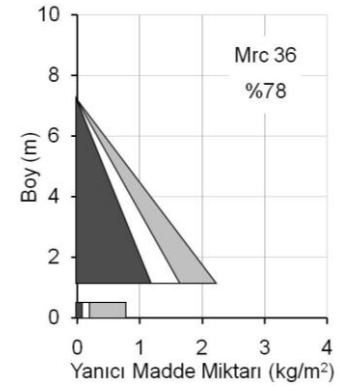
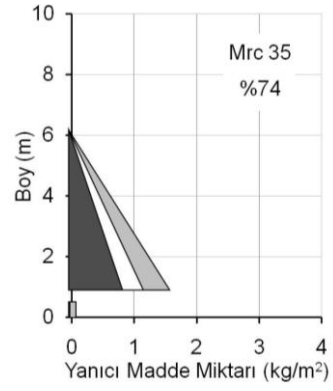
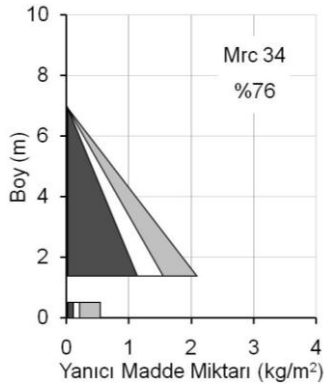
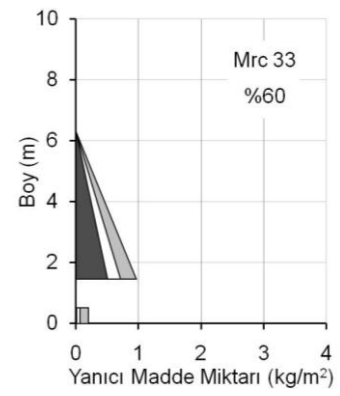
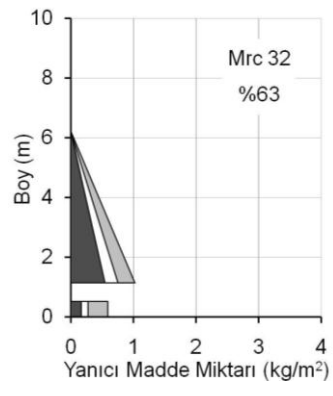
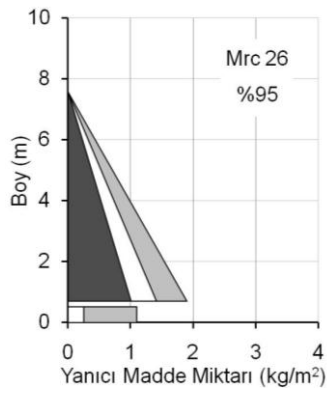


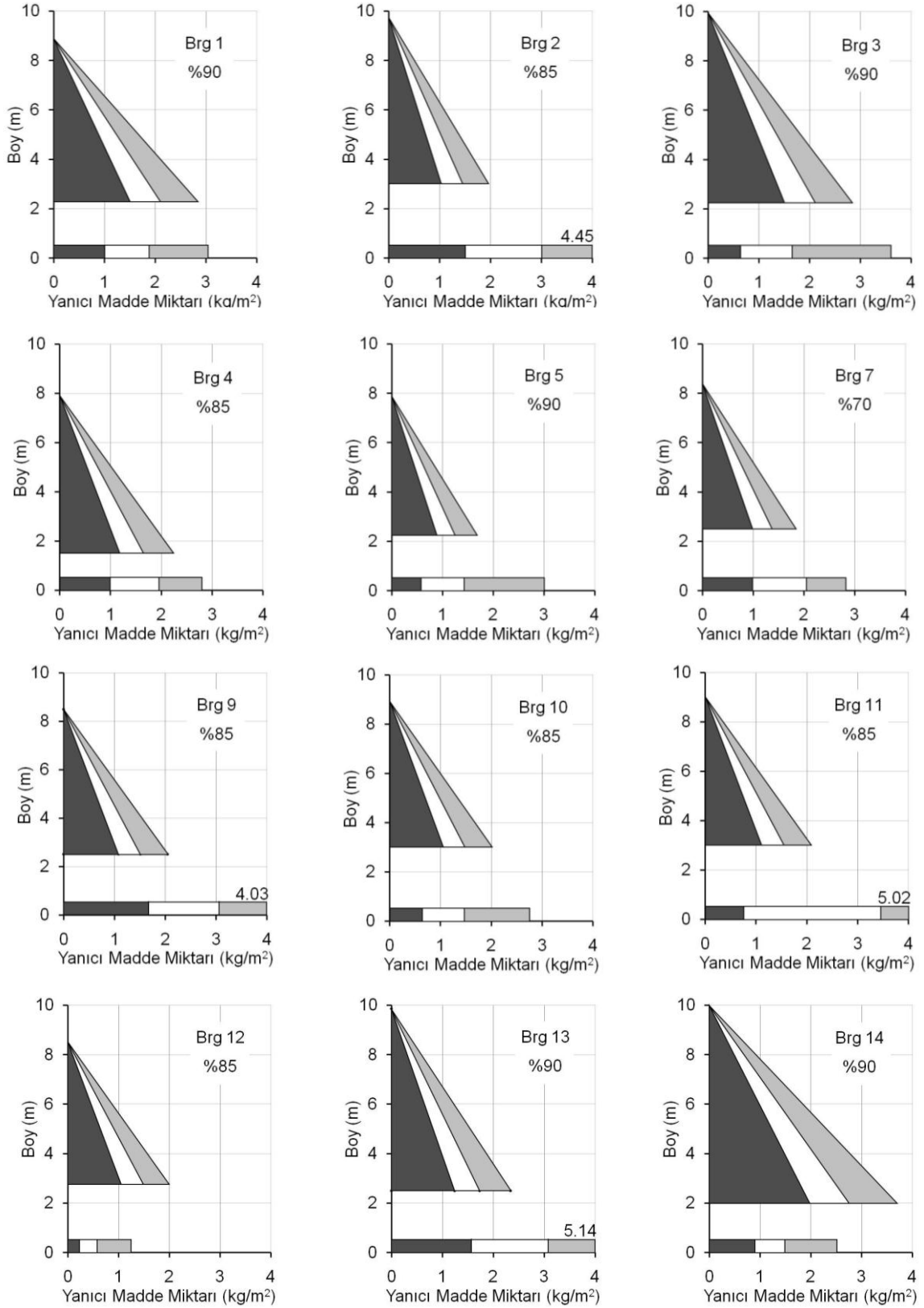
Şekil 23. Aralama görmemiş deneme yangını parsellerine ait yanıcı madde özelliklerinin şematik gösterimi

Şekil 23' ün devamı



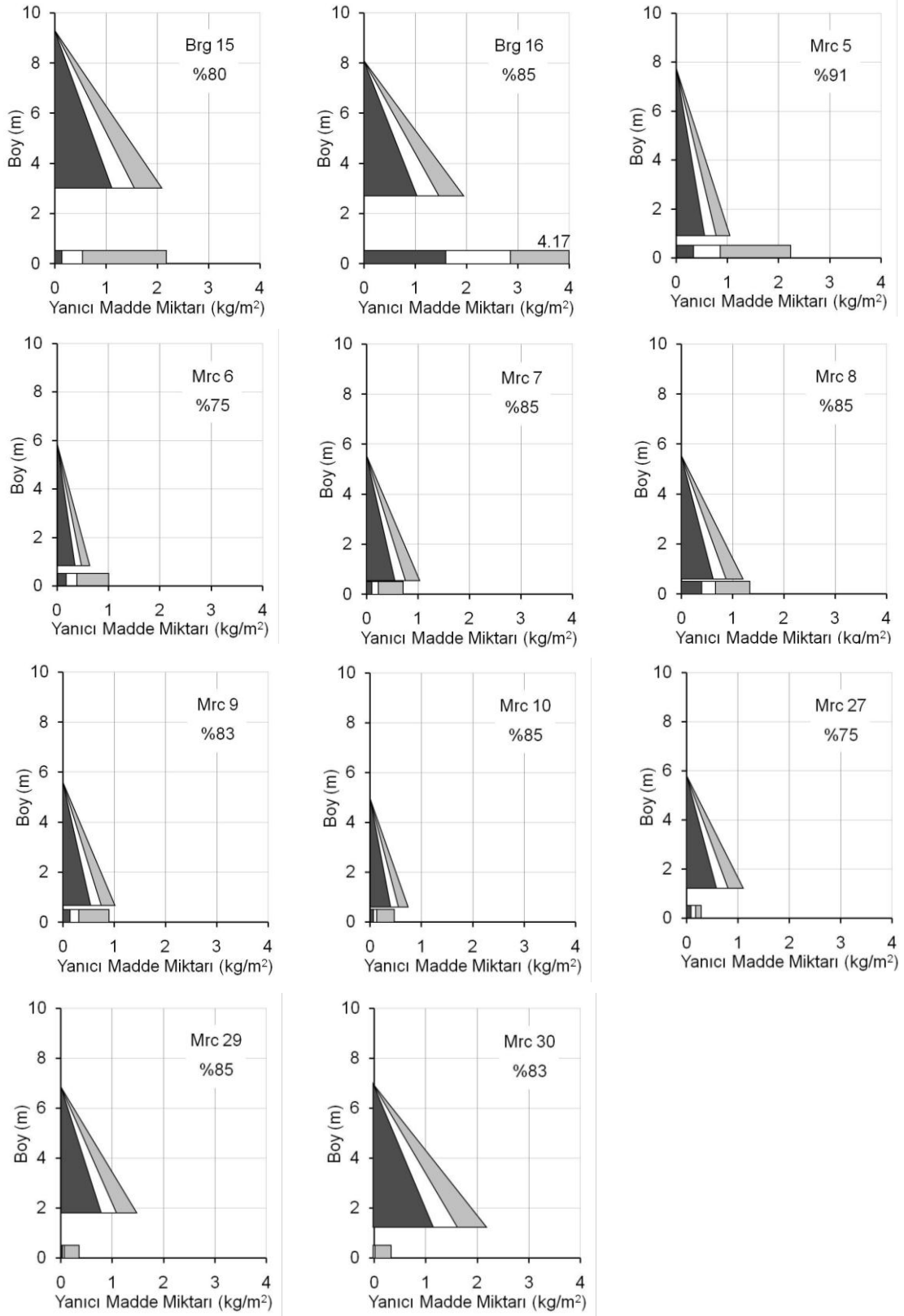
Şekil 23' ün devamı

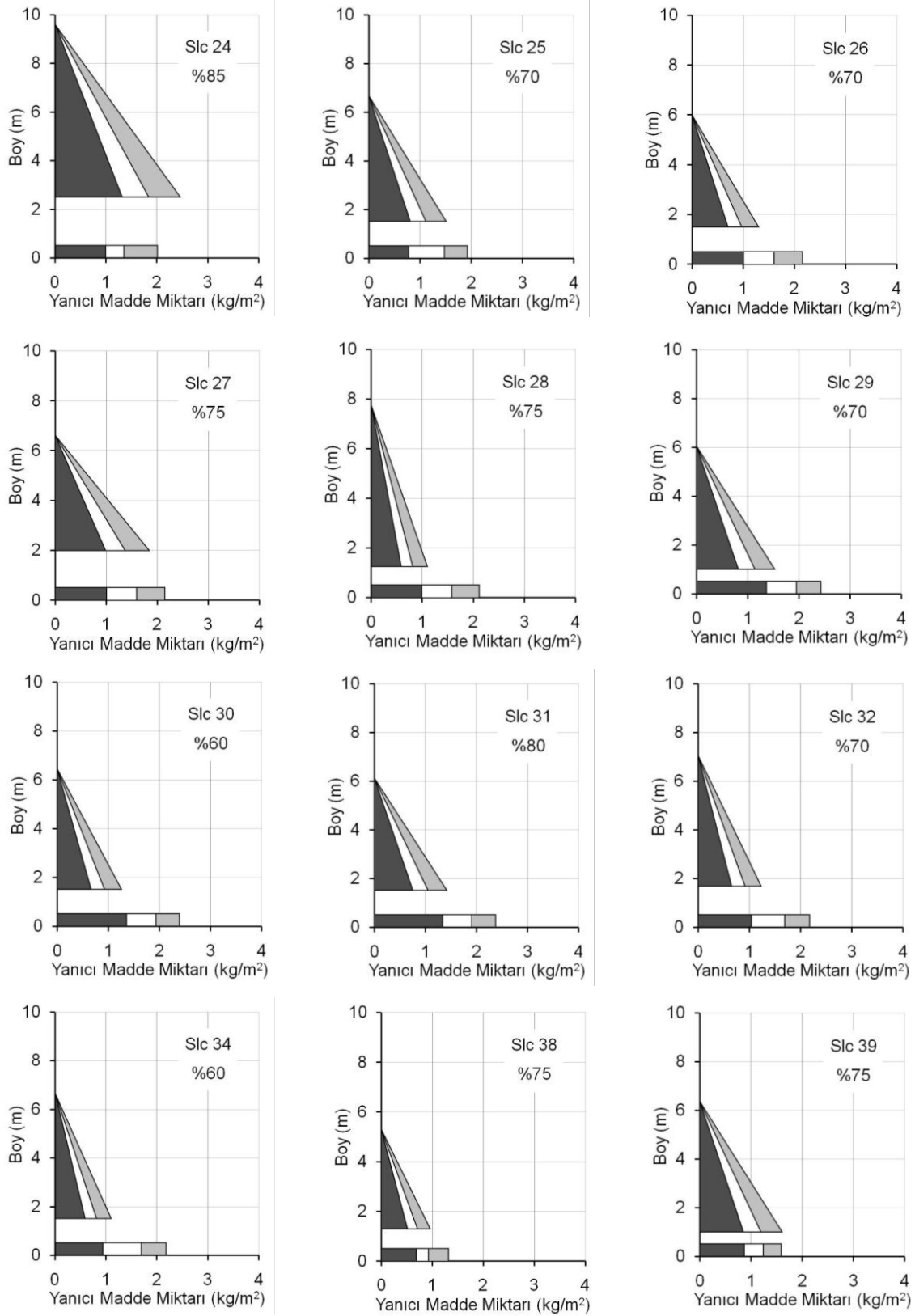




Şekil 24. Aralamadan 1 yıl sonra yakılan deneme yangını parsellerine ait yanıcı madde özelliklerinin şematik gösterimi

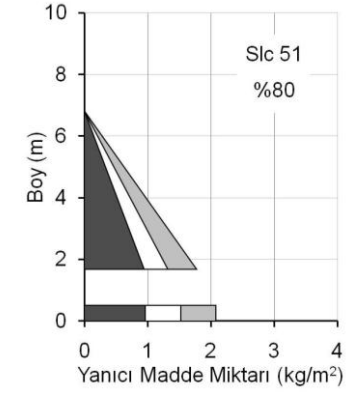
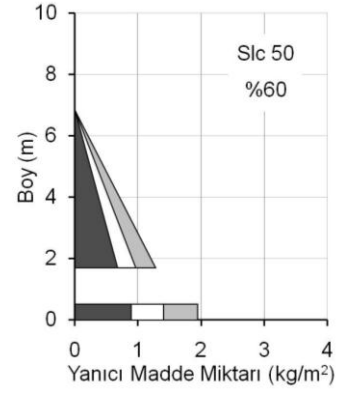
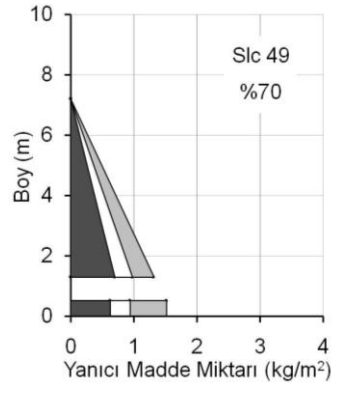
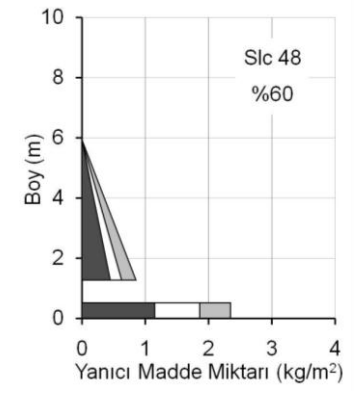
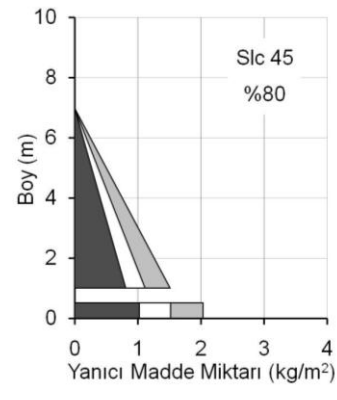
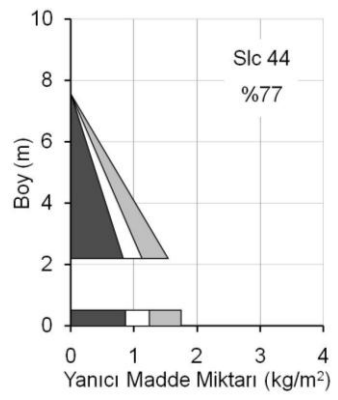
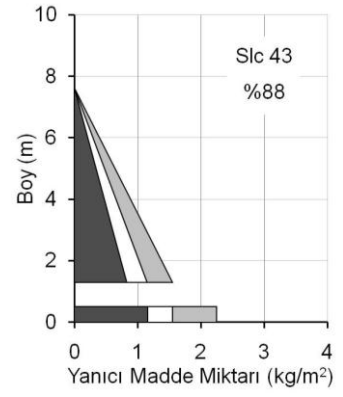
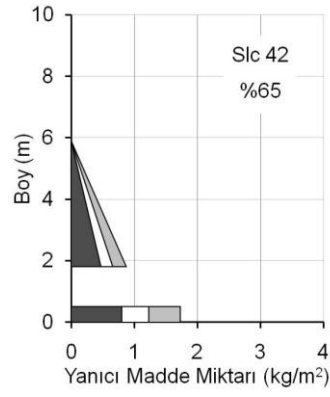
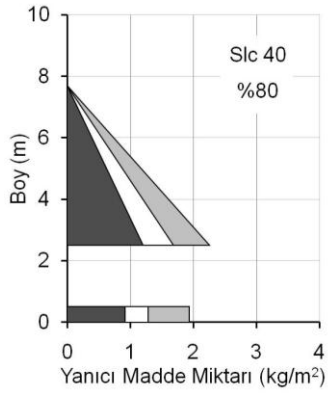
Şekil 24' ün devamı





Şekil 25. Aralamadan 2 yıl sonra yakılan deneme yangını parsellerine ait yanıcı madde özelliklerinin şematik gösterimi

Şekil 25' in devamı



3.2. Yangın Davranışına İlişkin Bulgular

Yangın davranışına ait bulgular, deneme yangınlarının yakılma zamanı, tarihi, hava halleri ve yangın davranışına ait bilgiler tüm detayları ile verilerek, geliştirilen regresyon modelleri var olan diğer yangın davranış modelleri ile karşılaştırılmalı olarak sunulmuştur. Ayrıca, tepe yangını oluşum mekanizmasına ilişkin deneme yangınlarından elde edilen bulgular değerlendirilmiş ve lojistik regresyon analizi yapılmıştır. Son olarak, rüzgârdaki değişimin yayılma oranı üzerindeki etkileri ele alınmış ve şiddetli rüzgârlarda gerçekleştirilen deneme yangınları sonrasında, nokta yangını olarak gelişen “kaçan yangınlar” hikâye edilmiştir.

3.2.1. Deneme Yangınlarına İlişkin Bulgular

Gerçekleştirilen deneme yangınlarına ait bulgular, (i) Tüm deneme yangınlarına ilişkin bulgular, (ii) aralama görmüş ve aralama görmemiş parsellerdeki yangınlara ilişkin bulgular ve (iii) tepe yangınlarına ilişkin bulgular olmak üzere üç kısımda ele alınarak değerlendirilmiştir.

Genç kızılçam ağaçlandırma alanlarında aralama görmüş ve görmemiş meşcerelerde 107 deneme yangını gerçekleştirilmesine karşın, analizler öncesinde yapılan detaylı incelemelerde 76 deneme yangını, yangın davranış analizlerinde kullanılmıştır (Tablo 12).

Tablo 12. Deneme yangınlarının, gerçekleştirildikleri yıllar itibariyle, yeri, silvikültürel müdahale durumu ve yangın türüne göre sayıları

Yıl	Yer	İptal ^a	Silvikültürel müdahale durumu			Yangın türü			Analizlerde kullanılan toplam yangın sayısı
			K	A1	A2	Örtü	Pasif tepe	Aktif tepe	
2004	Barağı	4	-	14	-	4	3	7	14
	Suluca	5	1	-	-	-	-	1	1
2005	Suluca	10	15	-	16	5	14	12	31
2006	Suluca	-	-	-	4	-	4	-	4
	Meriç	10	10	6	-	-	1	15	16
2007	Meriç	2	7	3	-	-	-	10	10
Toplam		31	33	23	21	9	20	47	76

^aVeri tabanına dâhil edilmeyen yangın sayısı

K: Aralama görmemiş deneme yangını parselleri

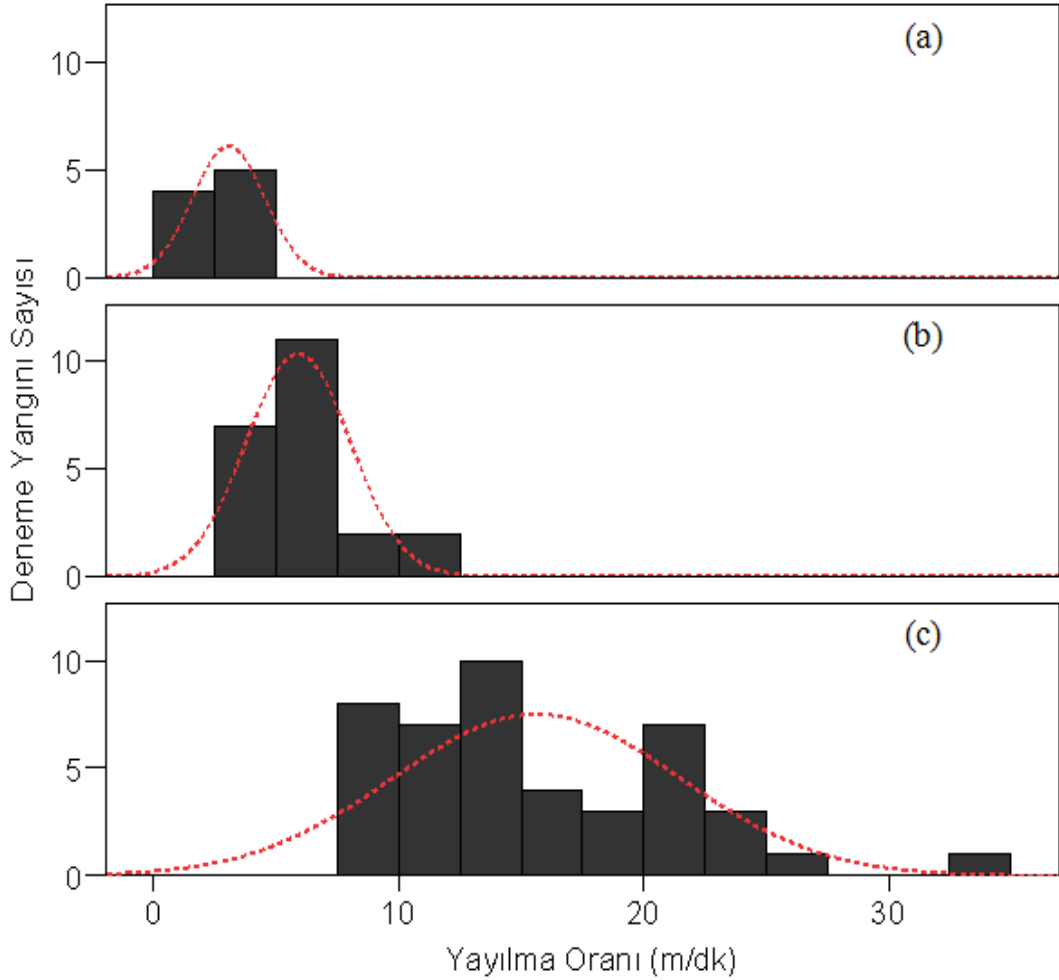
A₁: Aralamadan bir yıl sonra yakılan deneme yangınları

A₂: Aralamadan iki yıl sonra yakılan deneme yangınları

Deneme yangınlarının 43'ü aralama görmüş meşcerelerde, 33'ü aralama görmemiş meşcerelerde gerçekleştirilmiştir. Deneme yangınlarının 47'si aktif tepe yangını, 20'si pasif tepe yangını ve 9'u örtü yangını olarak gerçekleşmiştir (Şekil 26). Analizlere dâhil edilmeyen 31 deneme yangınında karşılaşılan en temel problem, rüzgâr yönündeki ani değişimler ile rüzgâr hızında yaşanan dalgalanmalar olmuştur. Bu durumun gözlemlendiği yangınlarda, yangın parselin sonuna ulaşmadan kenar yapmış veya serbest yayılma hızına ulaşmadan parsel boyunu tamamlamıştır. Bazı deneme yangınlarında ise, parsel boyunca rüzgâr hızı ortalamalarında önemli farklar görülmüştür. Genellikle boyutları büyük olan parsellerde karşılaşılan ve yayılma oranında belirgin farklılıkların gözlemlendiği bu tür durumlarda parsel içinde iki farklı okuma alınmış ve bu yangınlar iki ayrı deneme yangını olarak değerlendirilmiştir. Slc 11 ile Slc 22 ve Mrc 25 ile Mrc 38 parselleri, tek bir parselde gerçekleşen iki ayrı okuma sonucunda yapılan bölümlenmeden oluşmuş parsellerdir. Uzun parsel boyuna sahip olan deneme yangınlarında, iki veya daha fazla okuma yapılarak, ağırlıklı ortalama alınmış ve parselin son yayılma oranı belirlenmiştir. Gerçekleştirilen deneme yangınlarına ilişkin temel yanıcı madde özellikleri ve meteorolojik parametrelere ilişkin bazı tanımlayıcı istatistik değerleri, parsellerin aralama görmüş ve görmemiş olma durumuna göre sınıflandırılmıştır (Tablo 13).

Deneme yangınları yapılmadan önce alanda sabit meteoroloji istasyonu kurularak düzenli okumalar yapılmıştır. Birbirini izleyen dört yıl boyunca, deneme yangınlarının gerçekleştirildiği günlerde, hava sıcaklığı 23 ile 39,5 °C arasında, bağıl nem %15 ile 59 ve ortalama rüzgâr hızı 3,32 ile 27,58 km/s arasında değişiklik göstermiştir. Deneme yangınlarına ait yanıcı madde nem içerikleri, canlı yanıcı maddelerde %132-409, kesim artıklarında %6-10, ölü örtü tabakasında %6-20 ve humus tabakasında ise %4,6-23,3 arasında değişim göstermiştir. Gerçekleştirilen 76 deneme yangını parselinde, canlı yanıcı madde miktarı 0,63 ile 3,70 kg/m², tepe altı boşluğunda kuru yanıcı madde miktarı 0,11 ile 0,95 kg/m² ve ölü örtü miktarı ise 0,12 ile 5,14 kg/m² arasında değişiklik göstermiştir (Tablo 13). Parsellerdeki ölü örtü miktarı, ölü örtü nem içeriği, tepe yoğunluğu, tepe altı yüksekliği ve toplam yanıcı madde miktarı gibi yanıcı madde özelliklerindeki değişimler yangın davranışında farklılıkların ortaya çıkmasına neden olmuştur. Deneme yangınlarında yangın yayılma oranı değişimi 0,93 ile 82,78 m/dk arasında gerçekleşmiştir. Gerçekleştirilen deneme yangınlarında yayılma oranı 15 m/dk'nın üzerinde olan deneme yangını sayısı nispeten azdır (Şekil 26). Yangın yayılma oranı 10 m/dk üzerinde olan yangınların hemen hemen tamamının aktif tepe yangını olarak ilerleyen yangınlar olduğu

görülmüştür (Şekil 26c). Deneme yangınlarında yanıcı madde tüketimi 0,94 ile 6,64 kg/m², yangın şiddeti ise 571 ile 27788 kW/m arasında değişiklik göstermiştir. Yangın davranışında gözlemlenen bu değişimler meşcere yapısı ve yanıcı madde özellikleri ile meteorolojik parametrelerdeki farklılıklardan kaynaklanmaktadır. Genç kızılçam ağaçlandırma alanlarında yangın davranışına ilişkin gözlemlenen bu değer aralıkları 750-5.000 m² büyüklüğündeki alanlarda hat yangını olarak ilerleyen yangılara aittir. Deneme yangınlarına ait meteorolojik parametreler ve yangın davranış verileri tüm detayları ile verilmeye çalışılmıştır (Tablo 14). Deneme yangınlarında en yüksek yayılma oranı Mrc 27 deneme yangınında kaydedilmiştir. Bu durum, 27,7 km/s ile en yüksek rüzgâr hızında, hava sıcaklığının 39,5 °C, bağıl nemin %15, ince yanıcı madde nemi %7,9 humus yanıcı madde nemi %4,6 ile olağanüstü hava koşullarında gerçekleştirilen deneme yangını olmasının bir sonucudur.



Şekil 26. Deneme yangınlarında (a) örtü yangını (b) pasif tepe yangını ve (c) aktif tepe yangını olarak ilerleyen yangın sayısının yayılma oranına göre dağılımları. Bu grafiklerde, 82,8 m/dk yayılma oranına sahip olan Mrc 27 yangını gösterilmemiştir.

Tablo 13. Aralama görmüş ve görmemiş parsellerdeki deneme yangınlarının yangın davranışını etkileyen temel özelliklere ilişkin ortalama, standart sapma, minimum ve maksimum değerleri

Değişkenler	Aralama görmüş parsellerdeki deneme yangınları (n=43)															
	Aralama görmemiş parsellerdeki deneme yangınları (n=33)				Aralamadan 1 yıl sonra yakılan deneme yangınları (n=23)				Aralamadan 2 yıl sonra yakılan deneme yangınları (n=20)				Tüm deneme yangınları (n=76)			
	\bar{X}	S	Min	Maks	\bar{X}	S	Min	Maks	\bar{X}	S	Min	Maks	\bar{X}	S	Min	Maks
Rüzgâr hızı (km/s)	14,63	4,67	6,41	24,84	13,26	5,76	6,96	27,58	13,33	6,64	3,32	25,56	13,85	5,56	3,32	27,58
Hava sıcaklığı (°C)	30,34	2,73	23,00	35,90	33,86	2,73	29,70	39,50	30,03	1,44	27,00	32,20	31,32	2,94	23,00	39,50
Bağıl nem (%)	41,56	11,81	24,00	59,00	33,37	7,22	15,00	47,00	37,21	9,25	22,00	52,00	37,88	10,39	15,00	59,00
Ölü örtü nemi (%)	13,02	4,21	6,00	20,91	12,24	3,74	7,14	18,70	10,68	2,51	6,00	13,90	12,13	3,75	6,00	20,91
Canlı nem içeriği (%)	253	95	133	409	173	36	132	249	309	61	236	406	244	89	132	409
Tepe yoğunluğu (kg/m ²)	0,17	0,05	0,09	0,26	0,14	0,04	0,06	0,21	0,13	0,03	0,08	0,20	0,15	0,05	0,06	0,26
Tepe altı yüksekliği (m)	1,52	0,75	0,50	3,00	1,90	0,90	0,55	3,00	1,57	0,44	1,00	2,50	1,65	0,74	0,50	3,00
Tepe oranı ^a	0,79	0,09	0,59	0,91	0,77	0,08	0,66	0,90	0,77	0,05	0,68	0,86	0,78	0,08	0,59	0,91
Göğüs yüzeyi (m ² /ha)	22,38	7,17	11,20	34,17	17,85	6,40	6,99	31,24	17,82	5,62	10,65	29,51	19,75	6,84	6,99	34,17
Sıklık (n/ha)	1384	434	567	2105	1236	3789	520	1878	968	175	702	1275	1224	397	520	2105
Meşcere boyu (m)	6,97	0,82	5,63	8,23	7,82	1,64	4,90	10,30	6,82	0,91	5,33	9,57	7,19	1,21	4,90	10,30
Ölü örtü miktarı (kg/m ²)	1,34	0,69	0,12	2,54	2,36	1,56	0,27	5,14	2,02	0,30	1,31	2,42	1,84	1,06	0,12	5,14
Yanıcı madde tüketimi (kg/m ²)	2,71	1,01	0,94	4,52	3,63	1,87	1,00	6,64	2,85	0,53	1,77	3,93	3,03	1,30	0,94	6,64
Yayımla oranı (m/dk)	13,95	7,70	1,50	33,79	14,6	16,27	2,18	82,76	6,93	3,42	0,93	13,35	12,21	10,77	0,93	82,76
Yangın şiddeti (kW/m)	98633	4243	1209	18384	11846	7695	2917	27788	6146	3562	571	13457	9436	5752	571	27788

^aMeşcere ortalama tepe boyunun, ortalama ağaç boyuna oranını ifade eder

S: Standart sapma

\bar{X} : Aritmetik ortalama

Tablo 14. Deneme yangınlarının yakma zamanı ve tarihi ile yangın anındaki hava halleri ve yangın davranış verileri

Parsel /Silvikültürel müdahale durumu	Yakma zamanı Tarih Saat		Hava halleri			Yanıcı madde nem içeriği			TTY ^c (%)	Toplam yanıcı madde tüketimi			Yangın davranış özellikleri		
			Rzg ^b (km/s)	Sıc ^c (°C)	Ne ^d (%)	Ölü (%)	Canlı (%)	Hu mus (%)		Örtü (kg/m ²)	Tepe ^f (kg/m ²)	Toplam (kg/m ²)	Yayıma oranı (m/dk)	Yangın şiddeti (kW/m)	Yangın türü ^g
Aralama görmemiş															
Slc 1	22.07.05	17:35	10,3	29,7	59	17,6	335,5	20,9	37	1,791	0,807	3,146	5,27	4978	Pasif
Slc 2	22.07.05	17:55	9,9	29,3	59	18,2	342,7	20,3	44	2,232	1,086	3,881	7,67	8936	Aktif
Slc 3	22.07.05	17:10	8,4	29,3	59	18,2	409,4	23,2	14	2,275	0,226	3,110	1,59	1484	Örtü
Slc 4	21.07.05	19:00	14,0	30,6	48	17,9	389,2	20,6	54	1,802	0,984	3,468	11,90	12384	Aktif
Slc 5	21.07.05	19:15	12,1	29,7	51	19,3	395,7	22,4	55	1,728	1,013	3,197	8,96	8590	Aktif
Slc 6	21.07.05	18:45	9,5	30,2	50	15,0	386,9	19,5	41	2,535	1,177	4,519	8,80	11931	Aktif
Slc 8	21.07.05	18:25	14,7	30,5	48	17,4	376,3	22,2	61	1,621	1,581	3,865	13,79	15994	Aktif
Slc 9	21.07.05	18:10	15,4	30,5	48	19,4	364,5	22,8	58	1,890	1,387	3,699	13,89	15419	Aktif
Slc 10	22.07.05	15:50	6,4	30,4	42	11,8	288,3	19,6	38	1,852	0,856	3,339	5,00	5008	Pasif
Slc 11-1	22.07.05	15:35	6,6	29,5	42	12,5	304,9	20,6	7	1,736	0,218	2,686	1,50	1209	Örtü
Slc 12	22.07.05	12:48	8,5	28,1	50	17,7	348,7	20,6	25	2,007	0,717	3,674	3,77	4151	Pasif
Slc 14	21.07.05	15:45	13,5	32,2	45	16,7	371,7	19,8	51	2,156	1,445	4,401	9,61	12686	Aktif
Slc 16	11.08.04	10:00	15,8	35,9	57	20,9	177,1	22,0	54	2,523	1,373	4,422	13,86	18384	Aktif
Slc 11-2	22.07.05	15:42	10,3	29,5	42	12,5	304,9	20,6	28	2,036	0,885	3,654	6,00	6576	Pasif
Slc 23	27.07.05	10:30	16,2	23,0	57	8,1	304,0	16,1	54	1,724	1,308	3,377	8,85	8966	Aktif
Slc 24	21.07.05	16:57	9,7	32,2	40	11,5	334,9	18,8	54	2,004	1,322	3,928	7,29	8593	Pasif
Mrc 13	22.07.06	15:30	21,4	28,7	38	13,0	235,1	15,0	58	0,584	0,680	1,476	26,54	11756	Aktif
Mrc 14	22.07.06	15:56	22,5	28,3	37	13,4	253,7	15,4	54	0,790	0,660	1,657	24,00	11929	Aktif
Mrc 17	26.07.06	15:27	12,0	32,5	25	9,5	203,7	11,5	42	1,094	0,574	1,878	8,25	4647	Aktif
Mrc 20	27.07.06	13:03	12,8	31,1	33	10,6	168,7	12,6	52	1,023	0,935	2,235	13,26	8888	Aktif
Mrc 21	27.07.06	15:00	16,8	33,0	28	8,4	161,0	10,4	52	0,815	0,976	2,083	14,58	9111	Aktif
Mrc 22	27.07.06	15:55	15,4	33,8	24	8,1	148,7	10,1	55	1,178	0,690	2,051	18,21	11202	Aktif
Mrc 23	27.07.06	16:15	15,5	33,8	24	8,0	145,0	10,0	49	0,729	0,682	1,635	12,94	6346	Aktif
Mrc 24	27.07.06	16:30	19,8	33,8	24	7,8	143,0	9,8	57	0,947	0,796	1,962	18,52	10901	Aktif
Mrc 25	26.07.06	15:15	17,4	32,4	24	11,0	216,0	13,0	53	1,161	0,840	2,302	20,63	14242	Aktif
Mrc 26	26.07.06	15:27	16,9	32,5	25	9,5	203,7	11,5	60	1,094	1,148	2,500	20,40	15302	Aktif
Mrc 32	05.08.07	11:20	19,2	26,3	50	13,5	171,4	10,6	47	0,594	0,473	1,229	16,22	5977	Aktif
Mrc 33	05.08.07	11:30	24,8	25,4	53	12,5	171,4	11,6	60	0,202	0,570	0,941	33,79	9537	Aktif

Tablo 14'ün devamı

Parsel /Silvikültürel müdahale durumu	Yakma zamanı Tarih Saat		Hava halleri			Yanıcı madde nem içeriği			TTY ^e (%)	Toplam yanıcı madde tüketimi			Yangın davranış özellikleri		
			Rzg ^b (km/s)	Sıc ^c (°C)	Ne ^d (%)	Ölü (%)	Canlı (%)	Hu mus (%)		Örtü (kg/m ²)	Tepe ^f (kg/m ²)	T _{topl} (kg/m ²)	Yayıma oranı (m/dk)	Yangın şiddeti (kW/m)	Yangın türü ^g
Mrc 34	04.08.07	17:05	13,7	34,2	27	7,6	141,4	8,9	53	0,516	1,088	1,950	20,18	11804	Aktif
Mrc 35	01.08.07	10:50	23,2	26,8	47	13,0	180,8	10,5	59	0,122	0,974	1,222	24,97	9152	Aktif
Mrc 36	04.08.07	13:45	14,8	30,4	35	7,9	159,4	10,4	60	0,799	1,347	2,466	21,14	15640	Aktif
Mrc 37	04.08.07	12:00	13,3	30,0	40	7,2	160,5	9,5	54	0,710	1,469	2,766	12,40	10291	Aktif
Mrc 38	04.08.07	12:50	16,7	29,6	39	12,2	133,8	9,8	54	0,729	1,039	2,051	19,84	12208	Aktif
<u>Aralamadan 1 yıl sonra</u>															
Brg 1	06.08.04	15:48	10,5	36,9	29	10,0	133,2	12,0	60	3,034	1,693	5,481	12,00	19731	Aktif
Brg 2	06.08.04	16:30	16,8	36,9	29	10,3	133,0	12,3	44	4,446	0,858	5,933	14,70	26162	Aktif
Brg 3	06.08.04	16:45	15,8	36,9	29	10,5	131,9	12,5	52	3,592	1,470	5,769	13,29	22994	Aktif
Brg 4	06.08.04	17:00	17,3	35,7	34	10,7	150,7	12,7	54	2,785	1,199	4,448	16,80	22420	Aktif
Brg 5	06.08.04	17:25	15,9	34,4	37	9,0	149,0	11,0	41	3,013	0,683	4,171	12,42	15544	Aktif
Brg 7	06.08.04	18:11	11,8	34,1	37	9,4	199,9	11,4	53	2,827	0,983	4,343	11,25	14657	Aktif
Brg 9	09.08.04	11:12	7,5	29,7	47	17,0	230,8	19,1	24	4,034	0,482	5,106	2,18	3337	Örtü
Brg 10	09.08.04	11:30	7,0	29,7	47	18,3	230,3	20,3	20	2,755	0,410	3,863	4,18	4843	Örtü
Brg 11	09.08.04	11:51	8,1	32,3	42	18,7	204,4	20,8	24	5,024	0,490	6,215	3,94	7340	Örtü
Brg 12	09.08.04	14:30	7,5	34,7	39	17,0	167,0	19,0	23	1,243	0,466	2,382	4,19	2995	Örtü
Brg 13	09.08.04	15:16	7,2	35,1	37	13,0	158,3	15,0	36	5,139	0,835	6,643	3,36	6693	Pasif
Brg 14	09.08.04	15:50	9,0	35,6	36	11,2	157,2	13,2	41	2,518	1,523	4,839	7,96	11554	Aktif
Brg 15	09.08.04	16:05	9,1	35,8	36	18,1	137,2	20,2	39	2,180	0,805	3,741	5,24	5884	Pasif
Brg 16	09.08.04	16:20	8,1	34,8	37	16,7	141,1	18,8	32	4,167	0,630	5,406	4,39	7121	Pasif
Mrc 5	26.07.06	13:46	11,3	30,9	30	11,4	156,6	13,4	59	2,230	0,618	2,993	15,00	13469	Aktif
Mrc 6	26.07.06	15:50	14,1	32,7	25	11,3	208,8	13,3	45	0,994	0,285	1,390	15,42	6430	Aktif
Mrc 7	27.07.06	12:20	13,2	30,0	35	14,1	224,0	16,1	37	0,710	0,383	1,279	7,60	2917	Pasif
Mrc 8	27.07.06	14:30	20,9	32,5	29	7,9	183,3	9,9	57	1,341	0,677	2,223	23,81	15882	Aktif
Mrc 9	27.07.06	15:30	13,1	33,9	27	7,1	165,3	9,1	60	0,903	0,606	1,676	21,75	10937	Aktif
Mrc 10	27.07.06	12:40	19,9	30,5	34	14,2	248,6	16,2	54	0,457	0,396	1,001	21,04	6315	Aktif
Mrc 27	25.08.07	12:30	27,6	39,5	15	7,9	133,3	4,6	60	0,272	0,651	1,119	82,76	27788	Aktif
Mrc 29	10.08.07	17:27	9,4	35,7	26	9,6	168,5	11,5	47	0,348	0,687	1,355	10,41	4232	Aktif
Mrc 30	04.08.07	14:05	24,2	30,4	30	8,1	159,4	10,3	60	0,347	1,324	2,003	22,00	13221	Aktif
<u>Aralamadan 2 yıl sonra</u>															
Slc 25	25.07.05	14:15	11,8	30,9	41	11,8	398,5	16,2	32	1,912	0,477	2,678	4,03	3239	Pasif

Tablo 14'ün devamı

Parsel /Silvikültürel müdahale durumu	Yakma zamanı Tarih Saat		Hava halleri			Yanıcı madde nem içeriği			TTY ^e (%)	Toplam yanıcı madde tüketimi			Yangın davranış özellikleri		
			Rzg ^b (km/s)	Sıc ^c (°C)	Ne ^d (%)	Ölü (%)	Canlı (%)	Hu mus (%)		Örtü (kg/m ²)	Tepe ^f (kg/m ²)	T _{toplam} (kg/m ²)	Yayıma oranı (m/dk)	Yangın şiddeti (kW/m)	Yangın türü ^g
Slc 26	25.07.05	14:30	15,0	29,5	42	12,2	394,3	15,1	58	2,154	0,745	3,199	12,38	11884	Aktif
Slc 27	25.07.05	15:00	3,3	29,7	42	11,1	332,9	14,0	9	1,480	0,171	2,039	0,93	571	Örtü
Slc 28	25.07.05	15:15	9,5	30,1	40	10,9	354,7	13,1	24	2,112	0,261	2,581	4,50	3486	Örtü
Slc 29	25.07.05	17:30	6,8	32,0	22	12,3	310,7	12,7	31	2,420	0,466	3,153	5,25	4962	Pasif
Slc 30	25.07.05	17:50	6,4	31,0	23	13,9	353,3	14,4	37	2,392	0,459	3,125	4,04	3789	Pasif
Slc 31	25.07.05	18:10	7,3	31,0	22	11,3	406,0	15,8	39	2,364	0,551	3,226	5,59	5408	Pasif
Slc 32	25.07.05	18:33	6,3	31,0	23	12,7	342,9	16,1	50	2,174	0,609	3,041	7,45	6800	Pasif
Slc 34	26.07.05	11:05	11,6	27,0	47	13,0	270,3	15,8	28	2,192	0,306	2,717	4,19	3412	Pasif
Slc 38	26.07.05	14:55	7,6	31,0	33	13,6	246,8	11,3	20	1,312	0,189	1,773	4,51	2398	Örtü
Slc 39	26.07.05	15:15	10,0	30,6	31	10,6	242,4	10,4	39	1,586	0,622	2,473	5,36	3980	Pasif
Slc 40	27.07.05	11:15	13,2	27,6	52	7,8	307,0	12,4	49	1,926	1,100	3,585	7,78	8368	Aktif
Slc 42	27.07.05	12:00	17,5	28,8	46	10,8	345,6	13,9	40	1,736	0,351	2,346	8,04	5657	Pasif
Slc 43	27.07.05	12:25	17,5	27,5	48	11,4	382,8	15,1	60	2,251	0,926	3,461	12,96	13457	Aktif
Slc 44	27.07.05	14:40	13,5	28,6	47	12,5	259,0	13,2	41	1,740	0,619	2,707	5,51	4476	Pasif
Slc 45	27.07.05	13:00	18,6	29,2	45	11,6	257,8	12,3	57	2,032	0,857	3,117	13,35	12484	Aktif
Slc 48	22.07.06	14:09	18,2	30,3	38	6,5	239,2	8,5	17	2,353	0,147	2,675	3,65	2931	Pasif
Slc 49	22.07.06	14:48	25,3	30,8	34	6,4	237,0	8,4	51	1,518	0,664	2,384	11,12	7955	Pasif
Slc 50-1	22.07.06	15:13	25,4	30,9	33	6,3	236,7	8,3	18	1,935	0,226	2,375	6,89	4908	Pasif
Slc 50-2	22.07.06	15:13	25,6	30,9	33	6,0	236,0	8,0	47	2,075	0,824	3,195	10,75	10309	Pasif
\bar{X}			13,8	31,3	37,8	12,1	244,2	14,5	44	1,829	0,790	3,026	12,21	9436	
S			5,6	37,9	10,3	3,7	88,4	4,5	14,2	1,062	0,381	1,295	10,77	5752	

^a Silvikültürel müdahaleden (aralama)sonra geçen zaman (yıl)

Rzg: Rüzgâr hızı, Sıc:Hava sıcaklığı, Ne:Bağıl nem,

^e Ağaç tepesinde tüketilen toplam canlı yanıcı madde miktarının yüzde değeri

^f Ağaç tepesinde tüketilen toplam canlı yanıcı madde miktarı

Yanıcı madde tüketimi, yangın şiddetinin en önemli göstergelerinden birisidir (Byram, 1959). Deneme yangınlarında en yüksek yanıcı madde tüketimi (YMT), 6,64 kg/m² ile Brg 13 yangınında gerçekleşmiştir. Aralamadan bir yıl sonra yakılan ve yoğun kesim artıkları bulunan Brg 13 parselinde birim alandaki ölü örtü yanıcı madde miktarı, parseldeki tepe yanıcı madde miktarının yaklaşık iki katıdır. Brg 13 yangını, pasif tepe yangını şeklinde ilerlemiş ve ölü örtünün tamamı yangın sırasında yanmıştır. Böylece, toplam yanıcı madde tüketimi en yüksek yangın olarak veri tabanında yer almıştır. Deneme yangını veri setindeki Mrc 33 yangını, 33,8 m/dk ile ikinci en yüksek yayılma oranı sahip olmasına karşın, tepe ve ölü örtü yanıcı madde miktarı düşük olduğundan en az yanıcı madde tüketimi bu yangında kaydedilmiştir. Bu durum yanıcı madde miktarının, yangın yayılma oranı ve yanıcı madde tüketimi ile yakından ilişkili olduğunu göstermektedir.

Rüzgâr hızı yayılma oranı üzerinde etkili olan en önemli faktörlerin başında gelir. Bununla birlikte ölü örtü, tepe ve merdiven yanıcı maddelerin miktarı, düzeni, sürekliliği ile nem içeriği (Wilson, 1985) gibi değişkenlerin de yayılma oranı üzerinde etkili olduğu bilinmektedir (Gould vd., 2007; Countryman, 1972; Rothermel, 1983; Chandler vd., 1991; Catchpole, 1998a; Burrows, 1999). Yayılma oranı üzerinde tüm bu değişkenlerin etkisini tam anlamı ile ortaya koyabilmek oldukça zordur. Deneme yangını parsellerinin yanıcı madde özellikleri bakımından homojen yapıdaki ağaçlandırma alanlarından seçilmesine karşın, parseller kendi içerisinde meşcere ve yanıcı madde özellikleri bakımından değişkenlik göstermiştir. Deneme yangınlarının gerçekleştirildiği parseller, aynı yaşlı ve aynı yapıda birbirine benzer üç farklı yerdeki ağaçlandırma sahalarından seçilmiş olsalar da, Meriç'teki parsellerin meşcere boyu, Suluca ve Barağı'daki parsellerin meşcere boyundan 2-3 metre daha kısadır. Parsellerin meşcere boyundaki bu farklılıkla birlikte diğer yanıcı madde özelliklerinde değişimler meydana gelmiştir. Ayrıca, deneme yangınlarının Temmuz ve Ağustos aylarında, birbirini izleyen dört yıl içerisinde yapılmış olması, yanıcı madde nem içerikleri açısından belli ölçüde bir değişkenliğin yakalanmasını mümkün kılmıştır. Böylece meşcere ve yanıcı madde özelliklerindeki farklılıklar, mevcut rüzgâr koşullarında yangın davranışında büyük değişimlerin gözlenebilmesine imkân sağlamıştır. Gerçekleştirilen deneme yangınlarından bazılarına ilişkin çekilen fotoğraflar aşağıda verilmiştir (Şekil 27).



Şekil 27. Aktif tepe yangını olarak gerçekleşen deneme yangınlarının bazılarının bir görünüm

3.2.1.1. Tüm Deneme Yangınlarına İlişkin Bulgular

Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen 76 deneme yangınının tümü, yangın davranış analizlerinde kullanılmıştır. Yangın davranışı, yanıcı madde özellikleri ve meteorolojik parametreler arasındaki ilişkileri belirlemek için bağımlı ve bağımsız değişken değerlerine tek örnekli Kolmogorov-Smirnov (K-S) testi uygulanarak normal dağılım kontrolü yapılmış ve korelasyon analizleri gerçekleştirilmiştir (Tablo 15, 16). En yüksek yayılma oranına sahip olan deneme yangınının (Mrc 27) ortalamaya olan etkisini gidermek için, analizlere katılmadan ikinci bir korelasyon analizi yapılmıştır (Tablo 16). Ayrıca, yangın davranış bileşenlerinin farklı değişkenlerle ilişkilerini belirlemek ve veri aralığını görebilmek için ikili grafiklerden yararlanılmıştır (Şekil 28).

Yapılan korelasyon analizi, yayılma oranı ile rüzgâr hızı arasında kuvvetli bir ilişki olduğu sonucunu ortaya koymuştur ($r=0,668$; $P<0,01$) (Tablo 15). Ekstrem yayılma oranı değerine sahip deneme yangınının veri tabanından çıkarılması durumunda bu ilişkinin daha da kuvvetlendiği görülmüştür ($r=0,714$; $P<0,01$) (Tablo 16). Böylece, önceki arazi çalışmaları ve laboratuvar çalışmalarını ile benzer sonuçlar elde edilmiş ve yayılma oranındaki değişkenliğin açıklanmasında rüzgâr hızının tek başına önemli bir bağımsız değişken olduğu kanıtlanmıştır (Stocks, 2004; Taylor vd., 2004; Küçük, 2004; Sağlam, 2005). Rüzgâr hızının artmasıyla birlikte yayılma oranının arttığı ve yangın türüne bağlı olarak rüzgâr hızındaki bu artışın yangın davranışında önemli bir etkiye sahip olduğu anlaşılmıştır (Şekil 28a). Ancak, yüksek rüzgâr hızlarında yakılan Slc 42, Slc 48, Slc 49, Slc 50 ve Slc 51 parsellerinin, benzer rüzgâr hızlarında yakılan diğer deneme yangınlarına nazaran daha düşük bir yayılma oranına sahip oldukları görülmüştür. Bu durum, yayılma oranı üzerinde rüzgâr hızı ile birlikte başka değişkenlerin de etkisinin varlığını göstermektedir. Nitekim aralamadan iki yıl sonra yakılan bu beş yangının yanıcı madde özellikleri bakımından bazı farklılıklar içerdiği belirlenmiştir. Bu deneme yangınlarındaki söz konusu farklılıklar; (1) tepe kapalılığının oldukça kırılmış olması, (2) örtü ile tepe arasında merdiven yanıcı maddeler olarak adlandırılan tepe altı boşluğundaki kuru dalların ve asılı ibrelerin bulunmayışı (3) ölü örtüde yer alan kesim artıklarındaki ibrelerin önemli bir kısmının dökülmüş olması (4) yatay ve dikey yanıcı madde sürekliliğinin az olması olarak sıralanabilir.

Tablo 15. Tüm deneme yangınlarına ait yangın davranışı, yanıcı madde özellikleri ve hava halleri arasındaki korelasyon matrisi

	YO	YMT	YS	RZG	RZG _{h-1}	RZG _{h-2}	RZG _{sh}	MİR	MİR _{h-1}	MİR _{h-2}	YF	SCK	BN	YNib	YNö	YN ₀₃	YN ₀₆	YNhm	YMKB
YO	1	-,398**	,636**	,668**	-,386**	-,443**	,450**	,647**	-,242*	-,408**	,520**	,237*	-,326**	-,387**	-,290*	,348**	,449**	-,466**	-,392**
YMT	-,398**	1	,267*	-,404**	,080	,097	-,167	-,494**	-,276*	-,026	-,380**	,308**	,232*	,070	,334**	,085	-,050	,430**	,653**
YS	,636**	,267*	1	,477**	-,486**	-,507**	,413**	,353**	-,572**	-,544**	,326**	,470**	-,209	-,362**	-,181	,401**	,432**	-,244*	-,076
Kap	-,028	,345**	,287*	1	-,401**	-,418**	,534**	,977**	-,171	-,352**	,808**	-,071	-,114	-,307**	-,430**	,267*	,387**	-,536**	-,448**
Gyz	-,300**	,515**	,083	,415**	1	,919**	-,106	-,362**	,829**	,874**	-,259*	-,199	,186	,162	,136	-,214	-,259*	,176	,210
Tha	-,266*	,480**	,074	,417**	,950**	1	-,090	-,372**	,796**	,976**	-,294**	-,213	,199	,194	,165	-,230*	-,287*	,186	,182
Tor	,381**	-,510**	,182	,017	-,472**	-,512**	1	,513**	-,015	-,066	,347**	-,034	,044	-,094	-,131	,138	,171	-,193	-,225
TaY	-,406**	,693**	-,068	,165	,552**	,557**	-,939**	1	-,040	-,274*	,795**	-,122	-,114	-,264*	-,421**	,217	,339**	-,553**	-,482**
MYM	-,182	,629**	,198	,511**	,685**	,729**	-,528**	,691**	1	,875**	-,065	-,304**	,070	,213	,003	-,298**	-,293*	-,052	-,099
YMM _{at}	-,248*	,623**	,213	,535**	,921**	,901**	-,353**	,526**	,784**	1	-,234*	-,245*	,147	,219	,113	-,273*	-,310**	,106	,067
ln_YMM _a	-,576**	,840**	,054	,331**	,362**	,344**	-,417**	,562**	,521**	,439**	1	,081	-,407**	-,393**	-,823**	,303**	,430**	-,803**	-,446**
YMMö	-,480**	,919**	,068	,166	,260*	,223	-,500**	,638**	,411**	,344**	,857**	1	-,598**	-,521**	-,131	,549**	,563**	-,203	,093
YMMt	-,248*	,623**	,213	,535**	,921**	,901**	-,353**	,526**	,784**	1,000**	,439**	,344**	1	,465**	,573**	-,396**	-,481**	,614**	,458**
YMM	-,469**	,963**	,142	,389**	,653**	,626**	-,572**	,751**	,712**	,749**	,830**	,877**	,749**	1	,394**	-,910**	-,943**	,574**	,218
YMTö	-,471**	,925**	,081	,171	,255*	,217	-,491**	,634**	,421**	,343**	,856**	,997**	,343**	,875**	1	-,258*	-,363**	,873**	,478**
YMTt	,172	,394**	,638**	,440**	,594**	,558**	,045	,102	,454**	,683**	,116	,024	,683**	,350**	,038	1	,970**	-,434**	-,084
YMTt _{yz}	,597**	-,154	,684**	,135	-,108	-,125	,466**	-,427**	-,136	-,055	-,335**	-,382**	-,055	-,313**	-,362**	,645**	1	-,545**	-,197
YMTat	,115	,446**	,600**	,454**	,636**	,596**	-,005	,162	,499**	,727**	,167	,077	,727**	,411**	,091	,993**	,588**	1	,559**
YMTib	,089	,459**	,576**	,449**	,640**	,599**	-,021	,180	,506**	,731**	,185	,094	,731**	,425**	,109	,981**	,565**	,997**	1

** 0,01 güven düzeyinde anlamlı

* 0,05 güven düzeyinde anlamlı

a: tanımsız

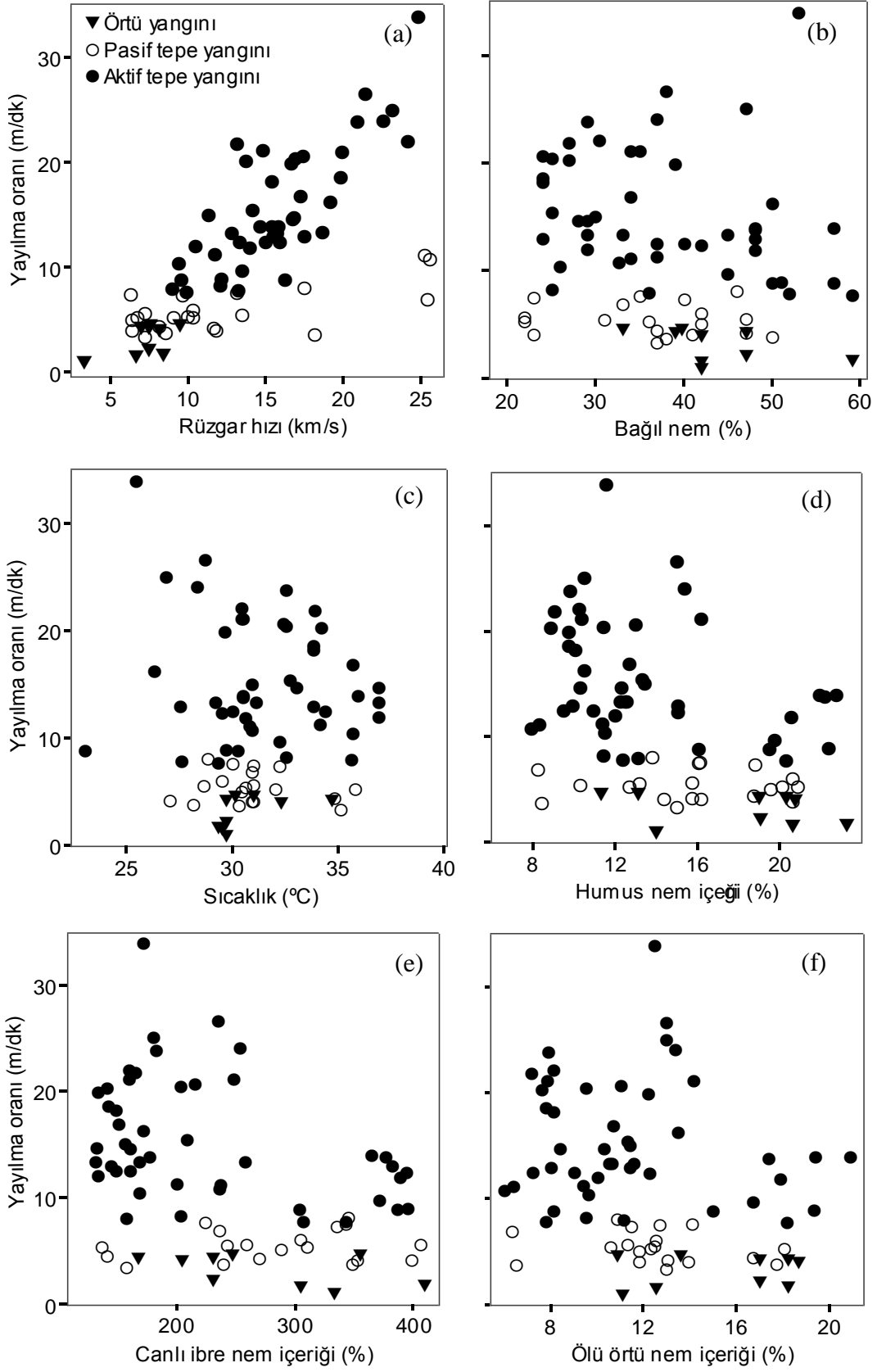
Tablo 16. Deneme yangınlarına ait yangın davranışı, yanıcı madde özellikleri ve hava halleri arasındaki korelasyon matrisi (Mrc 27 yangını hariç tutulmuştur)

	YO	YMT	YS	RZG	RZG _{h-1}	RZG _{h-2}	RZG _{sh}	MİR	MİR _{h-1}	MİR _{h-2}	YF	SCK	BN	YNib	YNö	YN ₀₃	YN ₀₆	YNhm	YMKB
YO	1	-.444(**)	.574(**)	.714(**)	-.475(**)	-.517(**)	.465(**)	.671(**)	-.320(**)	-.475(**)	.458(**)	-.026	-.204	-.419(**)	-.305(**)	.337(**)	.429(**)	-.438(**)	-.509(**)
YMT	-.444(**)	1	.352(**)	-.410(**)	.072	.079	-.159	-.502(**)	-.279(*)	-.044	-.360(**)	.387(**)	.202	.058	.317(**)	.106	-.024	.405(**)	.658(**)
YS	.574(**)	.352(**)	1	.391(**)	-.479(**)	-.493(**)	.356(**)	.246(*)	-.595(**)	-.536(**)	.230(*)	.395(**)	-.122	-.322(**)	-.152	.357(**)	.370(**)	-.171	-.041
Kap	.020	.336(**)	.330(**)	1	-.382(**)	-.396(**)	.491(**)	.974(**)	-.148	-.325(**)	.793(**)	-.201	-.035	-.262(*)	-.432(**)	.212	.328(**)	-.516(**)	-.447(**)
Gyz	-.291(*)	.515(**)	.166	.418(**)	1	.919(**)	-.076	-.340(**)	.829(**)	.873(**)	-.235(*)	-.173	.164	.141	.128	-.193	-.235(*)	.159	.201
Tha	-.284(*)	.484(**)	.140	.422(**)	.950(**)	1	-.056	-.345(**)	.800(**)	.975(**)	-.262(*)	-.175	.168	.172	.151	-.207	-.260(*)	.156	.170
Tor	.553(**)	-.531(**)	.169	.012	-.469(**)	-.507(**)	1	.470(**)	.011	-.032	.301(**)	-.115	.106	-.050	-.117	.091	.115	-.157	-.209
TaY	-.545(**)	.702(**)	-.036	.165	.547(**)	.552(**)	-.941(**)	1	-.009	-.241(*)	.776(**)	-.259(*)	-.033	-.217	-.419(**)	.159	.275(*)	-.530(**)	-.482(**)
MYM	-.236(*)	.624(**)	.219	.507(**)	.706(**)	.752(**)	-.555(**)	.706(**)	1	.878(**)	-.048	-.305(**)	.059	.200	.002	-.287(*)	-.283(*)	-.062	-.108
YMM _{at}	-.238(*)	.619(**)	.288(*)	.534(**)	.922(**)	.904(**)	-.355(**)	.523(**)	.793(**)	1	-.201	-.212	.116	.198	.099	-.251(*)	-.285(*)	.076	.054
In_YMM _a	-.547(**)	.846(**)	.202	.329(**)	.338(**)	.331(**)	-.435(**)	.572(**)	.537(**)	.424(**)	1	-.025	-.355(**)	-.364(**)	-.836(**)	.262(*)	.384(**)	-.792(**)	-.442(**)
YMMö	-.550(**)	.924(**)	.152	.160	.241(*)	.208	-.503(**)	.637(**)	.416(**)	.330(**)	.860(**)	1	-.563(**)	-.503(**)	-.096	.529(**)	.529(**)	-.132	.130
YMMt	-.238(*)	.619(**)	.288(*)	.534(**)	.922(**)	.904(**)	-.355(**)	.523(**)	.793(**)	1,000(**)	.424(**)	.330(**)	1	.445(**)	.565(**)	-.370(**)	-.448(**)	.588(**)	.452(**)
YMM	-.524(**)	.968(**)	.237(*)	.387(**)	.645(**)	.622(**)	-.579(**)	.753(**)	.725(**)	.744(**)	.829(**)	.873(**)	.744(**)	1	.389(**)	-.907(**)	-.944(**)	.567(**)	.205
YMTö	-.550(**)	.924(**)	.152	.160	.241(*)	.208	-.503(**)	.637(**)	.416(**)	.330(**)	.860(**)	1,000(**)	.330(**)	.873(**)	1	-.248(*)	-.353(**)	.877(**)	.475(**)
YMTt	.293(*)	.384(**)	.694(**)	.435(**)	.623(**)	.588(**)	.025	.112	.438(**)	.697(**)	.112	.024	.697(**)	.359(**)	.024	1	.970(**)	-.416(**)	-.067
YMT _{t_yz}	.770(**)	-.170	.678(**)	.132	-.071	-.092	.456(**)	-.425(**)	-.181	-.039	-.324(**)	-.376(**)	-.039	-.304(**)	-.376(**)	.640(**)	1	-.524(**)	-.180
YMT _{at}	.223	.435(**)	.659(**)	.449(**)	.666(**)	.627(**)	-.027	.173	.483(**)	.743(**)	.161	.075	.743(**)	.420(**)	.075	.993(**)	.580(**)	1	.559(**)
YMT _{ib}	.189	.447(**)	.635(**)	.443(**)	.673(**)	.632(**)	-.045	.192	.489(**)	.749(**)	.178	.092	.749(**)	.435(**)	.092	.980(**)	.554(**)	.997(**)	1

** 0,01 güven düzeyinde anlamlı

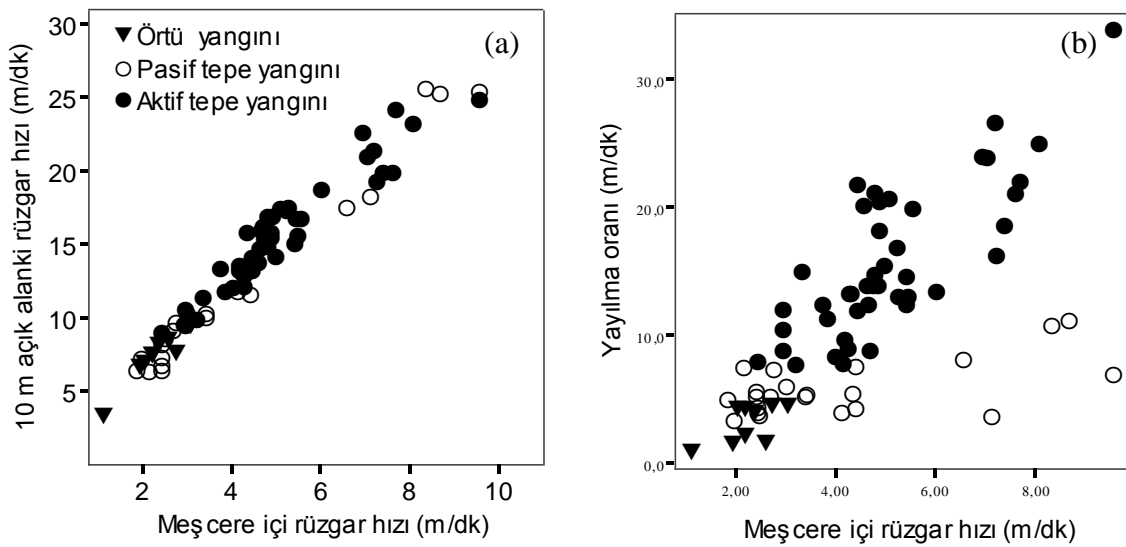
* 0,05 güven düzeyinde anlamlı

a: tanımsız



Şekil 28. Deneme yangınlarına ait yayılma oranı değerleri ile yangın hava halleri arasındaki bazı önemli açıklayıcı değişkenlerin yangın tiplerine göre dağılımı

Açık alanda ölçülen rüzgâr hızı, meşcere kapalılığı, ağaç boyu ve tepe altı yüksekliği gibi değişkenlere bağlı olarak, meşcere içerisinde daha az hissedilir (Rothermel, 1983; Andrews, 2012). Özellikle örtü yangını yayılma oranı ve yangın şiddeti üzerinde meşcere içi rüzgâr hızının etkili olduğu bilinmektedir. Deneme yangınlarında, meşcere özelliklerine bağlı olarak hesaplanan meşcere içi rüzgâr değerleri ve 10 metre yüksekteki rüzgâr hızı değerinin yayılma oranlarına bağlı olarak değişimine ilişkin ikili grafik incelenmiştir (Şekil 29). Meşcere içi rüzgâr hızının, yaklaşık olarak açık alanda ölçülen rüzgâr hızından üç kat daha az olduğu görülmüştür.



Şekil 29. Meşcere boyu ve kapalılığına bağlı olarak hesaplanan meşcere içi rüzgâr hızı ile (a) 10 m yükseklikteki açık alanda ölçülen rüzgâr hızı ve (b) yayılma oranı arasındaki ilişkinin yangın türlerine göre dağılımı

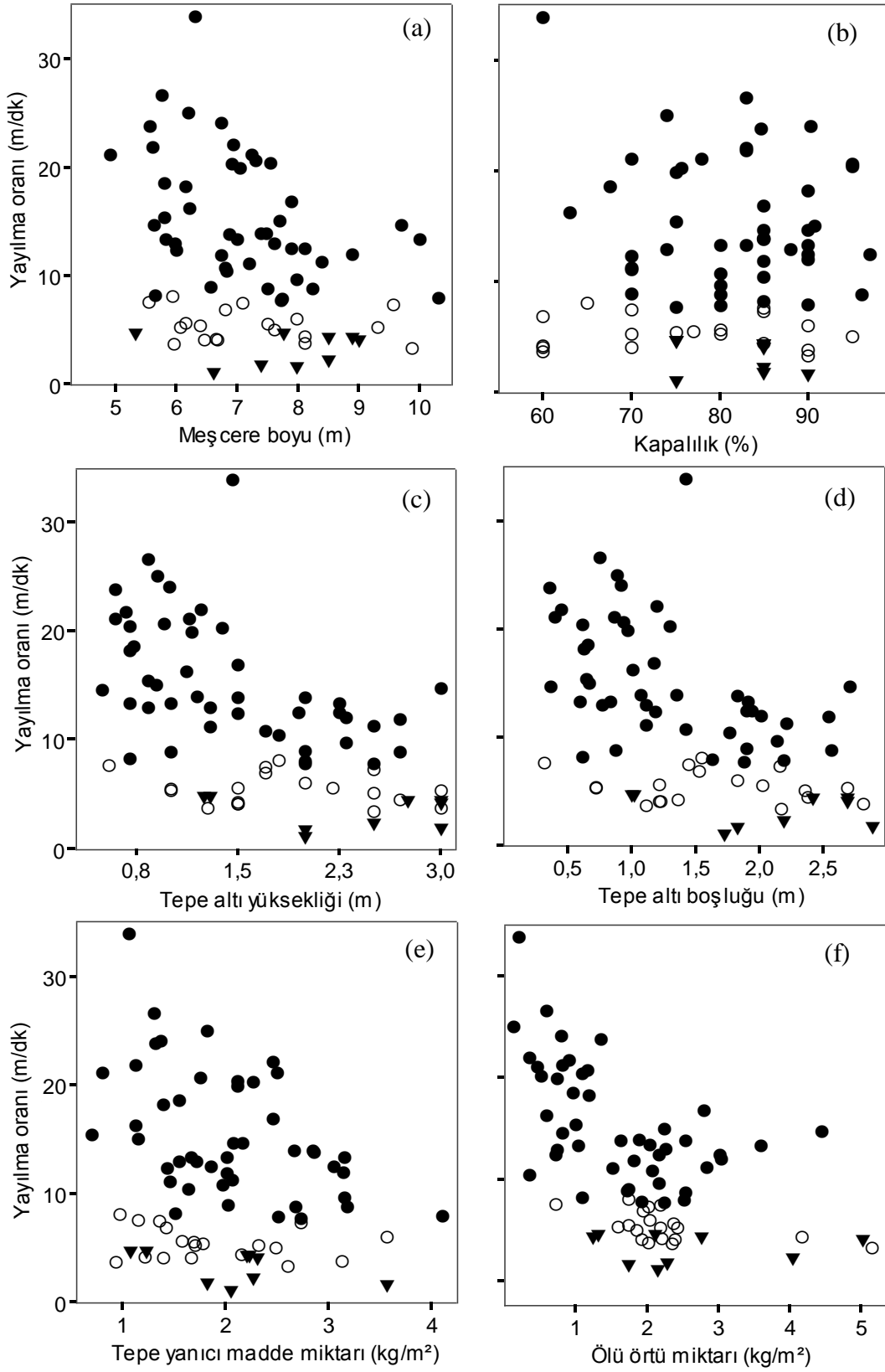
Hava sıcaklığı ve bağıl nem ile yayılma oranı arasında kuvvetli bir ilişki bulunamamıştır (Tablo 15). Bağıl nem ile yayılma oranı arasında bir ilişki görülmezken, aktif tepe yangını olarak ilerleyen yangınlarda bağıl nemin artmasıyla birlikte yayılma oranının nispeten azaldığı söylenebilir (Şekil 29b). Bu durum, bağıl nem ile yanıcı madde nemi arasında yakın bir ilişki olmasının (Fosberg ve Deeming, 1971, Pickett, 2010) ve yanıcı madde neminin artmasıyla birlikte yayılma oranının azalmasının (Fernandes, 2001; Bilgili ve Sağlam, 2003) bir sonucu olduğu düşünülmektedir.

Canlı ibre nem içeriği ile yayılma oranı arasında orta düzeyde ($r=0.419$; $P<0.01$) bir ilişkinin olduğu (Tablo 15) görülmüştür. Bazı teorik (örn., Van Wagner, 1974; 1993) ve laboratuvar (örn., Van Wagner, 1967a; Xanthopoulos ve Wakimoto, 1993) çalışmaları ile canlı yanıcı madde nem içeriğinin yanıcı madde tutuşması ve tüketimi üzerinde oldukça

etkili olduğu belirtilmiştir. Ancak, yapılan birçok deneysel çalışmaya rağmen canlı yanıcı madde nem içeriği ile yayılma oranı arasında olduğu düşünülen ilişki sayısal olarak belirlenememiş (Alexander, 1998; Cruz, 1999; Cruz, 2005; Marsden-Smedley ve Catchpole, 1995) ve canlı yanıcı madde nem içeriğinin yangın dinamiklerini nasıl etkilediği açıklanamamıştır (Weise vd., 1998). Bu çalışmada da, canlı ibre nemi ile yayılma oranı arasında kısmen azalan bir ilişki görülmekle birlikte (Şekil 29e), bu etkinin ibre neminin düşük olduğu deneme yangınlarında rüzgâr hızının nisbeten yüksek olmasından kaynaklanan bir durum olduğu görülmüştür. Dolayısıyla, canlı ibre neminin yayılma oranı üzerine olan etkisi mevcut çalışma kapsamında ortaya konulamamıştır.

Ölü örtü nemi ile yayılma oranı arasında orta düzeyde (sırasıyla, $r=0.419$; $P<0.01$ ve $r=0.305$; $P<0.01$) bir ilişkinin olduğu görülmüştür (Tablo 15, 16). Yayılma oranı üzerinde diğer değişkenlerin (özellikle rüzgâr hızı, tepe altı yüksekliği vb.) etkisi ve ölü örtü nemi değişim aralığının geniş bir yelpazeyi kapsamamış olması nedeniyle, ölü yanıcı madde nemi ile yayılma oranı arasındaki ilişki tam olarak görülememiştir.

Deneme yangınlarının gerçekleştirildiği günlerde ölü örtü yanıcı madde nemi %6-21 arasında değişkenlik göstermiştir. Ölü örtü neminin daha düşük değerlerde olduğu deneme yangını gerçekleştirilmenin oldukça zor olması nedeniyle, yayılma oranı ile aralarında olabilecek daha güçlü bir ilişkinin varlığı kanıtlanamamıştır. Ancak, ölü örtü neminin düşmesi sonucunda yayılma oranında belirgin artış olacağı beklenen bir durumdur (Stocks, 1987; 1989; Alexander ve Quintilio, 1990; Xanthopoulos, 1990; Cruz vd., 2003). Yayılma oranındaki değişkenliğin, ölü örtü nemi, ibre nemi ve bağıl nemdeki değişkenlik ile oldukça benzer olduğu göze çarpmaktadır (Şekil 29 b-e-f). Bu benzerlik, yanıcı madde nem içeriği üzerinde bağıl nemin etkili bir faktör olduğunu göstermektedir. Meşcere boyu, tepe altı yüksekliği ve tepe altı boşluğu ile yangının yayılma oranı arasında orta düzeyde (Tablo 15 ve 16), negatif yönde bir ilişki olduğu belirlenmiştir. Diğer yandan, kendi aralarında kuvvetli bir ilişkiye sahip olan meşcere boyu, tepe altı yüksekliği ve tepe altı boşluğu değerleri değiştikçe, yangın türü bakımından belirgin bir farklılığın olduğu görülmüştür (Şekil 30 a-c-d). Mevcut yangın davranış modelleri, tepe yangını başlama ve yayılma durumunu bu değişkenlerin etkisiyle açıklamaktadır (Van Wagner, 1977; Cruz 2005). Yayılma oranı ile tepe yanıcı madde miktarı arasında zayıf bir ilişki görülürken ($r=-0,238$; $P<0,01$), ölü örtü miktarı ile yayılma oranı arasında daha güçlü bir ilişki ($r=-0,550$; $P<0,01$) olduğu belirlenmiştir (Şekil 30 e-f).

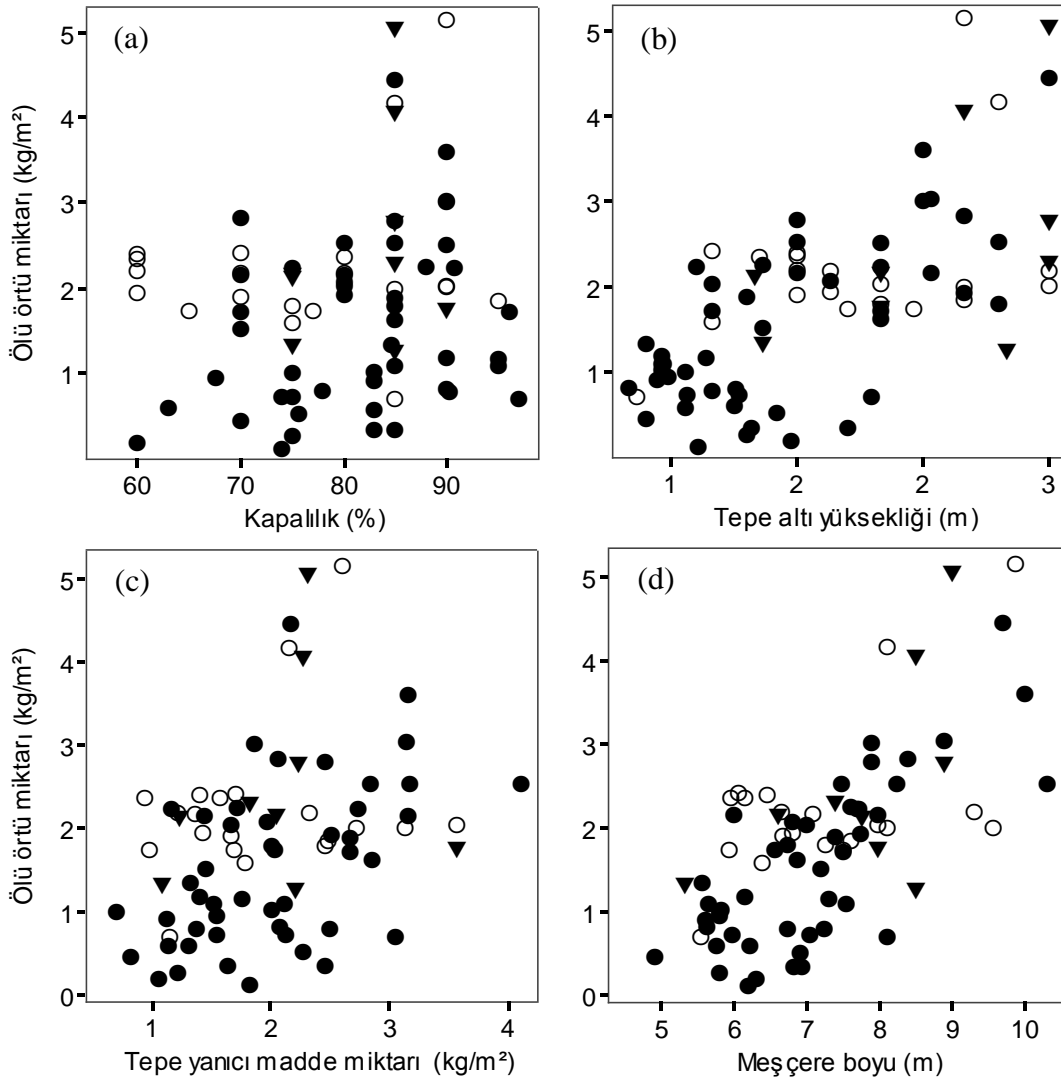


Şekil 30. Deneme yangınların yayılma oranı ile bazı önemli açıklayıcı meşcere ve yanıcı madde özellikleri değişkenlerinin yangın tiplerine göre dağılımı

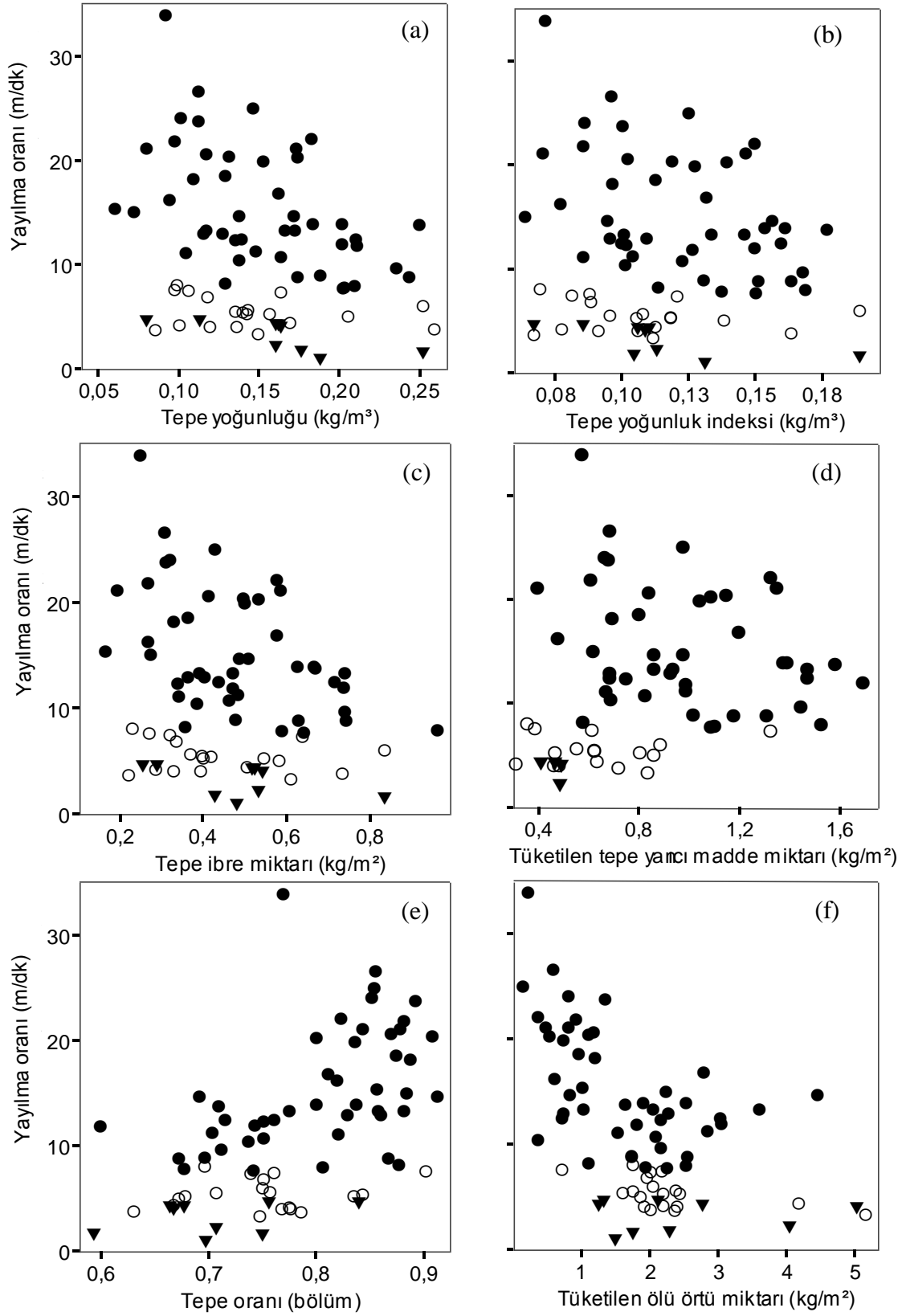
Yayılma oranı ile ölü örtü miktarı ve tepe yanıcı madde miktarı arasında azalan bir ilişki olması dikkat çekicidir. Bu durum, ölü örtü ve tepe yanıcı madde miktarının artması durumunda yayılma oranının da artacağı beklentisi ile ters düşmektedir. Gözlemlenen bu sonucun, yayılma oranı üzerinde etkili olan diğer değişkenlerin etkisinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Bilindiği üzere, tepe yanıcı madde miktarı, ağaç boyunun büyümesi ile birlikte artar. Artan ağaç boyu beraberinde tepe boyunu ve tepe altı yüksekliğini de artırır. Meşcere özelliklerindeki bu değişim, yayılma oranında gözle görülür bir azalma ile sonuçlanmaktadır (Keyes, 2002). Bununla beraber, ağaç boylarındaki artış ve zaman içinde genişleyen ağaç tepeleri meşcere kapalılığını yükseltmektedir. Böylece, meşcere içi rüzgâr dinamikleri değişerek, meşcere içi rüzgâr hızı, açık alanda ölçülen rüzgâr hızından çok daha düşük olmaktadır. Bunun sonucunda, örtü yangını olarak ilerleyen bir yangının, tepe yangınına dönüşmesi için gerekli yangın şiddetine ulaşma olasılığı azalmaktadır. (Van Wagner, 1977).

Ölü örtü miktarının artması ile birlikte yayılma oranının artacağı beklentisinin, gerçekleştirilen deneme yangınlarında görülememe nedenlerinden birisi, aralama görmüş ve görmemiş deneme yangınlarının birlikte değerlendirilmiş olması ve ölü örtü miktarı düşük olan parsellerin çoğunlukla yüksek rüzgârlarda yakılmış olmasındandır. Aralama sonrasında, kapalılık azalmış, tepedeki yanıcı maddeler, örtüye dâhil edilerek ölü örtü miktarını artırmıştır. Aralama sonrasında yanıcı madde miktarındaki bu yer değiştirme, benzer hava koşullarında yakılan ve aynı meşcere yapısına sahip parsellerde, aralama görmemiş alanlara kıyasla tepe yangını yayılma oranında bir azalma ile sonuçlanır. Ancak aralamaya bağlı olarak ölü örtü miktarındaki artışın yangın davranışı üzerindeki etkisi, özellikle rüzgâr hızı ve tepe yoğunluğu gibi değişkenlerin baskılaması nedeniyle tam olarak görülememiştir (Şekil 31). Meşcere tepe çatısında yer alan canlı ibre ve 0,0-0,6 mm kalınlığındaki ince dal fırın kurusu ağırlıkları toplamının, meşcere boyuna oranını ifade eden tepe yoğunluğu (TY), yayılma oranı üzerinde önemli etkiye sahip değişkenlerden birisidir (Van Wagner, 1977; Alexander, 1988; Cruz, 2005). Meşcerede TY arttıkça yayılma oranının arttığı bilinmektedir (Van Wagner, 1989). Yapılan deneme yangınlarında, tepe yoğunluğu ile yayılma oranı arasında azalan yönde bir ilişkinin varlığı belirlenmiştir (Şekil 32a). Yayılma oranı ile TY arasında belirlenen bu ilişkinin, yayılma oranı üzerinde etkili olan diğer değişkenlerin bir sonucu olup olmadığını görebilmek amacıyla, rüzgâr hızı ve tepe altı yüksekliği değişkenlerinin yayılma oranı ile dağılımı tek bir grafik üzerinde incelenmiştir (Şekil 29).

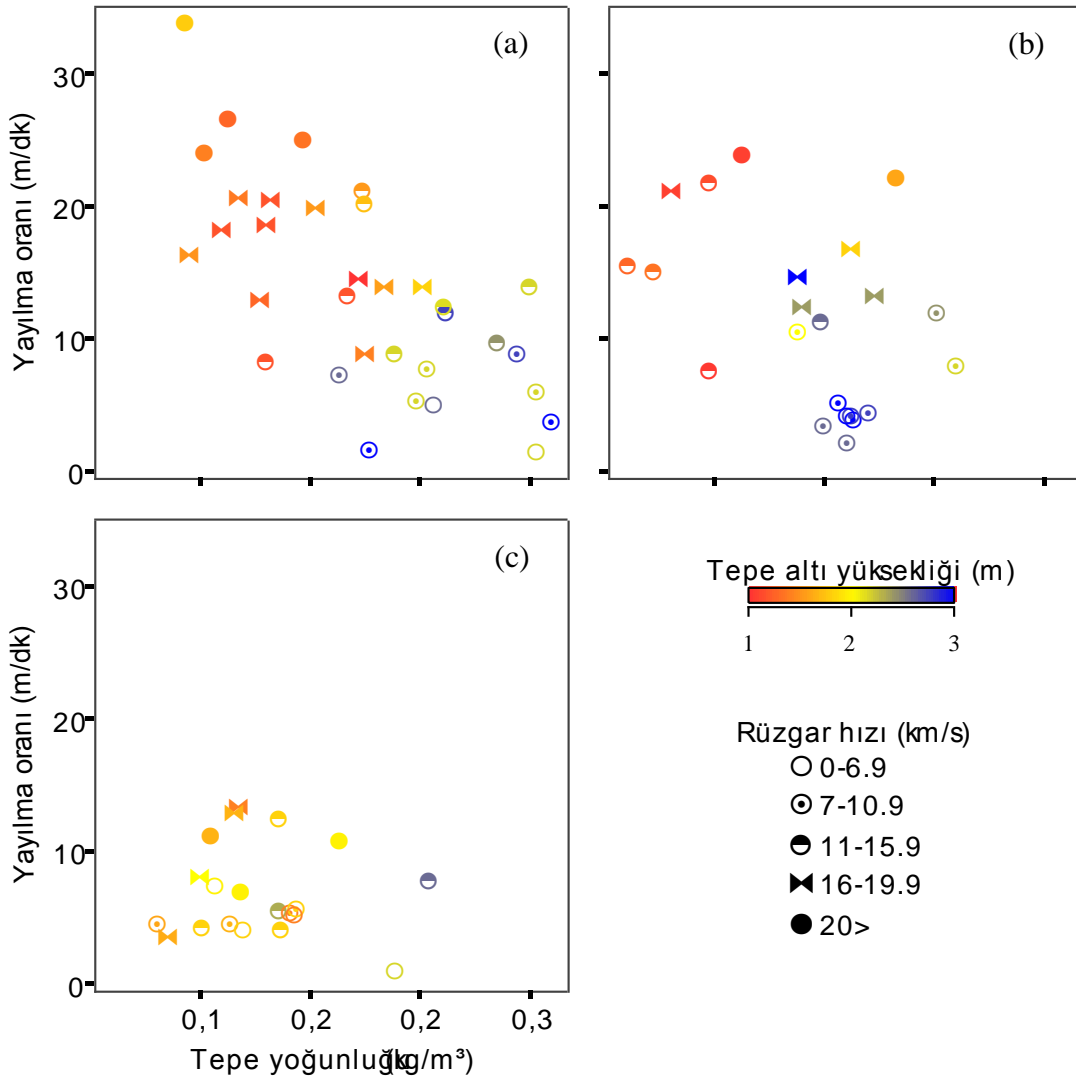
Aralama görmemiş deneme yangınlarında TY yüksek olan parsellerin, düşük rüzgârlarda yakıldığı ve bu parsellerdeki tepe altı yüksekliklerinin oldukça yüksek olduğu anlaşılmıştır. Deneme yangınlarında yayılma oranı ile TY arasındaki azalan ilişki, yangın davranışı üzerine diğer değişkenlerin baskın etkisinin bir sonucu olduğu düşünülmektedir. Ağaç boyu aynı, tepe boyu farklı meşcereler arasındaki tepe yoğunluğu farkını belirleyebilmek için yeni bir tepe yoğunluk indeksi hesaplanmıştır (Bilgili, 1995). Aktif tepe yanıcı madde miktarının tepe boyuna bölünmesiyle elde edilen yeni tepe yoğunluk indeksinin yayılma oranı ile ilişkisi incelenmiştir (Şekil 33b). Ancak, tepe altı yüksekliğinde belirgin bir farklılığın olmayışı, tepe yoğunluğu ve tepe yoğunluk indeksi arasındaki ayırımın görülebilmesine imkân vermemiştir.



Şekil 31. Deneme yangınları ölü örtü miktarının, (a) kapalılık, (b) tepe altı yüksekliği, (c) tepe yanıcı madde miktarı ve (d) meşçere boyuna bağlı olarak değişimi



Şekil 32. Deneme yangınları yayılma oranı ile meşcere ve yanıcı madde özelliklerinden bazı önemli açıklayıcı değişkenlerin yangın tiplerine göre dağılımı



Şekil 33. Deneme yangınlarının yayılma oranı ve tepe yoğunluğuna bağlı olarak dağılımının, rüzgâr hızı ve tepe altı yüksekliğine göre değişimi, (a) Aralama görmemiş parseller (b) aralamadan bir yıl sonra yakılan parseller (c) aralamadan iki yıl sonra yakılan parseller.

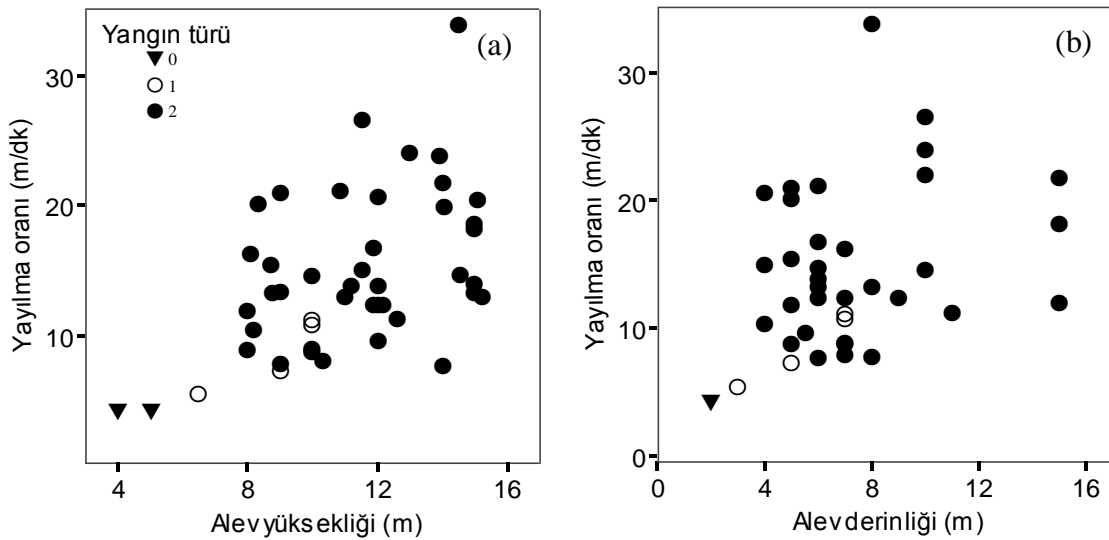
Deneme yangını parsellerinde, tepe ibre miktarının, yayılma oranı ile zayıf bir ilişki gösterdiği, tepedeki ibre miktarı artışının özellikle aktif tepe yangınlarında yayılma oranını azaltıcı yönde bir etki yaptığı görülmüştür (Şekil 32c). Ancak, tepedeki ibre ve ince dal miktarının artmasının, yayılma oranında belirgin bir artışa neden olduğu bilinmektedir (Parson, 2011; Van Wagner, 1977; Cruz, 2005). Gerçekleştirilen deneme yangınlarında bu durumun görülememesi yayılma oranı üzerinde etkili olan diğer faktörlerin baskın olmalarından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Tepe boyunun ağaç boyuna bölümü ile elde edilen tepe oranı, aynı boydaki değişik tepe altı yüksekliklerine sahip meşcereler arasındaki farklılığı ifade etmektedir. Tepe oranı, yangın davranış çalışmalarında sıkça kullanılan önemli bir değişkendir. Gerçekleştirilen

deneme yangını parsellerinde tepe oranı ile yayılma oranı arasında orta düzeyde bir doğrusal ilişki görülmüştür.

Orman yangınlarında, tüketilen ölü örtü ve tepe yanıcı madde miktarı yangın davranışını belirler. Gerçekleştirilen deneme yangınlarında tüketilen ölü örtü miktarı ile yayılma oranı arasında orta düzeyde bir ilişkinin var olduğu ($r=-0,550$; $P<0,01$) (Tablo 16) ve yangın türüne göre aralarında belirgin bir farklılığın olmadığı tespit edilmiştir (Şekil 32f). Tüketilen tepe yanıcı madde miktarı ile yayılma oranı arasında zayıf bir ilişkinin olduğu ($r=-0,273$; $P<0,05$), buna karşın tüketilen tepe yanıcı madde yüzde değeri ile çok güçlü bir ilişki ($r=-0,770$; $P<0,01$) (Tablo 16) gösterdiği görülmüştür (Şekil 32d).

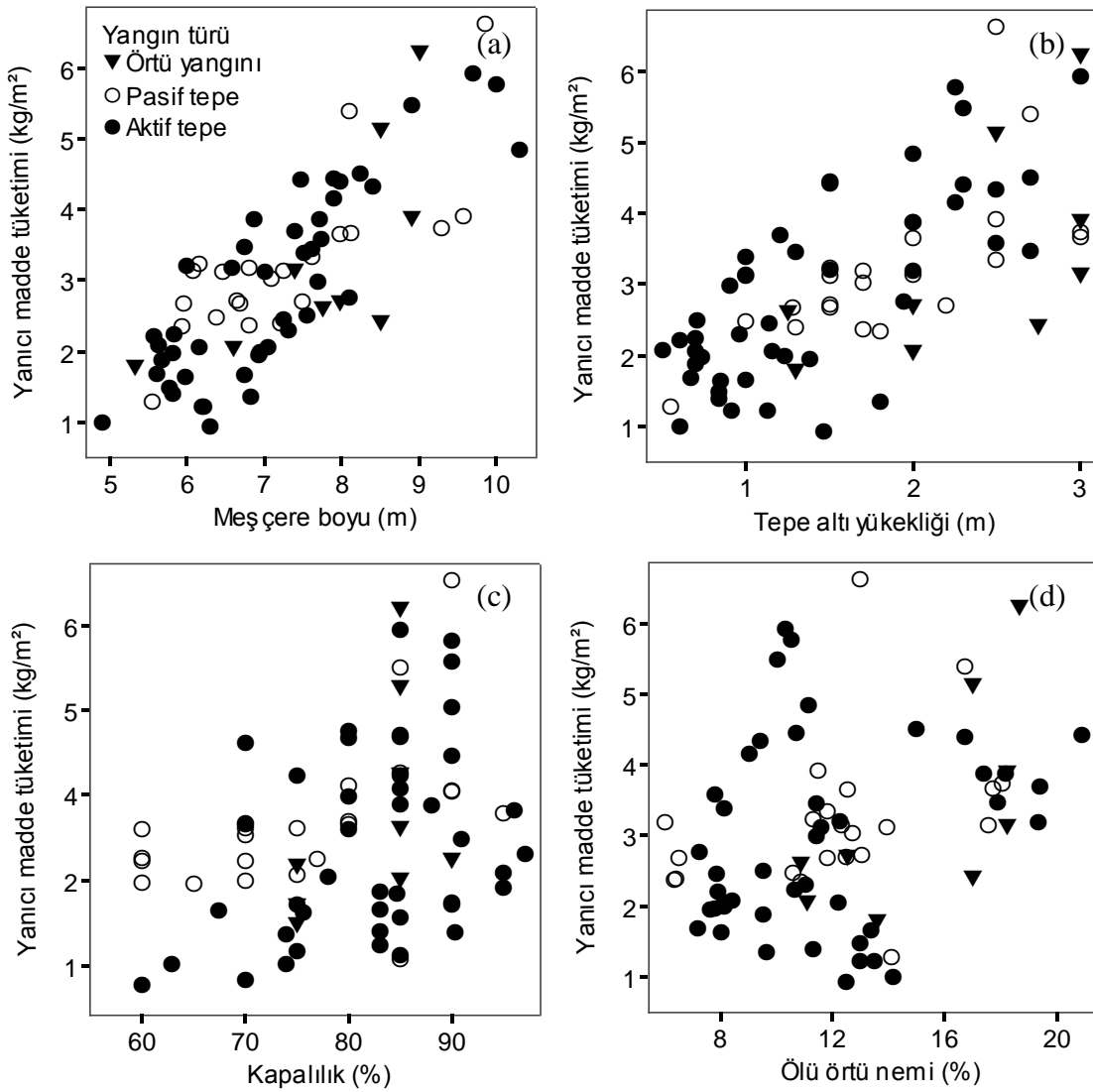
Deneme yangınları sırasında, alev özelliklerinin belirlenmesine ilişkin herhangi bir ölçüm yapılamamıştır. Ancak, deneme yangınlarından sonra kamera kayıtları incelenerek, etrafi açık ve geniş görüş açısı ile çekilmiş deneme yangını parsellerinin görüntülerinden faydalanarak 48 deneme yangınında ortalama alev yüksekliği ve 38 deneme yangınında ise alev bekleme süresine ilişkin sayısal veriler elde edilmiştir. Buna göre, yayılma oranındaki artışa bağlı olarak alev yüksekliği ve alev derinliğinde belirgin artışın meydana geldiği görülmüştür (Şekil 34).



Şekil 34. Deneme yangınlarında yayılma oranı ile (a) alev yüksekliği (b) alev derinliği arasındaki ilişki (0: Örtü yangını, 1: Pasif tepe yangını, 2: Aktif tepe yangını)

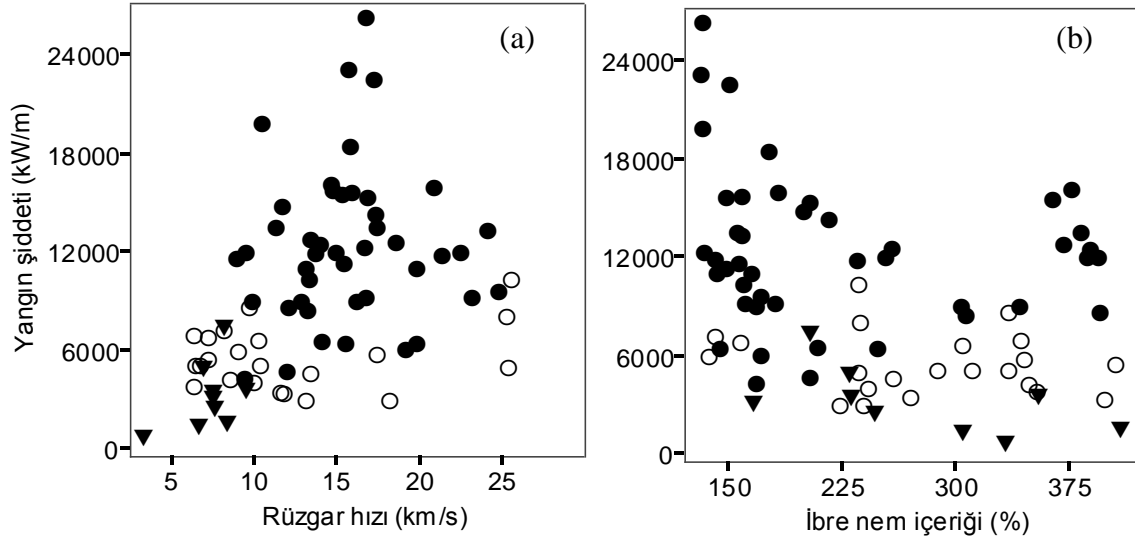
Yanıcı madde tüketimi (YMT), en önemli yangın davranış özelliklerinden birisidir. Deneme yangınlarında, YMT ile toplam yanıcı madde miktarı arasında çok kuvvetli bir ilişki belirlenmiştir ($r=-0,770$; $P<0,01$) (Tablo 16). Bununla birlikte, yanıcı madde miktarı ile yakından ilişkili olduğu bilinen, meşcere boyu, tepe altı yüksekliği ve meşcere

kapalılığı ile YMT'nin ilişkili olduğu belirlenmiştir (Şekil 35a-b-c). Diğer yandan, yayılma oranı ve yanıcı madde tüketimi ile doğrudan ilişkili olduğu bilinen ölü örtü nemi ile aralarında istatistiksel anlamda bir ilişki belirlenmemiştir (Şekil 35d). Canlı nem içeriği ve humus yanıcı madde nemi ile YMT arasında azalan yönde orta düzeyde bir ilişki olduğu görülmüştür. Bu durum, yapılan benzer çalışmalarla uyum göstermektedir (Agee vd., 2002, Catchpole vd., 2001, Alexander ve Cruz 2013c). Yangın şiddeti (YŞ), yangın yayılma oranı ve yanıcı madde tüketiminin bir fonksiyonudur. Deneme yangınlarında yangın şiddeti ile rüzgâr hızı ve canlı ibre nem içeriği ile arasında orta düzeyde bir ilişki olduğu belirlenmiştir (sırasıyla, $r=0,477$; $P<0,01$, $r=-0,362$; $P<0,01$) (Tablo 15) (Şekil 36).

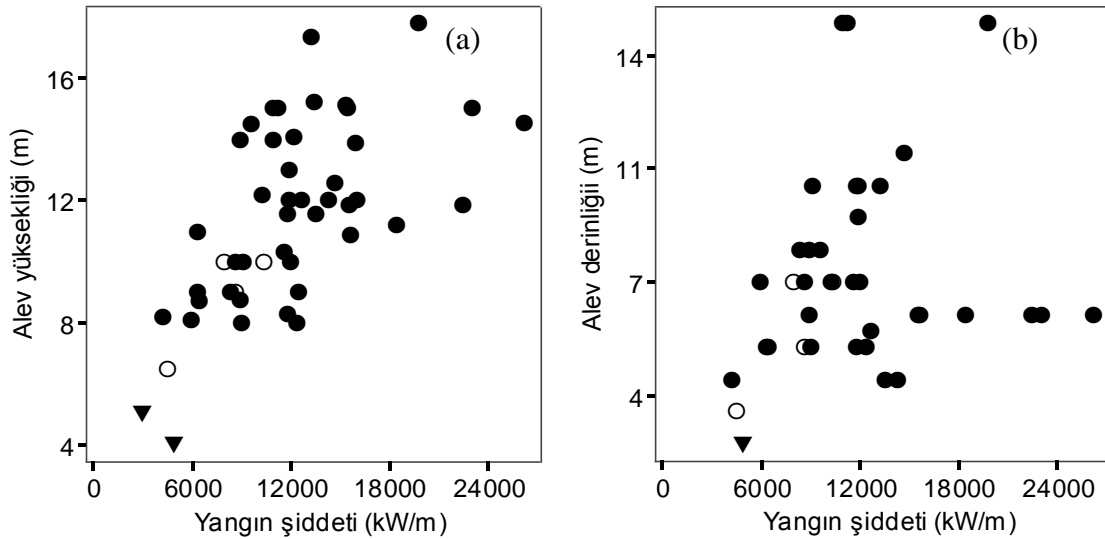


Şekil 35. Deneme yangınlarında yanıcı madde tüketimi ile (a) meşçere boyu (b) tepe altı yüksekliği (c) kapalılık ve (d) ölü örtü nemi arasındaki ilişki

Alev özellikleri yangın şiddeti ile yakından ilişkilidir ve yangın söndürme çalışmaları açısından oldukça önemlidir (Alexander ve Cruz, 2011). Deneme yangınlarının 48'inde ölçülebilen alev yüksekliğinin yangın şiddeti ile alev yüksekliği arasında oldukça yüksek bir ilişki olduğu görülmüştür ($r=0,634$; $P<0,01$) (Şekil 37a).



Şekil 36. Deneme yangınlarında yangın şiddeti ile (a) rüzgâr hızı ve (b) ibre nem içeriği arasındaki ilişki



Şekil 37. Deneme yangınlarında yangın şiddeti ile (a) alev yüksekliği ve (b) alev derinliği arasındaki ilişki

Elde edilen bu ilişki, benzer çalışmalarla uyum göstermiştir (McCaw, 2012; Byram, 1959; Cheney, 1981; Burrows, 1999). Deneme yangınlarının 38'inde ölçülebilen alev

derinliğinin, alev boyu ile ilişkili olduğu ($r=0,646$; $P<0,01$), buna karşın yangın şiddeti ile belirgin bir ilişki göstermediği ($r=0,191$; $P<0,01$) görülmüştür. Ancak, bu durum yangın şiddeti 15000 kW/m'nin üzerinde olan ve birbirinden oldukça farklı yangın şiddetlerine sahip olan beş deneme yangında ölçülen alev derinliğinin yaklaşık aynı olmasının bir sonucudur. Bu yangınlar incelendiğinde, yangın yayılma oranlarının çok yüksek olmamalarına karşın en yoğun ölü örtü miktarının bulunduğu ve en çok yanıcı madde tüketiminin meydana geldiği parseller arasında yer aldıkları görülmüştür. Bu yangınlar gözardı edildiğinde, yangın şiddeti ile alev derinliği arasında oldukça kuvvetli bir ilişkinin olduğu anlaşılmaktadır.

Deneme yangınlarının birlikte değerlendirilmesi sonucunda yayılma oranı, yanıcı madde tüketimi ve yangın şiddeti üzerinde; hava halleri ve yanıcı madde özelliklerinin önemli etkiye sahip oldukları belirlenmiştir. Bazı parsellerde yapılan aralama sonrasında değişen meşcere ve yanıcı madde özelliklerinin, aralama yapılmayan parsellerdeki duruma kıyasla yangın davranışında nasıl bir değişime neden olduğunu belirlemeye çalışılmıştır. Bunun için, aralama görmüş ve görmemiş parsellerdeki yangınlar tüm özellikleri bakımından karşılaştırılarak ayrı bir başlık altında değerlendirilmiştir.

3.2.1.2. Aralama Görmüş ve Görmemiş Parsellerde Yangın Davranışına İlişkin Bulgular

Deneme yangını parsellerinin 43'ünde, yaklaşık %30 oranında gerçekleştirilen aralamanın, yangın yayılma oranı üzerinde önemli farklılıklar oluşturduğu tespit edilmiştir. Aralama görmemiş 33 parseldeki deneme yangınında rüzgâr hızı ile yayılma oranı arasında oldukça kuvvetli bir ilişkinin olduğu ($r=0,908$; $P<0,01$) (Tablo 17) ve rüzgâr hızında meydana gelen artışın, yayılma oranı üzerinde belirgin bir yükselişe ve yangın türünde kesin bir değişime neden olduğu gözlenmiştir (Şekil 38-a). Aralama görmüş parsellerde ise, yayılma oranı ile rüzgâr hızı arasında orta düzeyde bir ilişki olduğu ($r=0,614$; $P<0,01$), (Tablo 18), yayılma oranında oluşan farklılıkların önemli bir kısmının, sadece rüzgâr hızı ile açıklanabilmesinin oldukça zor olduğu ve yüksek rüzgâr hızlarına rağmen yangınların pasif tepe yangını olarak ilerlediği görülmüştür (Şekil 38-b). Aralama görmüş parsellerdeki yangınlardan S1c 42, S1c 48, S1c 49, S1c 50 ve S1c 51 yangınları, benzer rüzgâr hızlarında gerçekleştirilen aralama görmüş parsellerdeki deneme yangınlarına nazaran daha düşük yayılma oranı ile ilerlemiş ve pasif tepe yangını olarak sonuçlanmışlardır. Yüksek rüzgâr

hızlarında yakılan bu parsellerde, yangın yayılma oranında gözlemlenen azalmanın nedenleri, (1) parsellerdeki meşcere kapalılığının oldukça düşük olması, (2) merdiven yanıcı maddelerin (tepe altı yüksekliğinde yer alan kuru dal ve asılı ibre miktarı) neredeyse hiç bulunmaması ve (3) aralama sonucunda yanıcı maddelerin yatay ve dikey sürekliliğinde görülen kesintiler olarak sıralanabilir. Bu durum, yayılma oranı üzerinde etkili faktörlerin başında gelen rüzgâr hızı ile yanıcı madde ve meşcere özelliklerinin birlikte değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir

Benzer rüzgâr koşullarında aralama görmemiş meşcerelerdeki yangınlar ile aralamadan bir yıl sonra yakılan meşcerelerdeki yangınların, yayılma oranları arasında belirgin bir farklılık görülmezken, aralamadan iki yıl sonra yakılan meşcerelerdeki yangınlarda, rüzgâr hızındaki artışın yayılma oranında aynı oranda bir artışa neden olmadığı görülmüştür (Şekil 39). Bu durum, aralama sonrasında, yanıcı madde özelliklerinde meydana gelen değişimin bir sonucudur. Aralamayı izleyen ilk yıllarda, kapalılık, tepe altı yüksekliği vb. meşcere özelliklerinde belirgin bir farklılık görülmemiştir. Ancak, aralama sonrasında ölü örtüde biriken kesim artıkları üzerinde bulunan ibrelerin, dökülme oranlarında ve tepe altı yüksekliğinde yer alan asılı ibre ve kuru dal miktarlarında önemli farklılıklar görülmüştür.

Örtü yangınlarının davranışında önemli bir değişken olan ibre dökülme oranı, örtü yangınlarının yayılma hızını ve şiddetini artırıcı yönde bir etkiye sahip olduğu bilinmektedir (Küçük vd., 2008, Bilgili vd., 2010a) Aralamadan sonraki birinci yılın sonunda ölü örtüde yer alan kesim artıklarında ibre tutma oranının %70-85 arasında olduğu gözlenmiştir. Aralamayı izleyen ikinci ve üçüncü yıllarda ise bu oranının ortalama %60 seviyesine indiği ve ilerleyen yıllarda ibre dökülmesinin durakladığı görülmüştür.

Örtü yangınlarının tepe yangınına dönüşümde etkin rol aldığı düşünülen ve merdiven veya taşıyıcı yanıcı maddeler olarak adlandırılan asılı haldeki döküntü ibreler, likenler ve gövde üzerindeki kabuklar vb. tutuşabilir maddeler yangın davranışında önemli parametrelerdir.

Tablo 17. Aralama görmemiş parsellerdeki deneme yangınlarına ait yangın davranışı ve yanıcı madde özellikleri ve hava halleri arasındaki korelasyon matrisi

	YO	YMT	YS	RZG	MIR	RZGsh	RZGh1	RZGh2	RZG/h1MIR	MIRh1	MIRh2	YF	YNhm	YNö	YNib	SCK	BN	YMTö	YMTat	AY	YMTat_yzd	
YO	1	-,671(**)	,558(**)	,908(**)	,887(**)	,405(*)	-,395(*)	-,407(*)	,916(**)	-0,112	-0,316	,641(**)	-,633(**)	-0,323	-,620(**)	-0,058	-0,340	-,770(**)	0,046	,723(**)	,402(*)	,677(**)
YMT	-,671(**)	1	0,146	-,660(**)	-,712(**)	-0,077	0,140	0,152	-,654(**)	-0,188	0,037	-,726(**)	,790(**)	,567(**)	,728(**)	0,149	,494(**)	,928(**)	,533(**)	-0,242	-0,131	-0,214
YS	,558(**)	0,146	1	,463(**)	,349(*)	,400(*)	-,374(*)	-,360(*)	,478(**)	-,358(*)	-,353(*)	0,166	-0,122	0,044	-0,188	0,322	-0,159	-0,078	,707(**)	,773(**)	0,338	,749(**)
Kap	-0,333	0,339	0,046	1	,974(**)	,345(*)	-0,329	-0,310	,997(**)	-0,025	-0,213	,623(**)	-,561(**)	-0,235	-,544(**)	-0,183	-0,215	-,720(**)	-0,002	,690(**)	0,338	,647(**)
ToR	,569(**)	-,596(**)	0,318	0,016	1	,356(*)	-0,307	-0,281	,970(**)	0,080	-0,157	,600(**)	-,568(**)	-0,212	-,552(**)	-0,205	-0,175	-,744(**)	-0,102	,635(**)	0,293	,593(**)
Gyz	-,691(**)	,842(**)	-0,076	,370(*)	-,613(**)	1	-0,002	-0,014	0,338	0,135	0,023	0,123	-0,075	0,050	-0,012	-0,160	0,121	-0,152	0,175	,440(*)	-0,139	,420(*)
Boy	-,500(**)	,721(**)	-0,015	,374(*)	-,510(**)	,768(**)	1	,948(**)	-,392(*)	,851(**)	,912(**)	0,012	0,015	-0,125	0,049	-0,107	0,097	0,124	-0,045	-,351(*)	-0,278	-0,335
TaY	-,631(**)	,687(**)	-0,306	0,088	-,973(**)	,719(**)	,682(**)	1	-,378(*)	,837(**)	,980(**)	0,013	0,019	-0,110	0,036	-0,084	0,147	0,140	-0,007	-0,282	-0,291	-0,255
TaB	-,614(**)	,663(**)	-0,317	0,081	-,978(**)	,693(**)	,656(**)	,997(**)	1	-0,088	-0,282	,606(**)	-,547(**)	-0,220	-,532(**)	-0,172	-0,220	-,712(**)	-0,001	,694(**)	0,355	,649(**)
TY	-,699(**)	,799(**)	-0,112	0,303	-,655(**)	,954(**)	,590(**)	,710(**)	,693(**)	1	,906(**)	0,172	-0,200	-0,147	-0,162	-0,106	0,035	-0,166	-0,205	-0,154	-0,204	-0,141
MYMib	-,495(**)	,827(**)	0,147	0,316	-,625(**)	,738(**)	,698(**)	,706(**)	,705(**)	,714(**)	1	0,072	-0,059	-0,127	-0,043	-0,052	0,098	0,042	-0,069	-0,219	-0,259	-0,193
MYMdal	-,735(**)	,840(**)	-0,189	0,313	-,817(**)	,908(**)	,729(**)	,887(**)	,874(**)	,914(**)	,799(**)	1	-,905(**)	-,892(**)	-,805(**)	0,045	-,674(**)	-,799(**)	-0,055	,480(**)	0,134	,463(**)
MYMadal	-,553(**)	,827(**)	0,058	0,253	-,745(**)	,731(**)	,649(**)	,804(**)	,799(**)	,727(**)	,960(**)	,846(**)	1	,834(**)	,900(**)	-0,113	,689(**)	,864(**)	0,104	-,445(**)	-0,097	-,450(**)
YMMöib	-,647(**)	,827(**)	0,026	0,286	-,480(**)	,631(**)	,450(**)	,526(**)	,517(**)	,664(**)	,659(**)	,715(**)	,629(**)	1	,712(**)	-0,126	,750(**)	,631(**)	0,070	-0,225	0,031	-0,228
YMMöic	-,608(**)	,630(**)	-0,104	0,336	-0,310	,407(*)	,430(*)	,383(*)	,375(*)	0,309	,418(*)	,418(*)	,465(**)	,503(**)	1	-0,254	,624(**)	,776(**)	0,107	-,393(*)	-0,164	-,392(*)
YMMaö	-,690(**)	,855(**)	0,005	0,317	-,487(**)	,640(**)	,481(**)	,541(**)	,532(**)	,651(**)	,666(**)	,717(**)	,648(**)	,988(**)	,631(**)	1	-,572(**)	0,125	0,183	0,124	0,146	0,151
YMMö	-,770(**)	,928(**)	-0,078	0,307	-,623(**)	,731(**)	,637(**)	,694(**)	,676(**)	,697(**)	,707(**)	,798(**)	,720(**)	,904(**)	,699(**)	,937(**)	1	,521(**)	0,098	-0,271	-0,188	-0,273
YMMtib	-,628(**)	,795(**)	-0,006	,407(*)	-,431(*)	,962(**)	,765(**)	,564(**)	,536(**)	,913(**)	,689(**)	,826(**)	,628(**)	,609(**)	0,315	,603(**)	,660(**)	1	0,209	-,467(**)	-0,107	-,434(*)
YMMtic	-,627(**)	,795(**)	-0,005	,407(*)	-,432(*)	,962(**)	,765(**)	,564(**)	,536(**)	,913(**)	,690(**)	,826(**)	,629(**)	,609(**)	0,316	,603(**)	,660(**)	1,00(**)	1	,583(**)	-0,068	,591(**)
YMMat	-,628(**)	,795(**)	-0,006	,407(*)	-,432(*)	,962(**)	,765(**)	,564(**)	,536(**)	,913(**)	,690(**)	,827(**)	,629(**)	,609(**)	0,315	,603(**)	,660(**)	1,00(**)	1,00(**)	1	0,336	,990(**)
YMMt	-,628(**)	,795(**)	-0,006	,407(*)	-,432(*)	,962(**)	,765(**)	,564(**)	,536(**)	,913(**)	,690(**)	,827(**)	,629(**)	,609(**)	0,315	,603(**)	,660(**)	1,00(**)	1,00(**)	1,00(**)	1	0,332
YMM	-,776(**)	,945(**)	-0,072	,383(*)	-,630(**)	,935(**)	,772(**)	,735(**)	,712(**)	,898(**)	,783(**)	,922(**)	,770(**)	,830(**)	,550(**)	,843(**)	,913(**)	,904(**)	,904(**)	,904(**)	,904(**)	1

** 0,01 güven düzeyinde anlamlı

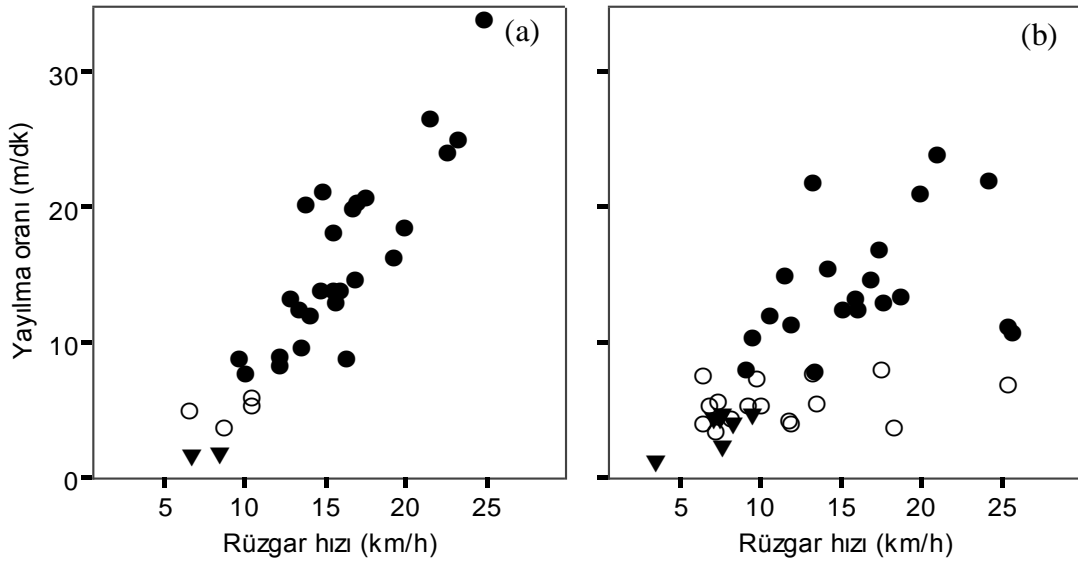
* 0,05 güven düzeyinde anlamlı; tanımsız

Tablo 18. Aralama görmüş parsellerdeki deneme yangınlarına ait yangın davranışı ve yanıcı madde özellikleri ve hava halleri arasındaki korelasyon matrisi

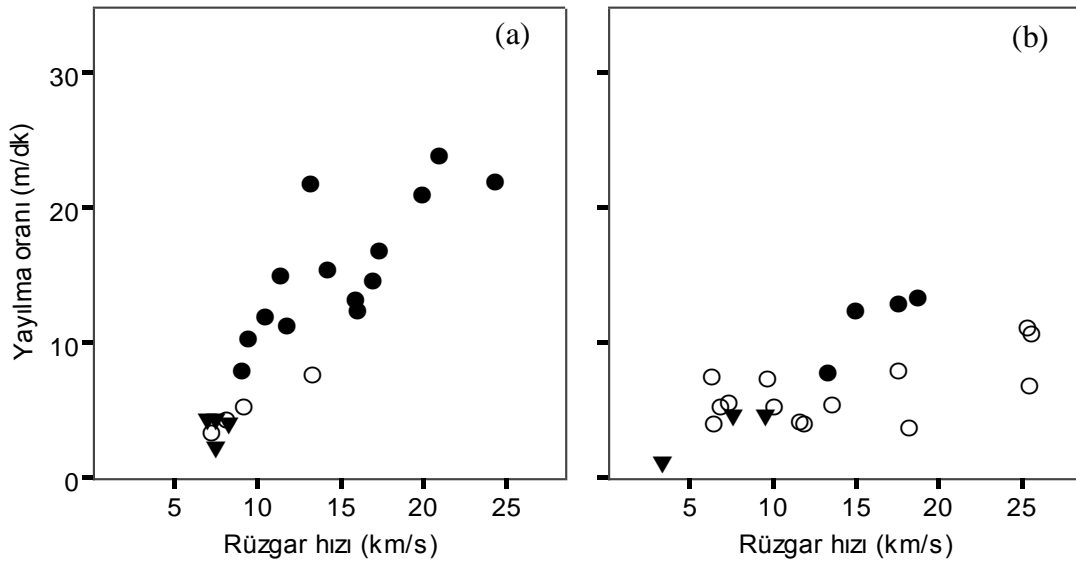
	YO	YMT	YS	RZG	MIR	RZGsh	RZGh1	RZGh2	RZG/h1MIR	MIRh1	MIRh2	YF	YNhm	YNö	YNib	SCK	BN	YMTö	YMTat	AY	YMTat_yzd	
YO	1	-0,201	,658(**)	,614(**)	,544(**)	,609(**)	-,566(**)	-,584(**)	,636(**)	-,485(**)	-,569(**)	,474(**)	-,427(**)	-,449(**)	-,339(*)	0,204	-,321(*)	-,336(*)	,405(**)	,809(**)	,616(**)	,772(**)
YMT	-0,201	1	,487(**)	-0,227	-,347(*)	-0,186	-0,008	-0,020	-0,219	-,397(**)	-0,160	-0,239	0,288	0,262	-,342(*)	,475(**)	0,134	,946(**)	,514(**)	-0,003	0,356	0,010
YS	,658(**)	,487(**)	1	,386(*)	0,231	,399(**)	-,550(**)	-,545(**)	,413(**)	-,710(**)	-,608(**)	0,286	-0,288	-,319(*)	-,464(**)	,517(**)	-0,194	,317(*)	,739(**)	,664(**)	,759(**)	,640(**)
Kap	0,263	,454(**)	,483(**)	1	,976(**)	,695(**)	-,420(**)	-,420(**)	,998(**)	-0,219	-,361(*)	,899(**)	-,602(**)	-,639(**)	-0,130	-0,136	0,020	-0,275	0,173	,430(**)	0,349	,422(**)
ToR	,548(**)	-,479(**)	0,098	-0,025	1	,641(**)	-,368(*)	-,368(*)	,971(**)	-0,071	-0,274	,887(**)	-,600(**)	-,631(**)	-0,020	-0,235	0,017	-,353(*)	0,014	,336(*)	0,252	,326(*)
Gyz	-0,179	,528(**)	0,254	,361(*)	-,469(**)	1	-0,180	-0,094	,680(**)	-0,128	-0,079	,509(**)	-,340(*)	-,369(*)	-0,159	-0,014	0,018	-0,284	0,278	,463(**)	0,337	,465(**)
Boy	-0,205	,831(**)	,413(**)	,556(**)	-,493(**)	,607(**)	1	,909(**)	-,472(**)	,818(**)	,863(**)	-,407(**)	,400(**)	,415(**)	0,262	-0,292	,340(*)	0,114	-,411(**)	-,531(**)	-,574(**)	-,500(**)
TaY	-,446(**)	,705(**)	0,117	0,285	-,915(**)	,565(**)	,785(**)	1	-,478(**)	,771(**)	,972(**)	-,434(**)	,424(**)	,448(**)	,328(*)	-,343(*)	,352(*)	0,103	-,406(**)	-,523(**)	-,673(**)	-,492(**)
TaB	-,432(**)	,673(**)	0,105	0,270	-,918(**)	,559(**)	,771(**)	,996(**)	1	-0,267	-,419(**)	,901(**)	-,613(**)	-,650(**)	-0,149	-0,107	-0,006	-0,274	0,196	,454(**)	0,378	,443(**)
TY	-0,204	,555(**)	0,234	,433(**)	-,556(**)	,933(**)	,592(**)	,639(**)	,622(**)	1	,861(**)	-0,190	0,144	0,174	,530(**)	-,537(**)	0,199	-0,205	-,677(**)	-,528(**)	-,578(**)	-,507(**)
MYMib	-0,072	,765(**)	,427(**)	,588(**)	-,406(**)	,553(**)	,881(**)	,689(**)	,667(**)	,617(**)	1	-,368(*)	,331(*)	,360(*)	,432(**)	-,434(**)	0,299	-0,011	-,502(**)	-,525(**)	-,702(**)	-,496(**)
MYMdal	-0,009	,693(**)	,396(**)	,589(**)	-,429(**)	,473(**)	,805(**)	,695(**)	,682(**)	,555(**)	,960(**)	1	-,798(**)	-,842(**)	-0,099	-0,095	-0,120	-0,280	0,144	0,301	0,358	0,291
MYMadal	-0,009	,708(**)	,416(**)	,599(**)	-,404(**)	,507(**)	,830(**)	,680(**)	,666(**)	,576(**)	,980(**)	,995(**)	1	,938(**)	0,110	-0,028	,324(*)	,334(*)	-0,164	-0,303	-,505(*)	-0,289
YMMöib	-0,057	,808(**)	,444(**)	,597(**)	-,357(*)	0,273	,793(**)	,626(**)	,598(**)	,333(*)	,779(**)	,757(**)	,762(**)	1	-0,005	0,026	0,244	,321(*)	-0,214	-,364(*)	-,550(**)	-,350(*)
YMMöic	-,325(*)	,842(**)	0,231	0,217	-,493(**)	0,276	,599(**)	,627(**)	,603(**)	,321(*)	,537(**)	,531(**)	,519(**)	,653(**)	1	-,716(**)	0,208	-0,208	-,420(**)	-0,180	-0,210	-0,184
YMMaö	-0,215	,909(**)	,368(*)	,442(**)	-,470(**)	0,302	,763(**)	,689(**)	,661(**)	,360(*)	,720(**)	,705(**)	,700(**)	,903(**)	,914(**)	1	-,501(**)	,336(*)	,483(**)	0,171	0,295	0,195
YMMö	-,358(*)	,938(**)	0,300	0,286	-,495(**)	,346(*)	,696(**)	,658(**)	,624(**)	,374(*)	,597(**)	,544(**)	,546(**)	,761(**)	,925(**)	,930(**)	1	0,159	-0,091	-0,250	-,415(*)	-0,270
YMMtib	-0,105	,709(**)	,415(**)	,576(**)	-,385(*)	,870(**)	,821(**)	,618(**)	,597(**)	,891(**)	,836(**)	,729(**)	,770(**)	,550(**)	,399(**)	,520(**)	,489(**)	1	0,223	-0,190	0,252	-0,175
YMMtic	-0,105	,710(**)	,416(**)	,576(**)	-,385(*)	,870(**)	,821(**)	,618(**)	,597(**)	,892(**)	,836(**)	,728(**)	,770(**)	,550(**)	,399(**)	,519(**)	,489(**)	1,000(**)	1	,648(**)	,624(**)	,642(**)
YMMat	-0,106	,710(**)	,415(**)	,576(**)	-,385(*)	,870(**)	,821(**)	,618(**)	,597(**)	,892(**)	,836(**)	,729(**)	,770(**)	,550(**)	,398(**)	,519(**)	,489(**)	1,000(**)	1,000(**)	1	,743(**)	,989(**)
YMMt	-0,106	,709(**)	,415(**)	,576(**)	-,385(*)	,870(**)	,821(**)	,618(**)	,597(**)	,892(**)	,836(**)	,729(**)	,770(**)	,550(**)	,398(**)	,520(**)	,489(**)	1,000(**)	1,000(**)	1,000(**)	1	,703(**)
YMM	-,307(*)	,975(**)	,386(*)	,465(**)	-,549(**)	,628(**)	,866(**)	,766(**)	,733(**)	,668(**)	,809(**)	,730(**)	,747(**)	,791(**)	,827(**)	,890(**)	,917(**)	,793(**)	,793(**)	,793(**)	,793(**)	1

** 0,01 güven düzeyinde anlamlı

* 0,05 güven düzeyinde anlamlı



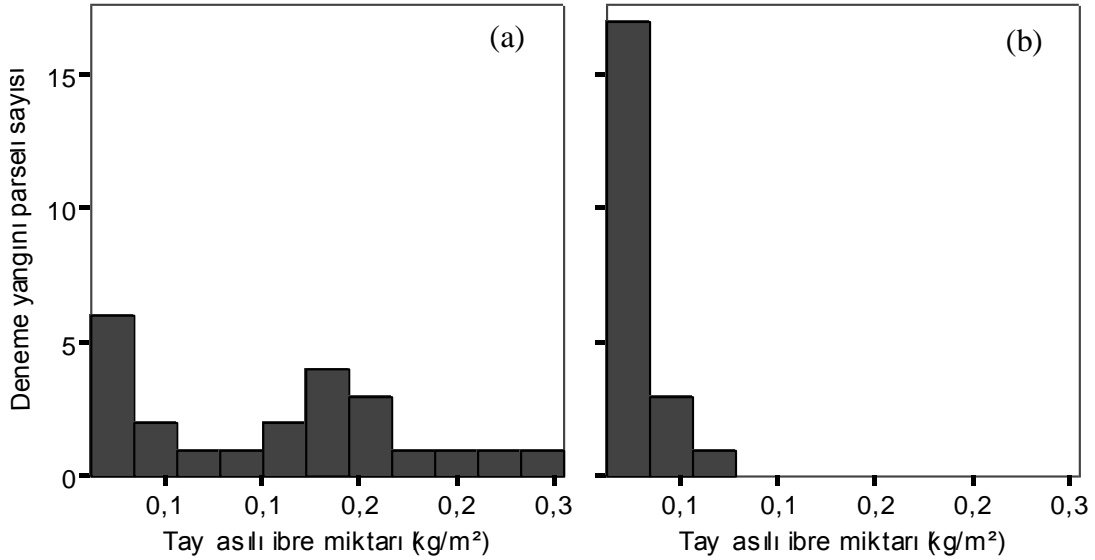
Şekil 38. Yayılma oranı ile rüzgâr hızı arasındaki ilişkinin yangın türlerine göre dağılımının (a) aralama görmemiş ve (b) aralama görmüş (aralamadan bir ve iki yıl sonra) parsellerdeki durumu



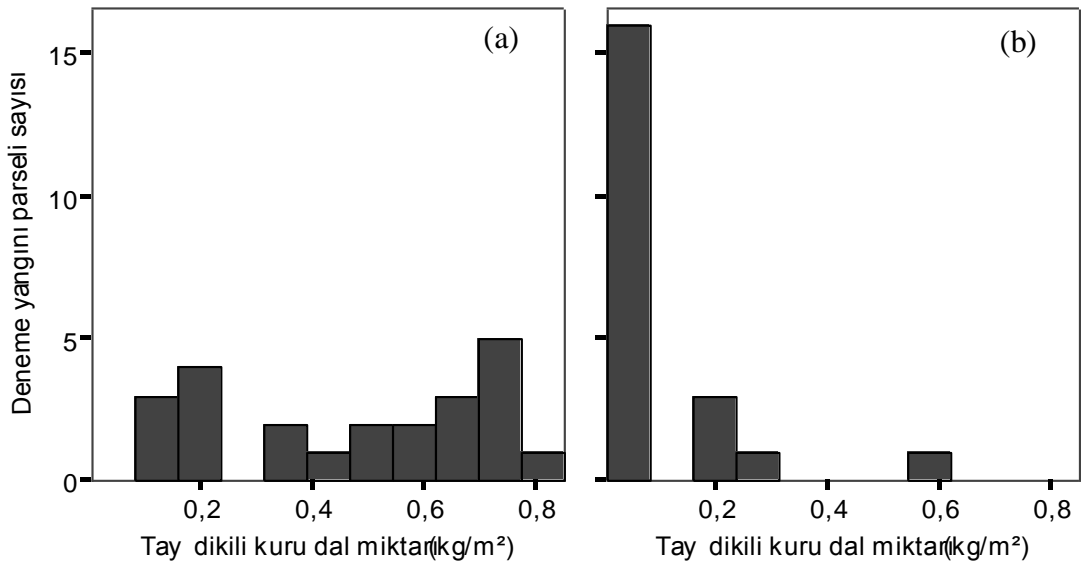
Şekil 39. Aralama görmüş parsellerde yayılma oranı ile rüzgâr hızı arasındaki ilişkinin yangın türlerine göre dağılımının (a) aralamadan bir yıl sonra yakılan ve (b) aralamadan iki yıl sonra yakılan parsellerdeki durumu

Aralama görmüş meşcerelerde, aralamayı izleyen birinci ve ikinci yıllarda deneme yangını parsellerinde yapılan yanıcı madde örneklemelerinde merdiven yanıcı maddelerde bir azalmanın olduğu hatta bazı parsellerde yok denecek kadar az olduğu belirlenmiştir (Şekil 40 ve Şekil 41). Deneme yangını parsellerinde merdiven yanıcı madde olarak tepe altı boşluğunda yer alan asılı ibre ve kuru dal miktarları belirlenmiş ve detaylı ölçümler 3.1. başlığı altında verilmiştir. Buna

göre, merdiven yanıcı maddelerin bulunduğu bir ağaçta, kuru dal ağırlığının 1 ila 6 kg arasında değişebildiği, döküntü haldeki asılı ibre miktarının 100 ile 800 gr arasında değişebildiği belirlenmiştir. Genç kızılçam ağaçlandırma alanlarında 15 ağaç üzerinde yapılan biokütle ölçümlerinde, bir ağacın toplam fırın kurusu ibre miktarının 1,5 ile 3 kg arasında değiştiği görülmüştür.



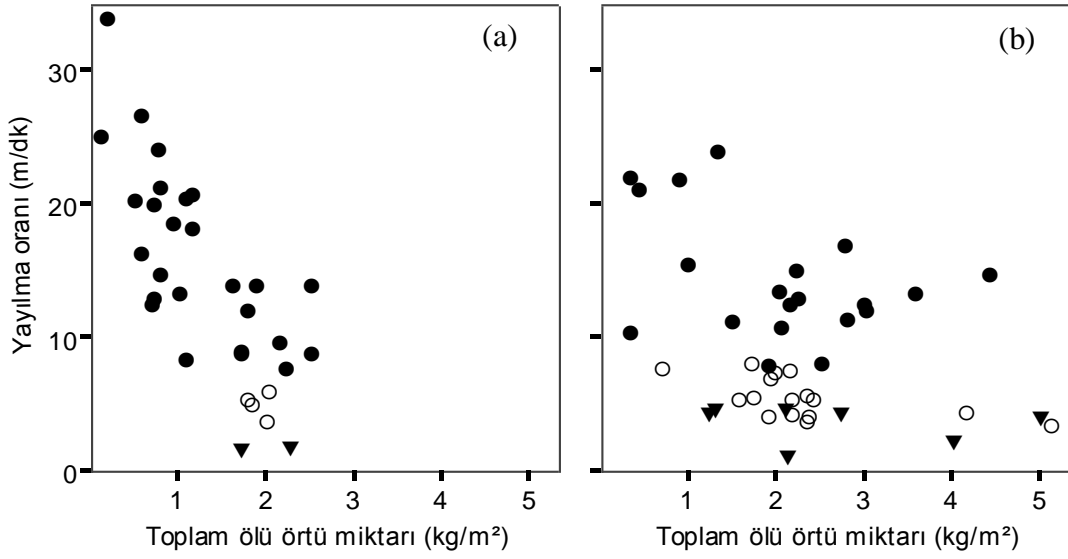
Şekil 40. Aralama görmüş parsellerde tepe altı boşluğundaki asılı ibre miktarı (a) aralamadan bir yıl sonra (b) aralamadan iki yıl sonra.



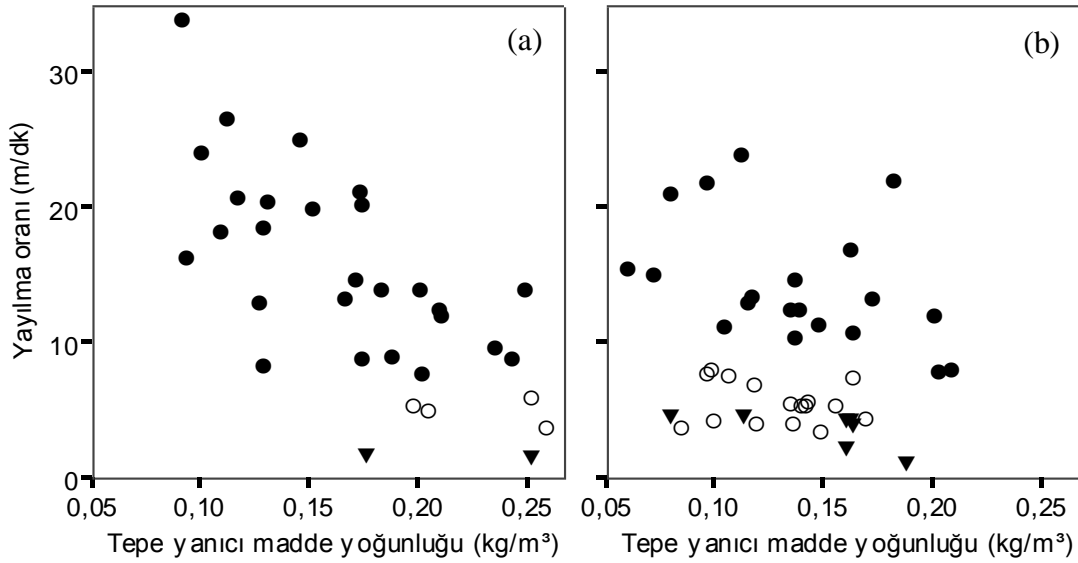
Şekil 41. Aralama görmüş parsellerde tepe altı boşluğunda kuru dal miktarları (a) aralamadan bir yıl sonra (b) aralamadan iki yıl sonra.

Aralamayı takip eden yıllarda, tepe altı boşluğunda kuru dal ve döküntü haldeki asılı miktarında belirlenen azalma olduğu anlaşılmıştır. Bunun nedeninin, aralama ile birlikte meşcere içi rüzgâr hareketlerinin artması ve meşcere içerisine daha fazla ışık girmesi sonucu ağaç tepelerinden dökülen ibre miktarında bir azalmanın olduğu ve asılı haldeki ibrelerin rüzgârın etkisiyle ölü örtüye dökülmüş olabileceği düşünülmektedir. Özellikle son yıllardaki çalışmalarda merdiven yanıcı maddelerin yangın davranışındaki önemi üzerinde durulmasına karşın, sayısal veri elde edilmesinin zorluğu nedeniyle henüz yangın davranışı üzerine olan etkisi tam olarak izah edilememiştir.

Aralamadan sonra meşcere ölü örtü miktarındaki değişimin yangın davranışında meydana getirdiği etkiler incelendiğinde, beklenilen aksine ölü örtü miktarının artmasıyla birlikte özellikle aralama görmemiş meşcerelerde yayılma oranının azaldığı görülmüştür (Şekil 42). Aralamadan sonra, kesim artıklarının ölü örtüye dâhil edilmesiyle birlikte iki katını aşan miktarlara ulaşan ölü örtü miktarı ile yayılma oranı arasında güçlü bir ilişki görülmemiştir. Ancak, aralama görmüş parsellerde de negatif yönde az da olsa bir ilişkinin varlığı dikkati çekmektedir. Uygun hava halleri oluştuğunda, ölü örtü miktarının artması, yangın şiddetini arttıracığından yangının örtüden-tepeye sarma ve tepe yangını olarak ilerleme potansiyeli de arttıracığı beklenir (Van Wagner, 1973; Butler vd., 2004; Ager 2007; Küçük vd., 2009a). Bu beklentinin deneme yangınlarında göülmeme sebebinin, ölü örtü miktarındaki artış ile birlikte bazı meşcere yapısı ve özelliklerinin de beraberinde değişiyor olmasıdır. Meşcere kapalılığın artmasıyla birlikte, doğal dal budanması hızlanır ve tepe altı yüksekliği artar. Diğer yandan, meşcere boyunun artmasıyla orantılı olarak tepe yanıcı madde miktarında bir artış meydana gelir (Şekil 43). Bu değişkenlerin artışı, meşcere içerisindeki rüzgâr hızının açık alana oranla daha düşük hissedilmesine neden olmakta ve yayılma oranı üzerinde azaltıcı bir etki oluşturmaktadır. Böylece, ölü örtü miktarının yayılma oranı üzerinde beklenilen etkisinin aksine, azaltıcı yönde bir etkisi meydana gelmektedir. Yangın davranışı üzerinde önemli etkiye sahip olan canlı ibre nem içeriği ile yangın yayılma oranı arasında ters orantılı bir ilişkinin varlığı bilinmektedir (Van Wagner, 1989; Albini, 1996; Schaaf vd., 2007). Ancak, bu ilişkinin derecesi ve sayısal oranı daha önce yapılan çalışmalarda tam olarak belirlenememiştir (Cruz, 2004; Alexander ve Cruz 2012e).



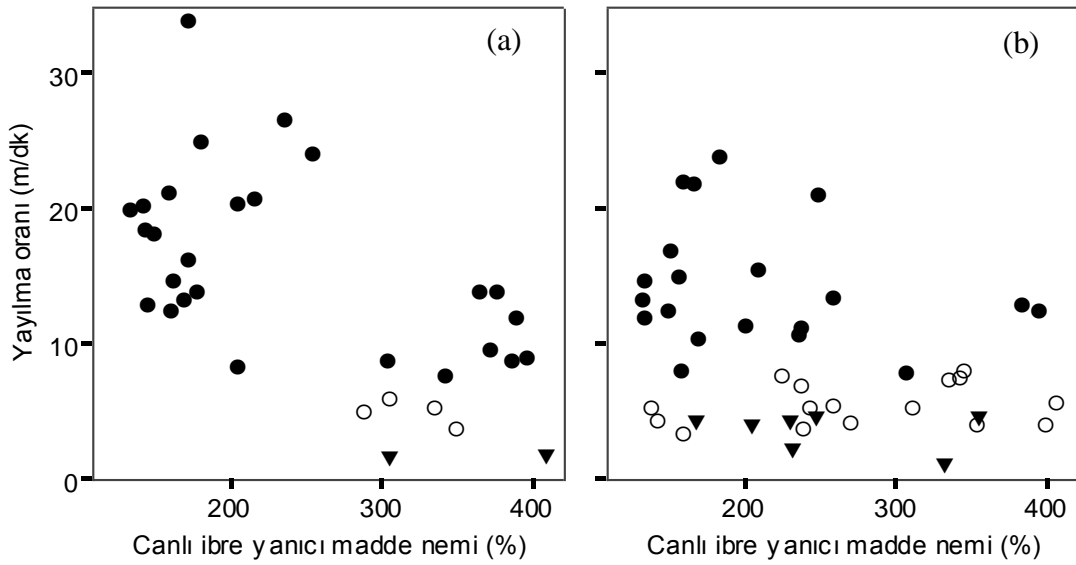
Şekil 42. Yayılma oranı ile ölü örtü miktarı arasındaki ilişkinin (a) aralama görmemiş meşcerelerde ve (b) aralama görmüş meşcerelerdeki dağılım grafiği



Şekil 43. Yayılma oranı ile tepe yoğunluğu arasındaki ilişkinin (a) aralama görmemiş meşcerelerde ve (b) aralama görmüş meşcerelerdeki dağılım grafiği

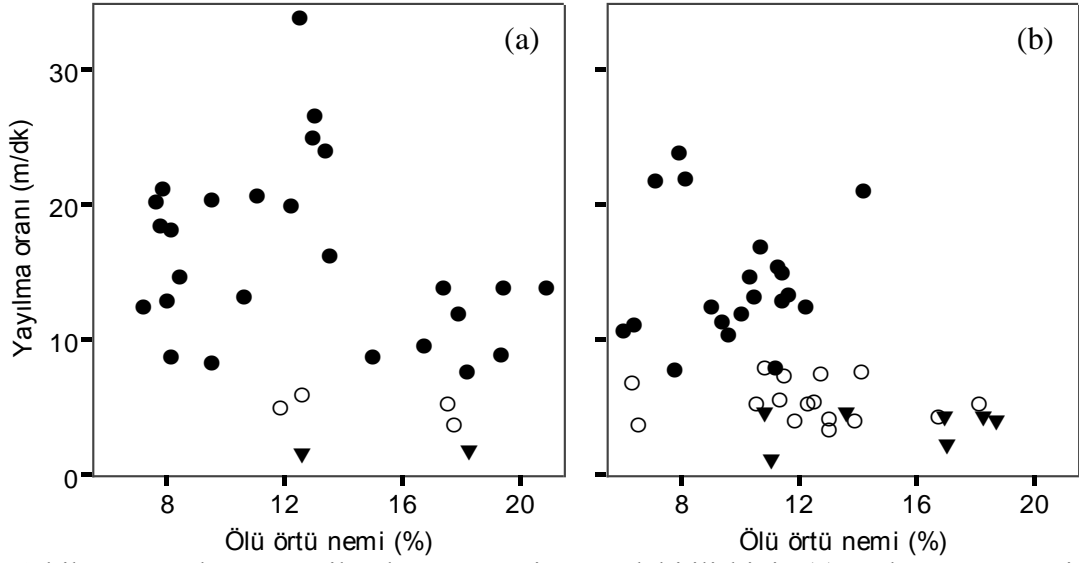
Bu çalışmada, farklı yıllarda gerçekleştirilen deneme yangınlarında ibre nem içeriği değişim aralığı oldukça geniş bir yelpazede dağılmaktadır. Özellikle, aralama görmemiş meşcerelerdeki yangınlarda canlı ibre nem içeriği ile yangın yayılma oranı arasında orta düzeyde bir ilişki gözlemlenirken ($r=-0,612$; $P<0,01$) (Tablo 17) aralama görmüş meşcerelerde canlı ibre nem içeriğinin yayılma oranı üzerinde bir etkisinin olduğu görülmüştür (Şekil 44). Deneme yangınlarında ibre nem içeriğinin %130 ile %400 arasında

değişim göstermesine karşılık yayılma oranı üzerinde güçlü bir etkisinin olmadığı anlaşılmıştır. Diğer yandan, aralama görmemiş meşcerelerde belirlenen orta düzeydeki ilişkinin, sadece ibre nem içeriğinden kaynaklanan bir durum olmadığı düşünülmektedir. Bu yangınlarda, rüzgâr hızı, tepe altı yüksekliği, kapalılık ve merdiven yanıcı madde miktarı gibi farklı faktörlerin etkisi sonucunda yayılma oranında değişimler meydana gelmiştir. Orman yangınlarında yayılma oranında meydana gelen değişimi tek bir değişkene bağlı olarak açıklamak doğru değildir.



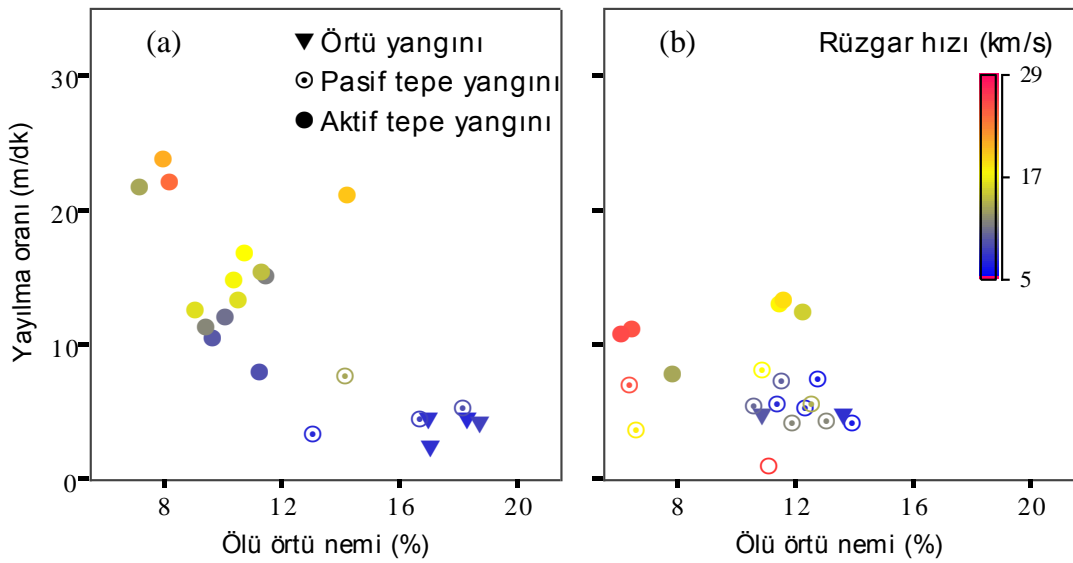
Şekil 44. Yayılma oranı ile canlı ibre nem içeriği arasındaki ilişkinin (a) aralama görmemiş meşcerelerde ve (b) aralama görmüş meşcerelerde dağılımı

Ölü örtü nemi, yangın yayılma oranı üzerinde en önemli etkiye sahip değişkenlerden birisidir. Ancak yüksek ölü örtü nem değerlerinde yakılan parsellerin veri tabanında bulunmayışı nedeniyle, aralama görmüş ve görmemiş meşcerelerdeki deneme yangınlarında ölü örtü nemindeki değişimin, yayılma oranı üzerine olan ayırt edici etkisi tam olarak görülmemektedir (Şekil 45). Bu ilişki yapılan diğer çalışmalarla benzerlik göstermiştir (Fernandes, 2001; Sağlam vd., 2008).



Şekil 45. Yayılma oranı ile ölü örtü nemi arasındaki ilişkinin (a) aralama görmemiş ve (b) aralama görmüş yangınlarda yangın türlerine göre dağılımı

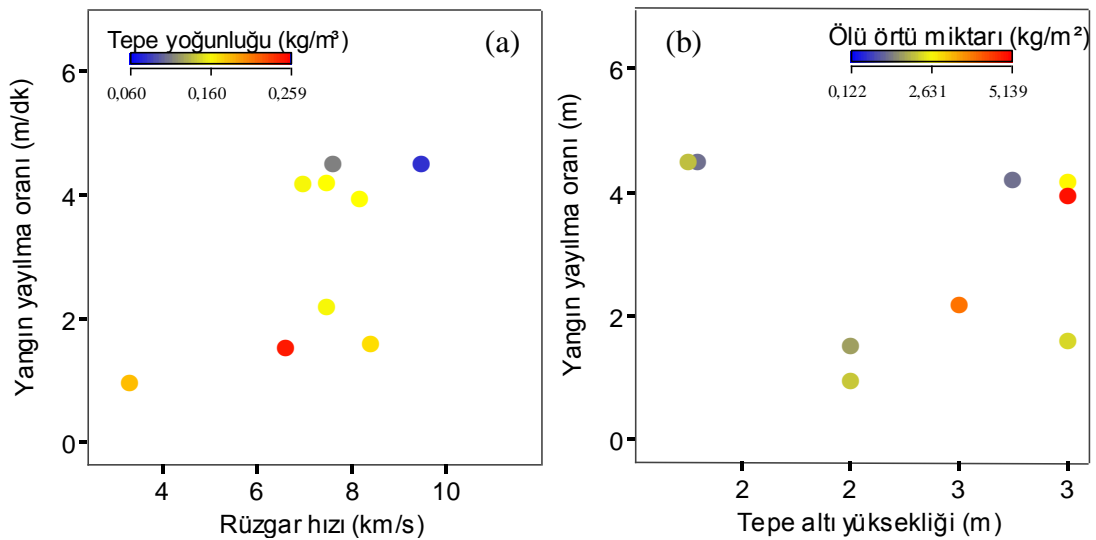
Aralamayı izleyen birinci yılda yakılan deneme yangınlarında, yayılma oranının ölü örtü nemi arttıkça belirgin olarak azaldığı görülmektedir (Şekil 46a). Bu ilişkinin aralamayı izleyen ikinci yılda yakılan deneme yangınlarında gözlemlenmediği belirlenmiştir (Şekil 46b). Yangın yayılma oranında gözlemlenen bu durum, sadece ölü örtü nemine bağlı olmayıp, özellikle rüzgâr ve tepe altı yüksekliğindeki değişimin bir neticesidir. Nitekim aynı ölü örtü nem değerlerinde rüzgâr hızındaki artışa karşılık yayılma oranının arttığı görülmektedir.



Şekil 46. Aralamadan sonra (a) birinci yılda ve (b) ikinci yılda yakılan deneme yangınlarının yayılma oranı ve ölü örtü nem içeri arasındaki ilişkinin yangın türleri ve rüzgâr hızına göre dağılımı

3.2.1.3. Tepe Yangınına Oluşumu ve Gelişimine İlişkin Bulgular

Deneme yangınlarında yangın türü üzerine etkili olan yanıcı madde özellikleri ve meteorolojik parametreler arasındaki ilişkileri belirlemek amacıyla korelasyon analizleri gerçekleştirilmiş ve ikili grafikleri incelenmiştir (Tablo 19) (Mrc 27 deneme yangını hariç). Gerçekleştirilen 9 örtü yangınında yapılan korelasyon analizi, yayılma oranı ile açık alan ve meşcere içi rüzgâr hızı arasında bir ilişki belirlenmemiştir (Şekil 47a). Örtü yangınlarında yayılma oranı ile rüzgâr hızı standart sapması arasında çok yüksek bir ilişki olduğu anlaşılmıştır ($r=0,826$; $P<0,01$) (Tablo 19). Bununla birlikte, tüketilen tepe yanıcı madde yüzdesi ($r=0,787$; $P<0,05$), göğüs yüzeyi ($r=-0,750$; $P<0,05$) ve tepe yoğunluğu ($r=-0,722$; $P<0,05$) ile ilişkili olduğu belirlenmiştir (Tablo 19). Örtü yangınlarında yayılma oranı ile ölü örtü miktarı ve tepe altı yüksekliği arasında bir ilişki belirlenmemiştir (Şekil 47b). Bu durum, örtü yangını sayısının az oluşunun bir sebebi olduğu düşünülmektedir.



Şekil 47. Örtü yangınları yayılma oranı ile (a) rüzgâr hızı ve tepe yoğunluğu arasındaki ilişki (b) tepe altı yüksekliği ve ölü örtü miktarı arasındaki ilişki.

Tepe yangınları üzerine etkili olan olan yanıcı madde özellikleri ve meteorolojik parametreler arasındaki ilişkileri belirlemek amacıyla pasif ve aktif tepe yangınları için ayrı ayrı korelasyon analizleri gerçekleştirilmiş ve değişkenlerin ikili grafikleri incelenmiştir (Tablo 20 ve 21). Gerçekleştirilen 22 pasif ve 34 aktif tepe yangını ile yapılan korelasyon analizi sonucunda, yayılma oranı ile rüzgâr hızı arasındaki ilişkinin aktif tepe yangınlarında pasif tepe yangınlarına kıyasla daha güçlü olduğu anlaşılmıştır (sırasıyla, $r=0,785$; $P<0,01$, $r=0,665$; $P<0,01$) (Tablo 20, Tablo 21) (Şekil 48).

Tablo 19. Örtü yangınlarına ait yangın davranışı ve yanıcı madde özellikleri ve hava halleri arasındaki korelasyon matrisi

	YO	YMT	YS	Kap	Tor	Gyz	Boy	Tay	TaB	TY	MYM _{ib}	MYM _{kadal}	MYM _{adal}	YMM _{öib}	YMM _{öic}	YMM _{öa}	YMM _ö	YMM _{tib}	YMM _{tic}	YMM _{at}	YMM _t	YMM
YO	1	0,070	0,638	-0,232	0,322	-,750(*)	0,122	-0,139	-0,194	-,722(*)	0,190	-0,098	0,093	-0,181	0,180	0,062	-0,018	-0,496	-0,498	-0,497	-0,497	-0,236
YMT	0,070	1	,783(*)	0,477	-0,331	0,092	,705(*)	0,605	0,576	0,073	,702(*)	0,572	,669(*)	,738(*)	,913(**)	,959(**)	,964(**)	0,268	0,269	0,268	0,268	,909(**)
YS	0,638	,783(*)	1	0,196	-0,084	-0,325	0,617	0,400	0,345	-0,324	0,620	0,358	0,535	0,492	,832(**)	,803(**)	,721(*)	-0,057	-0,057	-0,058	-0,057	0,565
RZG	0,591	0,280	0,470	1	-0,488	,674(*)	,692(*)	,697(*)	,719(*)	,692(*)	,699(*)	,972(**)	,745(*)	,802(**)	0,174	0,439	0,279	,813(**)	,813(**)	,813(**)	,813(**)	0,649
RZG _{h1}	0,631	0,064	0,327	,948(**)	1	-0,306	-0,264	-,883(**)	-,898(**)	-0,423	-0,645	-0,589	-,738(*)	-0,539	-0,200	-0,356	-0,266	-0,223	-0,223	-0,222	-0,222	-0,371
RZG _{sh}	,826(**)	0,503	,904(**)	0,526	0,407	1	0,301	0,347	0,385	,976(**)	0,138	0,549	0,188	0,517	-0,062	0,155	0,049	,933(**)	,933(**)	,933(**)	,933(**)	0,487
RZG _{h1}	0,307	0,617	,761(*)	0,257	0,127	0,617	1	,681(*)	0,656	0,222	,802(**)	,773(*)	,763(*)	,690(*)	0,535	0,662	0,570	0,524	0,524	0,523	0,524	,731(*)
RZG _{h2}	0,513	0,571	,834(**)	0,373	0,252	,824(**)	,882(**)	1	,995(**)	0,406	,893(**)	,820(**)	,938(**)	,740(*)	0,431	0,604	0,486	0,405	0,405	0,405	0,405	0,635
RZG/RZG _{h1}	0,485	0,134	0,262	,963(**)	,943(**)	0,325	0,020	0,110	1	0,442	,859(**)	,828(**)	,922(**)	,763(*)	0,385	0,579	0,457	0,423	0,423	0,423	0,423	0,620
MIR _{h1}	0,340	0,219	0,486	0,117	0,181	0,380	,811(**)	,702(*)	-0,078	1	0,184	0,581	0,239	0,528	-0,083	0,143	0,016	,906(**)	,906(**)	,906(**)	,906(**)	0,456
MIR _{h2}	0,534	0,459	,765(*)	0,355	0,286	,775(*)	,849(**)	,983(**)	0,095	,775(*)	1	,840(**)	,980(**)	0,643	0,527	0,637	0,534	0,337	0,336	0,336	0,336	0,638
YF	0,018	-0,583	-0,414	-0,015	0,169	-0,297	-0,219	-0,145	0,025	0,147	-0,008	1	,873(**)	,828(**)	0,296	0,539	0,369	,714(*)	,714(*)	,714(*)	,714(*)	,682(*)
YN _{hm}	-0,304	0,543	0,228	0,168	-0,110	0,126	0,231	0,141	0,139	-0,301	-0,020	-,722(*)	1	,702(*)	0,456	0,608	0,498	0,342	0,342	0,342	0,342	0,616
YN _ö	0,178	0,662	0,571	0,326	0,128	0,484	0,328	0,315	0,258	-0,071	0,180	-,947(**)	,742(*)	1	0,537	,783(*)	0,636	0,625	0,625	0,624	0,624	,834(**)
YN _{ib}	-0,524	-0,363	-0,569	-0,007	0,085	-0,558	-0,224	-0,188	0,047	-0,006	-0,102	0,461	-0,042	-0,425	1	,945(**)	,946(**)	0,084	0,085	0,083	0,084	,795(*)
SCK	0,539	0,041	0,373	0,173	0,122	0,456	0,421	0,262	0,109	0,321	0,226	-0,258	-0,006	0,285	-,704(*)	1	,944(**)	0,304	0,305	0,303	0,304	,909(**)
BN	-0,510	0,310	-0,096	0,106	-0,049	-0,163	-0,014	0,026	0,106	-0,281	-0,046	-0,481	,739(*)	0,508	0,490	-0,455	1	0,166	0,167	0,165	0,165	,875(**)
YMT _ö	0,074	,986(**)	,774(*)	0,296	0,115	0,476	0,626	0,590	0,146	0,300	0,502	-0,485	0,436	0,576	-0,280	-0,036	0,282	1	1,000(**)	1,000(**)	1,000(**)	0,618
YMT _t	0,383	,753(*)	,755(*)	0,303	0,074	,691(*)	0,470	0,498	0,181	0,029	0,373	-0,638	0,453	,715(*)	-,751(*)	0,521	0,062	,673(*)	1	1,000(**)	1,000(**)	0,619
YMT _{t_yzd}	,787(*)	0,443	,728(*)	0,622	0,577	,782(*)	0,391	0,558	0,505	0,294	0,546	-0,229	-0,099	0,427	-0,560	0,509	-0,203	0,448	,720(*)	1	1,000(**)	0,617
YMT _{at_yzd}	,782(*)	0,462	,739(*)	0,633	0,585	,786(*)	0,399	0,569	0,513	0,296	0,556	-0,229	-0,089	0,431	-0,547	0,487	-0,188	0,469	,721(*)	,999(**)	1	0,618
AY	1,000(**)	-1,000**	-1,000**	1,000(**)	1,000(**)	-1,000**	1,000(**)	-1,000**	1,000(**)	1,000(**)	-1,000**	1,000(**)	-1,000**	-1,000**	-1,000**	1,000(**)	-1,000**	-1,000**	1,000(**)	1,000(**)	1,000(**)	1

**0,01 güven düzeyinde anlamlı

*0,05 güven düzeyinde anlamlı

a: tanımsız

Tablo 20. Pasif tepe yangınlarına ait yangın davranışı ve yanıcı madde özellikleri ve hava halleri arasındaki korelasyon matrisi

	YO	YMT	YS	Kap	Tor	Gyz	Boy	Tay	TaB	TY	MYM _{lib}	MYM _{kadal}	MYM _{adal}	YMM _{oib}	YMM _{öic}	YMM _{öa}	YMM _ö	YMM _{tib}	YMM _{tic}	YMM _{at}	YMM _t	YMM
YO	1	-0,392	,633(**)	-0,046	0,261	0,004	-0,169	-0,274	-0,278	-0,216	-0,284	-0,181	-0,203	-0,357	-0,366	-,444(*)	-,443(*)	-0,195	-0,195	-0,196	-0,196	-,430(*)
YMT	-0,392	1	0,414	,492(*)	-,482(*)	0,394	,768(**)	,671(**)	,629(**)	0,417	,725(**)	,596(**)	,604(**)	,777(**)	,709(**)	,922(**)	,918(**)	,582(**)	,582(**)	,583(**)	,582(**)	,960(**)
YS	,633(**)	0,414	1	0,334	-0,223	,434(*)	,474(*)	0,337	0,300	0,215	0,261	0,313	0,273	0,222	0,150	0,237	0,260	0,349	0,349	0,349	0,349	0,363
RZG	,665(**)	-0,422	0,262	1	-0,333	,657(**)	,576(**)	,525(*)	,510(*)	,722(**)	,637(**)	,726(**)	,664(**)	,662(**)	-0,074	,448(*)	0,201	,771(**)	,771(**)	,771(**)	,772(**)	,603(**)
RZG _{h1}	,599(**)	-,480(*)	0,150	,987(**)	1	-,499(*)	-,541(**)	-,912(**)	-,924(**)	-,557(**)	-,619(**)	-,592(**)	-,621(**)	-,566(**)	-0,096	-,463(*)	-0,313	-,488(*)	-,488(*)	-,488(*)	-,488(*)	-,538(**)
RZG _{sh}	,429(*)	-,491(*)	0,016	,628(**)	,599(**)	1	,543(**)	,584(**)	,598(**)	,929(**)	,517(*)	,738(**)	,622(**)	,500(*)	-0,232	0,251	0,080	,906(**)	,906(**)	,906(**)	,906(**)	,587(**)
RZG _{h1}	-0,352	-0,003	-0,317	-0,154	-0,147	0,270	1	,829(**)	,803(**)	,495(*)	,795(**)	,767(**)	,754(**)	,784(**)	0,270	,709(**)	,518(*)	,733(**)	,733(**)	,733(**)	,733(**)	,795(**)
RZG _{h2}	-0,401	-0,172	-,514(*)	-0,180	-0,147	0,346	,834(**)	1	,995(**)	,615(**)	,814(**)	,782(**)	,800(**)	,763(**)	0,169	,643(**)	,434(*)	,676(**)	,676(**)	,676(**)	,676(**)	,728(**)
RZG/RZG _{h1}	,681(**)	-0,406	0,290	,998(**)	,983(**)	,599(**)	-0,203	-0,239	1	,633(**)	,804(**)	,787(**)	,800(**)	,759(**)	0,123	,617(**)	0,392	,677(**)	,677(**)	,677(**)	,677(**)	,700(**)
MIR _{h1}	-0,234	-0,420	-,546(**)	0,113	0,206	0,380	,754(**)	,786(**)	0,064	1	,591(**)	,779(**)	,654(**)	,629(**)	-0,238	0,342	0,108	,931(**)	,931(**)	,931(**)	,932(**)	,634(**)
MIR _{h2}	-0,361	-0,300	-,578(**)	-0,097	-0,035	0,369	,738(**)	,970(**)	-0,155	,859(**)	1	,896(**)	,962(**)	,927(**)	0,242	,799(**)	,516(*)	,684(**)	,684(**)	,684(**)	,684(**)	,783(**)
YF	,654(**)	-0,340	0,339	,947(**)	,939(**)	,526(*)	-0,280	-0,292	,953(**)	0,019	-0,195	1	,940(**)	,874(**)	-0,020	,630(**)	0,307	,854(**)	,854(**)	,854(**)	,855(**)	,738(**)
YNhm	-0,420	0,360	-0,064	-,721(**)	-,761(**)	-,440(*)	0,144	0,058	-,716(**)	-0,284	-0,079	-,818(**)	1	,841(**)	0,063	,647(**)	0,349	,717(**)	,717(**)	,717(**)	,717(**)	,692(**)
YNö	-,526(*)	0,346	-0,231	-,741(**)	-,761(**)	-,429(*)	0,298	0,263	-,747(**)	-0,060	0,141	-,879(**)	,852(**)	1	0,294	,879(**)	,589(**)	,743(**)	,742(**)	,743(**)	,743(**)	,858(**)
YNib	-0,034	-0,345	-0,203	-0,219	-0,174	-0,051	0,109	0,196	-0,229	0,247	0,238	-0,180	0,181	-0,009	1	,714(**)	,912(**)	-0,101	-0,101	-0,100	-0,100	,537(**)
SCK	-0,096	,640(**)	0,390	-0,218	-0,259	-0,246	-0,281	-0,362	-0,193	-,474(*)	-0,418	-0,127	0,093	0,177	-,543(**)	1	,886(**)	,494(*)	,494(*)	,494(*)	,494(*)	,896(**)
BN	-0,174	0,032	-0,142	0,085	0,053	0,137	0,293	0,226	0,070	0,064	0,140	-0,140	0,408	0,317	-0,008	-0,395	1	0,252	0,253	0,253	0,253	,812(**)
YMTö	-,443(*)	,918(**)	0,260	-0,319	-0,329	-,451(*)	-0,036	-0,136	-0,306	-0,237	-0,190	-0,217	0,104	0,185	-0,384	,618(**)	-0,124	1	1,000(**)	1,000(**)	1,000(**)	,765(**)
YMTt	0,162	,497(*)	,645(**)	-0,287	-0,417	-0,156	-0,083	-0,212	-0,270	-,607(**)	-0,383	-0,251	,497(*)	0,268	-0,020	0,323	0,187	0,144	1	1,000(**)	1,000(**)	,766(**)
YMTt_yzd	,596(**)	0,019	,611(**)	-0,047	-0,130	-0,008	-0,358	-0,245	-0,031	-,459(*)	-0,277	-0,019	0,049	-0,022	0,094	0,177	-0,177	-0,142	,592(**)	1	1,000(**)	,766(**)
YMTat_yzd_	,589(**)	0,017	,594(**)	-0,048	-0,134	0,017	-0,346	-0,223	-0,034	-,446(*)	-0,255	-0,030	0,044	0,003	0,069	0,190	-0,180	-0,136	,568(**)	,994(**)	1	,766(**)
AY	0,921	0,102	0,906	0,654	0,629	0,644	-0,724	-0,933	0,667	-0,799	-,957(*)	0,770	-0,422	-0,854	-0,178	0,745	-,973(*)	0,127	0,231	0,694	0,865	1

** 0,01 güven düzeyinde anlamlı

* 0,05 güven düzeyinde anlamlı

a: tanımsız

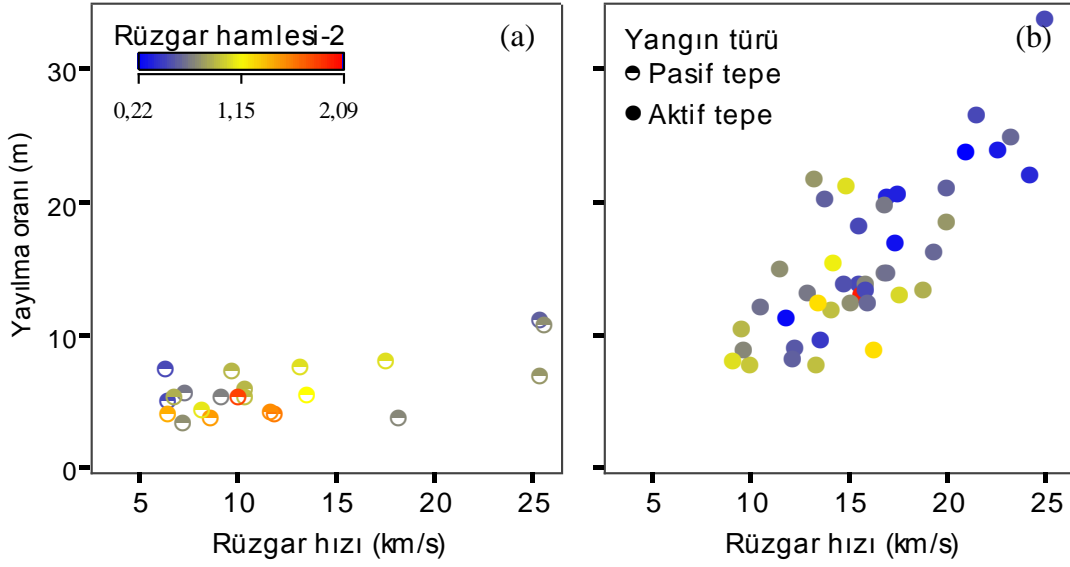
Tablo 21. Aktif tepe yangınlarına ait yangın davranışı ve yanıcı madde özellikleri ve hava halleri arasındaki korelasyon matrisi

	YO	YMT	YS	Kap	Tor	Gyz	Boy	Tay	TaB	TY	MYM _{lib}	MYM _{kadal}	MYM _{adal}	YMM _{bib}	YMM _{öc}	YMM _{öa}	YMM _ö	YMM _{tib}	YMM _{tic}	YMM _{at}	YMM _t	YMM
YO	1	-.585(**)	0,067	-0,219	,452(**)	-.539(**)	-.424(**)	-.505(**)	-.483(**)	-.524(**)	-.416(**)	-.420(**)	-.420(**)	-.492(**)	-.351(*)	-.501(**)	-.544(**)	-.502(**)	-.502(**)	-.502(**)	-.502(**)	-.617(**)
YMT	-.585(**)	1	,717(**)	,339(*)	-.563(**)	,638(**)	,843(**)	,750(**)	,692(**)	,591(**)	,802(**)	,715(**)	,725(**)	,773(**)	,783(**)	,896(**)	,943(**)	,726(**)	,726(**)	,726(**)	,726(**)	,987(**)
YS	0,067	,717(**)	1	,351(*)	-0,206	0,262	,620(**)	,392(**)	,334(*)	0,229	,551(**)	,453(**)	,462(**)	,543(**)	,694(**)	,698(**)	,702(**)	,404(**)	,404(**)	,404(**)	,404(**)	,656(**)
RZG	,785(**)	-.456(**)	0,066	1	0,147	0,271	,393(**)	0,017	0,007	0,202	,358(*)	0,267	,309(*)	,333(*)	0,197	,319(*)	0,271	,372(*)	,372(*)	,372(*)	,372(*)	,353(*)
RZG _{h1}	,792(**)	-.589(**)	-0,123	,955(**)	1	-.558(**)	-.467(**)	-.945(**)	-.953(**)	-.591(**)	-.452(**)	-.588(**)	-.544(**)	-.352(*)	-.363(*)	-.411(**)	-.487(**)	-.417(**)	-.417(**)	-.417(**)	-.417(**)	-.567(**)
RZG _{sh}	0,244	-0,025	0,101	0,233	0,248	1	,611(**)	,635(**)	,645(**)	,961(**)	,695(**)	,710(**)	,740(**)	,423(**)	0,138	,353(*)	,373(*)	,932(**)	,932(**)	,932(**)	,932(**)	,723(**)
RZG _{h1}	-.322(*)	-0,122	-.402(**)	-.315(*)	-0,258	0,036	1	,715(**)	,677(**)	,478(**)	,858(**)	,674(**)	,720(**)	,565(**)	,679(**)	,705(**)	,750(**)	,754(**)	,754(**)	,754(**)	,754(**)	,870(**)
RZG _{h2}	-.388(**)	-0,054	-.376(*)	-.316(*)	-0,262	0,046	,948(**)	1	,991(**)	,621(**)	,659(**)	,709(**)	,685(**)	,486(**)	,559(**)	,595(**)	,668(**)	,583(**)	,583(**)	,583(**)	,583(**)	,761(**)
RZG/RZG _{h1}	,794(**)	-.438(**)	0,094	,997(**)	,948(**)	0,222	-.383(*)	-.388(**)	1	,636(**)	,634(**)	,710(**)	,685(**)	,454(**)	,481(**)	,537(**)	,596(**)	,571(**)	,571(**)	,571(**)	,571(**)	,710(**)
MIR _{h1}	-0,065	-.453(**)	-.616(**)	-0,070	0,107	0,092	,848(**)	,793(**)	-0,133	1	,653(**)	,746(**)	,753(**)	,420(**)	0,084	,325(*)	,321(*)	,887(**)	,888(**)	,887(**)	,887(**)	,673(**)
MIR _{h2}	-.303(*)	-0,178	-.458(**)	-0,237	-0,140	0,058	,930(**)	,978(**)	-.310(*)	,885(**)	1	,916(**)	,948(**)	,636(**)	,514(**)	,676(**)	,637(**)	,856(**)	,856(**)	,856(**)	,856(**)	,857(**)
YF	,500(**)	-.394(**)	-0,004	,544(**)	,486(**)	0,011	0,020	-0,008	,529(**)	0,070	0,013	1	,992(**)	,633(**)	,383(*)	,612(**)	,537(**)	,785(**)	,785(**)	,785(**)	,785(**)	,769(**)
YNhm	-.371(*)	,379(*)	0,084	-0,230	-0,232	0,149	-0,086	-0,052	-0,220	-0,125	-0,073	-.814(**)	1	,640(**)	,369(*)	,610(**)	,534(**)	,831(**)	,831(**)	,831(**)	,831(**)	,787(**)
YNö	-0,172	0,231	0,051	-0,078	-0,038	0,146	-0,191	-0,164	-0,063	-0,112	-0,145	-.852(**)	,896(**)	1	,488(**)	,910(**)	,768(**)	,497(**)	,497(**)	,497(**)	,497(**)	,758(**)
YNib	-.377(*)	0,194	-0,154	-0,175	-0,150	0,151	0,044	0,032	-0,173	0,052	0,030	-.576(**)	,791(**)	,621(**)	1	,806(**)	,887(**)	0,280	0,280	0,280	0,280	,720(**)
SCK	-0,192	,405(**)	,466(**)	-.382(*)	-.429(**)	-0,183	-0,164	-0,122	-.361(*)	-0,283	-0,148	-0,020	-0,183	-0,180	-.474(**)	1	,943(**)	,470(**)	,470(**)	,470(**)	,470(**)	,856(**)
BN	-0,225	0,235	-0,076	0,013	0,040	0,208	0,069	0,102	0,004	0,058	0,073	-.502(**)	,639(**)	,643(**)	,632(**)	-.630(**)	1	,472(**)	,472(**)	,472(**)	,472(**)	,894(**)
YMTö	-.544(**)	,943(**)	,702(**)	-.401(**)	-.517(**)	-0,019	-0,154	-0,079	-.383(*)	-.421(**)	-0,178	-.356(*)	,312(*)	0,186	0,152	,423(**)	0,154	1	1,000(**)	1,000(**)	1,000(**)	,814(**)
YMTt	-.344(*)	,650(**)	,480(**)	-0,291	-.424(**)	-0,059	-0,014	0,009	-0,283	-.341(*)	-0,119	-0,220	,304(*)	0,173	0,141	0,154	0,281	,369(*)	1	1,000(**)	1,000(**)	,814(**)
YMTt_yzd	,537(**)	-0,225	0,202	,443(**)	,414(**)	0,173	-0,192	-0,222	,448(**)	-0,090	-0,194	0,238	-0,016	-0,006	0,054	-0,258	0,016	-0,291	0,158	1	1,000(**)	,814(**)
YMTat_yzd_	,524(**)	-0,258	0,166	,425(**)	,396(**)	0,156	-0,140	-0,186	,428(**)	-0,044	-0,157	0,250	-0,027	-0,027	0,043	-0,237	-0,011	-.324(*)	0,136	,983(**)	1	,814(**)
AY	,310(*)	0,225	,520(**)	0,266	0,160	-0,070	-.342(*)	-.341(*)	0,287	-.383(*)	-.357(*)	0,260	-0,141	-0,104	-0,188	0,230	-0,217	0,205	0,240	,396(**)	,346(*)	1

** 0,01 güven düzeyinde anlamlı

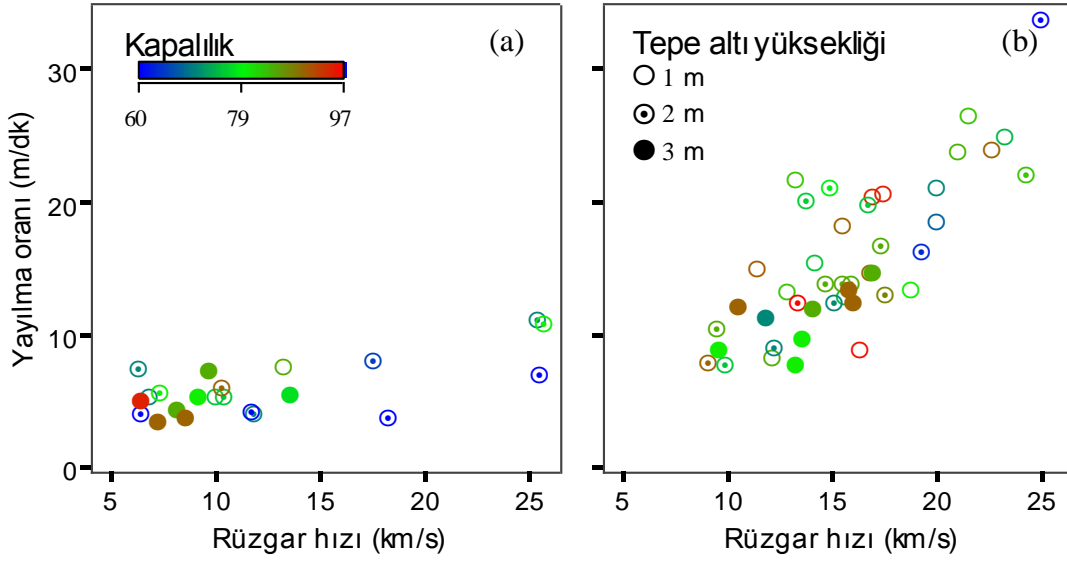
* 0,05 güven düzeyinde anlamlı

a: tanımsız



Şekil 48. Tepe yangınlarında yayılma oranı ile rüzgâr hızı ve rüzgâr hamlesi-2 arasındaki ilişki (a) pasif tepe yangınları ve (b) aktif tepe yangınları

Tepe yangını türleri arasında rüzgâr hızının yayılma oranı üzerine etkisinde görülen belirgin farklılığın, parsellerdeki yanıcı madde özelliklerinde ve meşcere dinamiklerinde görülen değişimin bir neticesidir. Ayrıca, deneme yangınları sırasında yapılan arazi gözlemlerine dayanarak, pasif tepe yangınlarının, rüzgâr hamlesindeki artışlardan daha çok etkilendiği belirlenmiştir. Tepe yangınlarının, örtü yangınından bağımsız olarak tek başına devam etmesi oldukça zordur. Bu nedenle tepe yangınları örtü yangının sağladığı konvektif bir desteğe ihtiyaç duyar (Van Wagner, 1968). Örtü yanıcı madde miktarının artması, yayılma oranını ve şiddetini artırdığından, tepe yangını potansiyeli artar. Ancak deneme yangınlarında bu etki aralamanın diğer yanıcı madde özelliklerinde meydana getirdiği değişim nedeniyle görülemediği belirlenmiştir. Ancak, özellikle aktif tepe yangınlarında, merdiven yanıcı maddelerin (tepe altı boşluğundaki döküntü ibre ve kuru dallar) yangın yayılma oranı ile ilişkili olduğu belirlenmiştir (Tablo 21). Tepe yoğunluğunun aktif tepe yangınları yayılma oranı ile orta düzeyde ilişkili olduğu buna karşın pasif tepe yangınlarında ilişkili olmadığı belirlenmiştir. Tepe yangını türü üzerinde, kapalılık ve tepe altı yüksekliğinin etkisine bakıldığında, sadece aktif tepe yangınlarının tepe altı yüksekliği ile ilişkili olduğu ($r=-0,505$; $P<0,01$) (Tablo 21) (Şekil 49), pasif tepe yangınlarının her iki değişkenle ilişkili olmadığı görülmüştür.

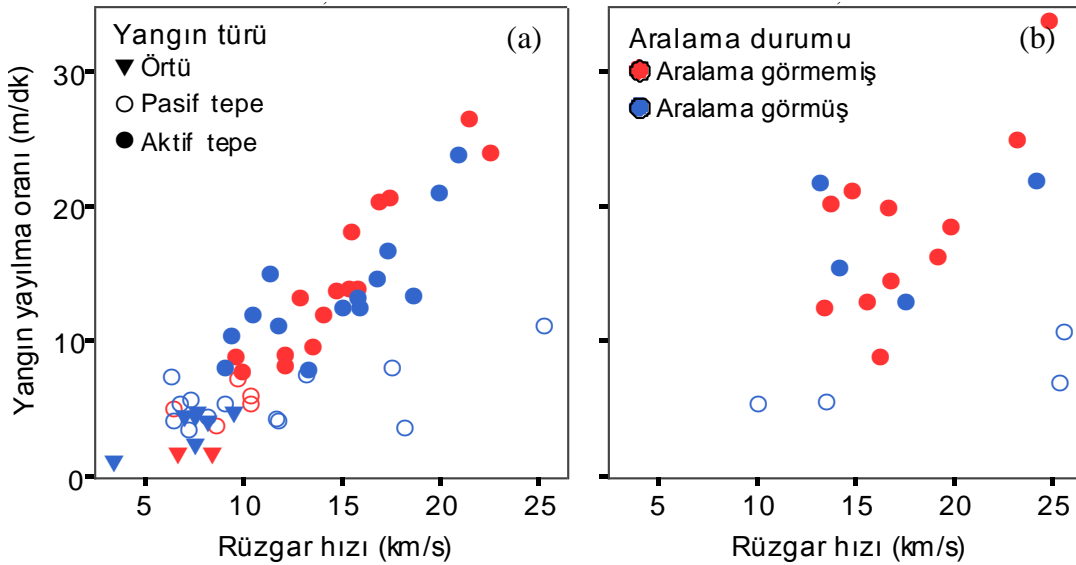


Şekil 49. Deneme yangınları yayılma oranının, kapalılık ve tepe altı yüksekliğine bağlı olarak dağılımı (a) pasif tepe yangını (b) aktif tepe yangını

Tepe altı yüksekliği bir yangının tepe yangına dönüşmesinde etkili olan faktörlerin başında gelir. Tepe altı yüksekliği arttıkça, örtü yangınının tepe yangınına dönüşebilmesi için gerekli olan yangını şiddeti artar. Aksi takdirde tepe yangını meydana gelmez (Van Wagner 1977). Bu nedenle, tepe oranı arttıkça yangın yayılma oranı azalır. Bu durum aktif tepe yangınları yayılma oranında açık olarak görülmektedir (Şekil 49b). Ancak, burada rüzgârın baskılayıcı etkisinde göz önünde bulundurulmalıdır.

Gerçekleştirilen deneme yangınlarında, yangın yayılma oranının sağlıklı olarak tahmin edilmesi parsel ebatları ile yakından ilişkilidir. Yangının sabit bir yayılma oranına ulaşması ve belli bir mesafe bu hızda ilerlemesi gerekmektedir. Özellikle, tepe yangınlarında parsel ebatlarının 30x60 m ebatlarında olması arzu edilir (Van Wagner, 1968; Albin 1982). Son bulgulara göre, yaklaşık 2 dakikalık zaman zarfında gerçekleşen deneme yangınlarında yangının potansiyel yayılma oranlarına ulaşamamış olma ihtimalinin bulunduğunu belirtilmektedir. Yangın tutuşma hattının uzunluğunun, özellikle çayır alanlarda yangın yayılma oranını etkilediği bilinmektedir (Cheney ve Gould, 1995). Ancak, maki tipi yanıcı maddelerde bu etki tam olarak desteklenmemiştir (Marsden-Smedley ve Catchpole, 1995; Catchpole vd., 1998a; Cruz vd., 2013). Özellikle, orta yanma koşullarında gerçekleştirilen maki tipi deneme yangınlarında tutuşma hattı uzunluğunun yangın yayılma oranı üzerine etkisinin baskılandığı bilinmektedir (Fernandes, 2001; Marsden-Smedley ve Catchpole, 1995; Catchpole vd., 1998a; Fernandes vd., 2000; Cruz vd., 2013).

Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen deneme yangınlarında parsel boyutları, tam olarak gerçek bir orman yangının yangın davranış sonucunu vermeyebilir. Ancak, deneme yangını parsellerinin yanıcı madde ve hava halleri bakımından farklılık göstermesi, yangın davranışındaki değişimi ortaya koyma adına önemli sonuçlar verdiği düşünülmektedir. Bu çalışma kapsamında kaçan ve deneme yangını parsellerinden yaklaşık iki-kat daha büyük boyutlarda gerçekleşen yangınlarda elde edilen yangın davranış sonuçları dikkate alındığında, çalışma kapsamında kullanılan parsel boyutları ile istatistiki anlamda birbirinden çok farklı olmadığı görülmüştür (Mrc 23, Mrc 24, ve Mrc 31 deneme yangınları) (Şekil 50). Büyük boyutlu parsellerden iki aralama görmemiş ve bir aralama görmüş parselin (Mrc 9), yaklaşık aynı rüzgâr hızlarında benzer yayılma oranları gösterdiği belirlenmiştir (Şekil 50b). Bu durum, Mrc 9 deneme yangınının aralama görmüş olmasına karşın meşcere kapalılığının yüksek, tepe altı yüksekliğinin düşük ve ölü örtü neminin deneme yangını setinde ölçülen en düşük ölü örtü nemlerinden biri olmasının bir sonucudur.



Şekil 50. Farklı parsel boyutlarında gerçekleştirilen deneme yangınlarında yayılma oranı ve rüzgâr hızı arasındaki ilişki (a) parsel uzunluğu 20-45 m (b) parsel uzunluğu 45-220 m.

Deneme yangınlarından elde edilmek istenen temel amaç, farklı şartlar altında farklı yangın davranışı ile sonuçlanan yangınlar arasında karşılaştırma yapma imkânının bulunmuş olmasıdır. Bu nedenle deneme yangını parsel boyutlarının yeter düzeyde olduğu düşünülmektedir. Ayrıca, doğaya açık alanda gerçekleştirilen deneme yangınlarında,

rüzgârın oldukça değişken olması, büyük boyutlardaki bir parselin aynı koşullarda gerçekleşen bir hat yangını olarak tamamlanmasını oldukça zorlaştırdığı görülmüştür. Bu nedenle, parsel boyutları küçük olan deneme yangınları daha ziyade düşük rüzgârlarda, büyük parseller ise yüksek rüzgârlarda yakılarak, deneme yangını parsel boyutlarından kaynaklanacak olumsuzluklar en aza indirilmeye çalışılmıştır.

3.2.2. Deneme Yangınlarına Ait Yangın Davranış Verileri İle Regresyon Modellerinin Geliştirilmesi

Deneme yangınlarında yangın davranışındaki değişimi açıklayabilen çevresel değişkenler korelasyon analizleri ile belirlenmiştir. Yangın davranış özellikleri ile seçilen bağımsız değişkenlerin dağılım grafikleri incelenerek aralarındaki ilişkinin formu ortaya konulmuştur. Yangın davranış verilerini az sayıda değişken ile en iyi temsil edecek yangın yayılma modeli oluşturmak ve yangın davranışını etkileyen değişkenleri belirlemek amacıyla regresyon analizleri gerçekleştirilmiştir. Model geliştirme sürecinde (Myers, 1990), Stepwise teknikleri kullanılmıştır. Gerçekleştirilen tüm regresyon analizlerinde, Mrc 27 deneme yangını, yangın davranış özellikleri ve hava halleri bakımından veri tabanındaki en uç değerleri temsil ettiğinden analizlere dâhil edilmemiştir. Oluşturulan modellerin test edilmesi için veri tabanında her hangi bir bölümlenme yapılmamıştır.

Deneme yangını veri tabanı kullanılarak regresyon analizleri üç aşamalı olarak gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada, tüm deneme yangınları analize dâhil edilmiştir. Böylece, meşcere kuruluşu aynı, örtü ve tepe yanıcı madde özellikleri birbirinden farklı meşcerelerde, yangın davranışında etkili olan değişkenler açıklanmaya çalışılmıştır. İkinci aşamada, deneme yangınları aralama durumuna göre sınıflandırılarak, ayrı ayrı regresyon analizleri gerçekleştirilmiştir. Böylece, aralamanın yangın davranışında meydana getirdiği farklılıklar belirlenmeye çalışılmıştır. Üçüncü aşamada ise, deneme yangınları yangın türlerine göre; örtü yangını, pasif ve aktif tepe yangını olarak sınıflandırılmış ve her bir sınıf için regresyon analizi yapılmıştır. Bu analizler sonucunda, genç kızılçam ağaçlandırma alanlarında meydana gelen bir yangının türü üzerinde hangi değişkenlerin etkili olduğu belirlenmeye çalışılmıştır. Geliştirilen modellerde, bağımlı ve bağımsız değişkenlerin birimleri Tablo 14’de belirtildiği şekilde kullanılmıştır.

3.2.2.1. Deneme Yangınlarının Tamamına İlişkin Regresyon Modellerinin Geliştirilmesi

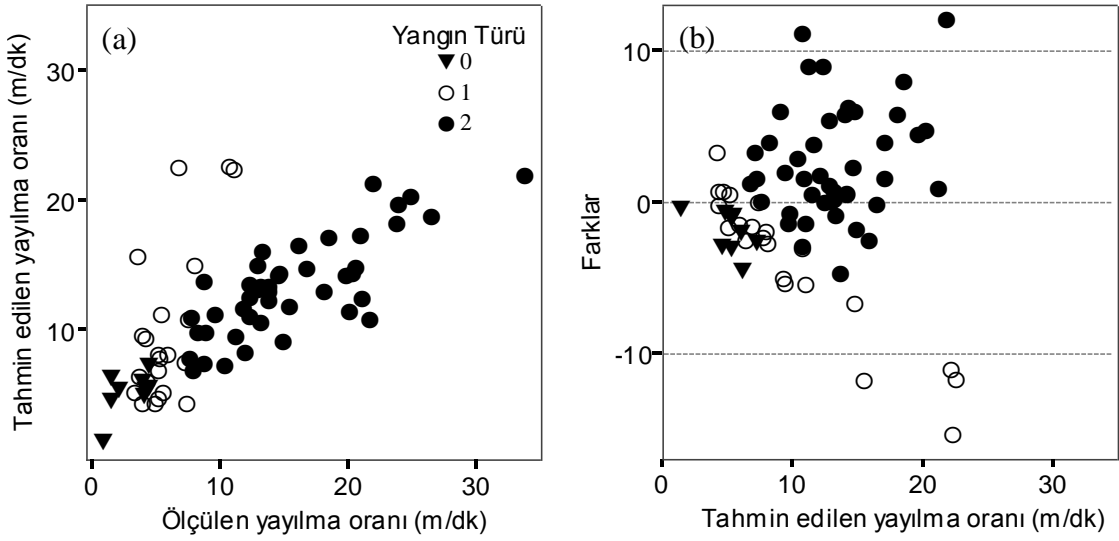
Deneme yangını veri tabanında yer alan 75 yangın (Mrc 27 hariç) ile regresyon analizleri gerçekleştirilmiştir (Tablo 22). Yangın yayılma oranı üzerinde rüzgâr hızının tek başına oldukça etkili bir açıklayıcı değişken olduğu ve sadece rüzgâr hızı ile yayılma oranındaki değişkenliğin %51,7'lik kısmının (Model 1a) açıklandığı görülmüştür (Şekil 51). Rüzgâr hızının, vejetasyon tipine bakılmaksızın yangın yayılma oranı üzerindeki etkisi, gerek doğal yangınların izlenmesiyle, arazi ve laboratuvar ortamındaki pek çok deneme yangını ile gerekse teorik çalışmalarla kanıtlanmıştır (Beer, 1991; Stocks, 2004b; Chandler vd., 1991, Taylor vd., 2004; Nelson, 1980; Albini, 1981; Nelson ve Adkins, 1986).

Tablo 22. Tüm deneme yangınları yayılma oranına ilişkin regresyon modelleri

Model	Model Formu	R ² (%)	SH
1a	a+bRZG	51,7	4,886
1b	a+bRZG+c YMMö	58,2	4,549
1c	a+bRZG+c YMMö +dRZG _{h2}	63,9	4,225
1d	a.RZG ^b × YMMö ^c × exp(d.TY)	66,2	17,19
1e	a.RZG ^b × YMMö ^c × exp(d.TaY)	68,2	16,15
1f	a.RZG ^b × YMMö ^c × exp(d.TaY) × Kap ^e	71,4	14,72
1g	a.RZG ^b × YMMö ^c × exp(d TaY) × RZG _{h2} ^e	76,2	12,26
1h	a a.RZG ^b × exp(c YMMö) × RZG _{h2} ^d × YN ⁱ b ^e × YN ^ö f	80,0	10,47
1k	a.RZG ^b × exp(YMMö ^c) × RZG _{h2} ^d × YN ⁱ b ^e × YN ^ö f × TaY ^g × Kap ^h × TY ^k	81,5	10,12

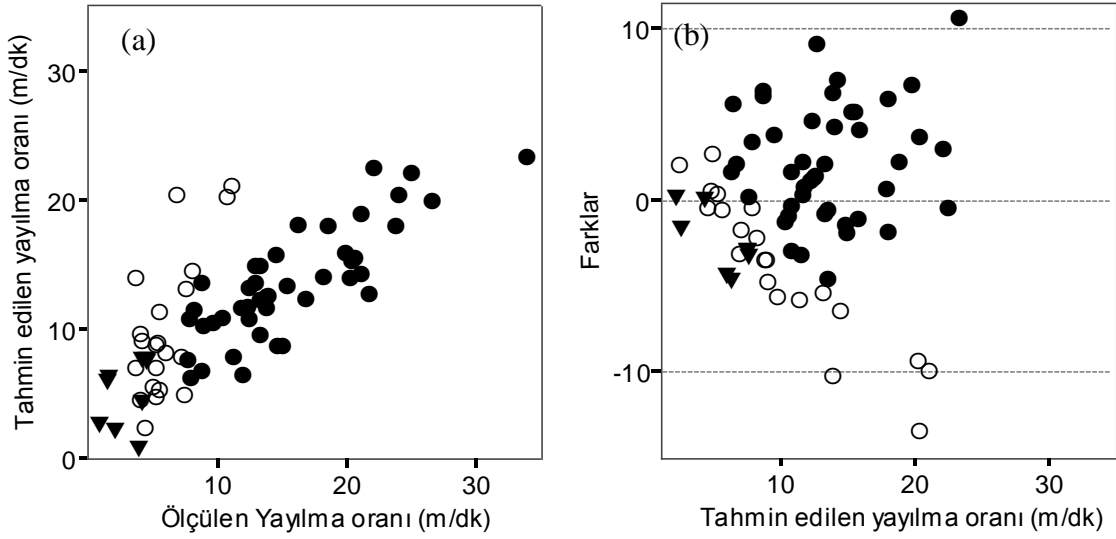
Tablo 23. Tüm deneme yangınlarına ait yayılma oranı regresyon modellerinin katsayıları

Model	Model Katsayıları								
	a	b	c	d	e	f	g	h	k
1a	-1,711	0,949							
1b	4,121	0,786	-1,940						
1c	9,934	0,649	-1,908	-4,627					
1d	1,716	0,788	-0,253	-0,651					
1e	2,179	0,751	-0,220	-0,168					
1f	0,048	0,844	-0,234	-0,127	0,802				
1g	3,285	0,531	-0,225	-0,137	-0,378				
1h	16,241	0,709	-0,185	-0,334	-0,506	0,291			
1k	1,033	0,778	-0,177	-0,262	-0,535	0,316	-0,012	0,529	-0,185

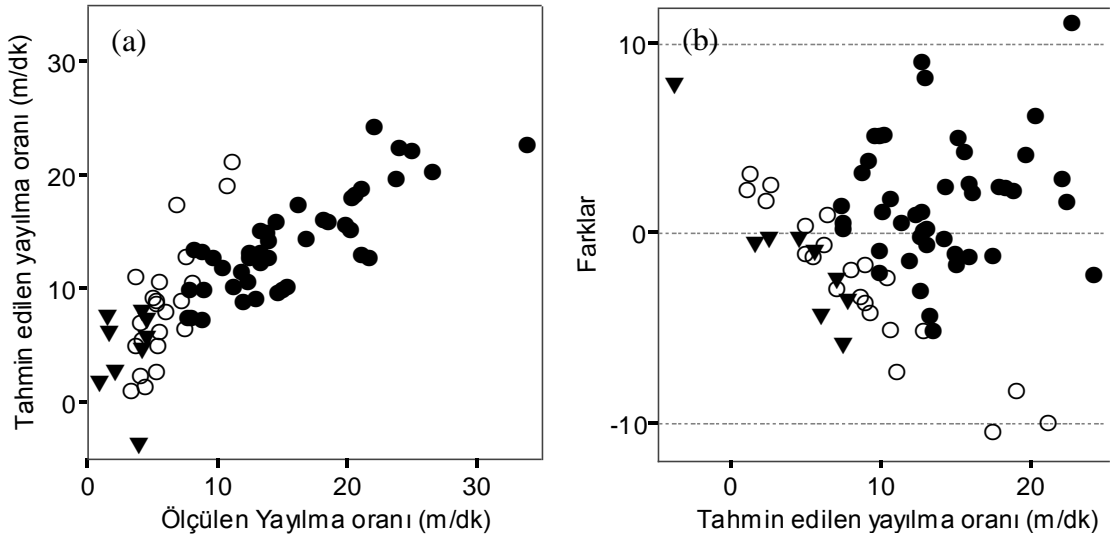


Şekil 51. Yangın türlerine göre (0:Örtü, 1: Pasif tepe, 2:Aktif tepe yangını), yayılma oranının sadece rüzgâr hızına bağlı olarak (Model 1a) (a) tahmini değerleri ve (b) hata terimleri dağılımı

Regresyon analizlerine, rüzgâr hızı ile birlikte ikinci bir değişken olarak ölü örtü miktarı dâhil edildiğinde (Model 1b) yayılma oranındaki değişkenliğin %58,2'sinin açıklandığı görülmüştür (Şekil 52). Tepe yanıcı madde özelliklerinin aynı olması durumunda, ölü örtü miktarındaki artma, yangın yayılma oranında her zaman bir artışla sonuçlanır (Van Wagner, 1977; Cruz vd., 2003a; 2003c). Model 1b'de ölü örtü miktarının denklemdeki katsayısının negatif olması, ölü örtü miktarının artmasıyla birlikte yayılma oranının azalacağı şeklinde düşünülebilir. Ancak, regresyon modelleri en küçük kareler yöntemine göre geliştirildiğinden iki ve daha fazla bağımsız değişken modele dâhil edildiğinde değişkenlerin birbirleri ile etkileşiminin bir sonucu olarak modeldeki katsayıların işareti önemini kaybeder. Dolayısıyla, çoklu regresyon modelleri bir bütün olarak ele alınmalı ve bu modeller, modelin oluşturulmasında kullanılan verilerin sınırları çerçevesinde değerlendirilmelidir. Ayrıca, deneme yangınlarında aralama sonrasında yanıcı maddenin yer değiştirmesi ile ölü örtü miktarında artış meydana gelmiştir. Ancak, ölü örtü miktarındaki bu artış, tepe yanıcı maddelerindeki azalma ile meydana gelmiştir. Bu nedenle, gerçekleştirilen deneme yangınlarında ölü örtü miktarı arttıkça, yayılma oranında dolaylı olarak bir azalma meydana gelmiştir. Model 1b'nin incelendiğinde, pasif ile aktif tepe yangınlarının farklı regresyon eğimine sahip oldukları görülmektedir (Şekil 52). Bu durum, aralama ve benzeri yanıcı madde müdahaleleri sonucunda değişen meşcere ve yanıcı madde dinamiklerinin yangın davranışı üzerindeki etkilerinin tek bir modelle veya sınırlı sayıdaki bağımsız değişkenle izah edilmesini zorlaştırdığını göstermektedir.



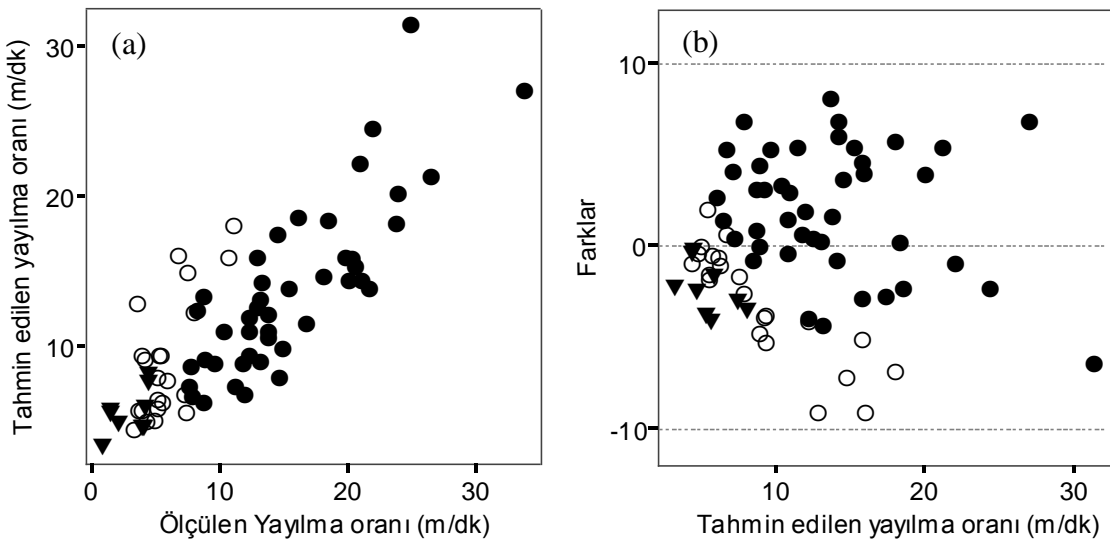
Şekil 52. Yangın türlerine göre, yayılma oranının rüzgâr hızı ve ölü örtü miktarına bağlı olarak (Model 1b) (a) tahmini değerler ve (b) hata terimleri dağılımı



Şekil 53. Yangın türlerine bağlı olarak, yayılma oranının ölçülen değeri ile rüzgâr hızı, ölü miktarı ve meşcere içi rüzgâr hamlesi-1'e bağlı olarak (Model 1c) (a) tahmini değerler ve (b) hata terimleri dağılımı

Deneme yangınlarında, rüzgâr hızının yangın yayılma oranı üzerinde oldukça etkili bir faktör olduğu görülmüştür. Ancak deneme yangınlarının gerçekleştirildiği zaman zarfında, rüzgâr hızının kısa aralıklar içinde çok değişken olduğu ve bu değişkenliğin yangın yayılma oranında dalgalanmalara neden olduğu gözlemlenmiştir. Rüzgâr hızındaki bu ani artış ve azalışların bir fonksiyonu olarak hesaplanan rüzgâr hamlesi_1 ($RZG_{\text{mak}}/RZG_{\text{ort}}$) ve rüzgâr hamlesi_2 ($(RZG_{\text{mak}}-RZG_{\text{min}})/RZG_{\text{ort}}$) değişkenlerinin yangın

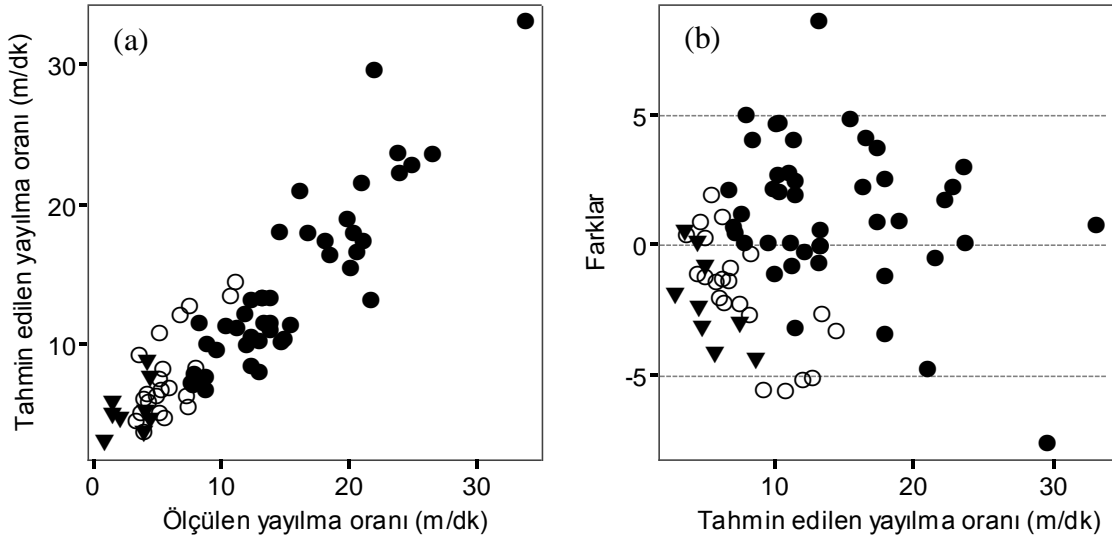
yayıma oranı üzerine olan etkisi regresyon analizleri sonucunda belirlenmiştir. Diğer değişkenlerin yanında üçüncü bir değişken olarak rüzgâr hamlesi_2 modele dâhil edildiğinde, yangın yayılma oranındaki farklılıkların daha iyi açıklanabildiği görülmüştür (Model 1c) (Şekil 53). Bu sonuç, yapılan diğer çalışmalarla benzerlik göstermektedir (Sullivan ve Knight, 2001, Bigelow ve North, 2012). Yangın yayılma oranı üzerinde etkili olan değişkenler, ilk üç modelden sonra doğrusal olmayan regresyon modelleriyle açıklanmaya çalışılmıştır. Diğer değişkenlerle birlikte, tepe yoğunluğu modele alındığında yayılma oranında açıklanan değişkenlik %58,2'den %66,2'ye yükselmiştir (Model 1d) (Şekil 54). Tepe yoğunluğu, yanıcı madde içindeki kütle akış oranı ve yatay enerji akışını belirleyen bir değişkendir (Van Wagner, 1977). Bu özelliği ile tepe yoğunluğu yangın yayılma oranını etkilemektedir (Van Wagner, 1977; Cruz vd., 2004; 2005). Günümüzde, özellikle aktif tepe yangınlarının başlama ve yayılmasında tepe yoğunluğu açıklayıcı değişken olarak kullanılmaktadır (Cruz vd., 2005; 2006). Yangın yayılma oranı üzerinde, tepe altı yüksekliğinin etkisini görebilmek için, rüzgâr hızı ve ölü miktarı ile birlikte bağımsız değişken olarak modele dâhil edildiğinde yayılma oranı değişkenliğinin %68,2'inin açıklanabildiği görülmüştür (Model 1e). Böylece, örtü yangınının tepe yangınına dönüşümünde önemli bir değişken olduğu bilinen tepe altı yüksekliğinin (Alexander ve Cruz, 2006, Tachajapong, 2008) yayılma oranı ve yangın türü üzerindeki etkisi açık olarak görülmüştür.



Şekil 54. Yangın türlerine bağlı olarak, yayılma oranının ölçülen değeri ile rüzgâr hızı, ölü örtü miktarı ve tepe altı yüksekliğine bağlı olarak (Model 1d) (a) tahmini değerleri ve (b) hata terimleri dağılımı

Meşcere kapalılığı, dördüncü bir bağımsız değişken olarak modele dâhil edildiğinde yayılma oranındaki değişkenliğin (Model *If*) %71,3'ü açıklanmıştır. Böylece, diğer değişkenlerle birlikte, meşcere kapalılığının yayılma oranı üzerindeki açıklayıcı etkisi görülmüştür. Deneme yangınlarının %79'unda meşcere kapalılığı %70'in üzerindedir. Daha düşük kapalılıkta meşcerelerin veri tabanında bulunması durumunda bu etki daha iyi görülecektir. Model *Ie*'de yer alan değişkenlerle birlikte, rüzgâr hamlesi-2 modele dâhil edildiğinde, yayılma oranının açıklanabilen değişkenlik oranı %68,2'den %76,2'ye yükselmiştir (Model *Ig*). Model *Ig*, uygulamada kullanılması zor bir model olabilir. Ancak, ortalama rüzgâr hızı ile birlikte rüzgâr hızı dalgalanmalarını ifade eden değişkenlerin yayılma oranı üzerinde belirleyici bir etkiye sahip olduklarının anlaşılması bakımından, oldukça önemli bir modeldir. Özellikle, yüksek rüzgâr hızlarında yakılan ve pasif tepe yangını olarak gerçekleşen yangınlarda, Model *Ig* yayılma oranındaki değişkenliği oldukça iyi açıklayabilmiştir.

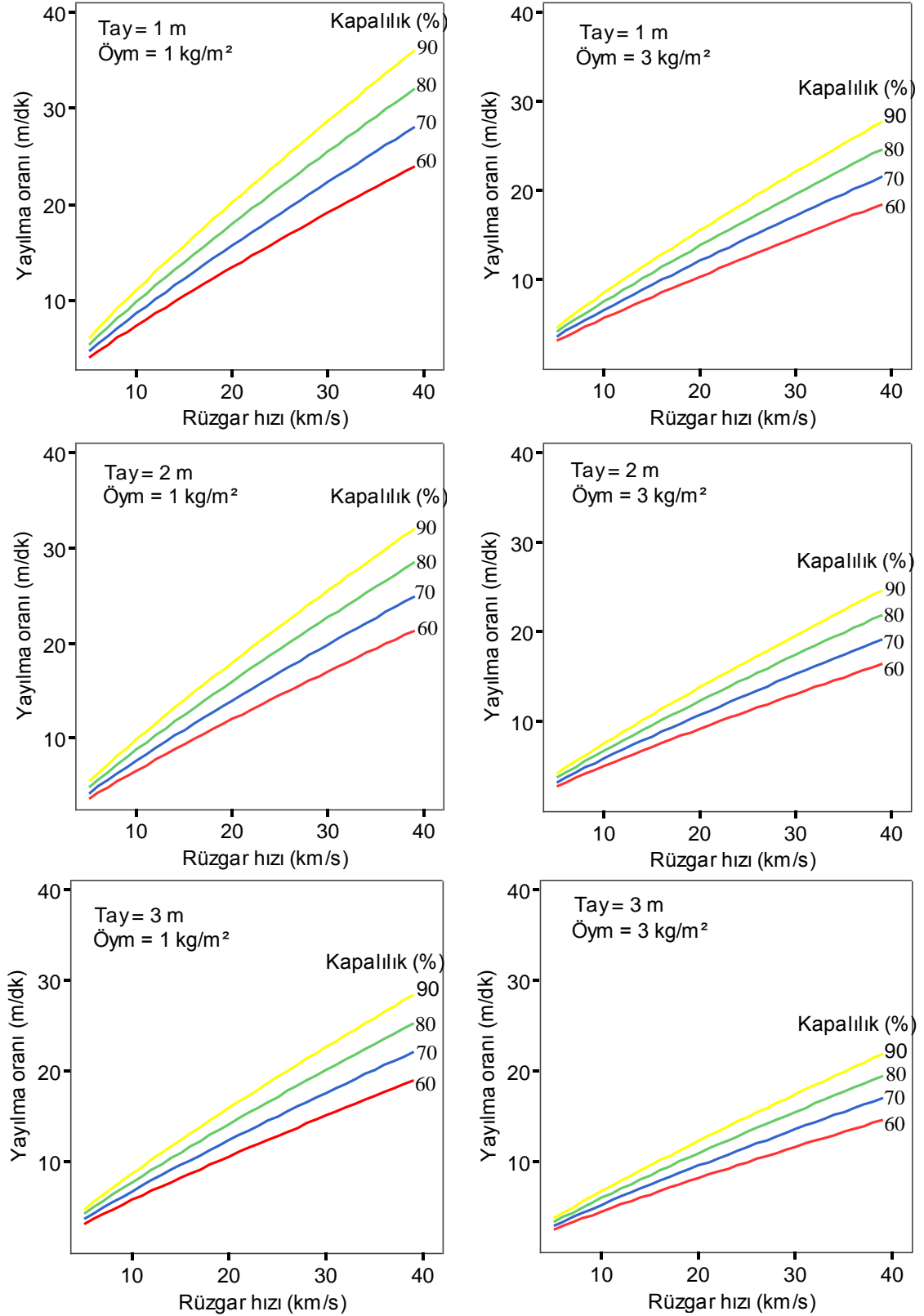
Yangın davranışı üzerinde yanıcı madde miktarının yanı sıra, yanıcı madde neminin de etkili olduğu bilinmektedir (Thomas, 1971; Lindenmuth & Davis, 1973, Pausas vd., 2012; Bilgili ve Sağlam, 2003). Rüzgâr hızı, ölü örtü miktarı ve rüzgâr hamlesi-2 bağımsız değişkenleri ile birlikte, ölü örtü ve canlı ibre nemi modele eklendiğinde (Model *Ih*) yayılma oranındaki değişkenliğin %80 oranında açıklanabildiği görülmüştür. Özellikle ibre neminin, ölü örtü nemine kıyasla yangın yayılma oranındaki değişkenliğin açıklanmasına daha fazla katkı sağladığı görülmüştür. Ancak bu durum, ibre neminin yangın yayılma oranı üzerine etkisinin diğer değişkenlerle birlikte, ölü örtü neminden daha fazla olduğu anlamını taşımamaktadır. Nitekim veri tabanında ibre nemi veri aralığının, ölü örtü nemi veri aralığına göre daha geniş bir yelpazede yakalanmış olmasının, bu sonuca neden olabileceği düşünülmektedir. Bir yangının oluşumu ve gelişimi üzerinde ölü örtü neminin çok önemli olduğu ve ibre nemine kıyasla yangın yayılma oranı üzerinde daha etkili olduğu bir çok çalışma ile kanıtlanmıştır (Cruz vd., 2006; Küçük, 2004; Cruz, 1999; Bilgili vd., 2010a; 2010b). Diğer değişkenlerle birlikte, tepe altı yüksekliği, kapalılık ve tepe yoğunluğu modele bağımsız değişken olarak eklendiğinde yayılma oranındaki değişkenliği en iyi açıklayabilen model elde edilmiştir (R^2 =%81,5) (Model *Ik*). Model *Ik*'nın uygulamada kullanımı zor olmasına karşın, yangın yayılma oranı üzerine etkili bağımsız değişkenlerin, bir aradaki etkilerinin görülebilmesine imkân sağlaması açısından önem taşımaktadır (Şekil 55).



Şekil 55. Yangın türlerine bağlı olarak, yayılma oranının ölçülen değeri ile rüzgâr hızı, ölü örtü miktarı, meşcere içi rüzgâr hamlesi-2, ibre ve ölü örtü nemi, tepe altı yüksekliği, kapalılık ve tepe yoğunluğuna bağlı olarak (Model *Ik*) (a) tahmini değerleri ve (b) hata terimleri dağılımı

Deneme yangınlarının tamamı kullanılarak geliştirilen modeller arasında, Model *If* az sayıda değişken ile yayılma oranındaki değişkenliği büyük ölçüde tahmin edebildiğinden (%71.4), ormancılık uygulamalarında pratik bir kullanım alanı bulabileceği düşünülmektedir. Model *If* eşitliği, rüzgâr hızı, ölü örtü miktarı, tepe altı yüksekliği ve kapalılık değişkenlerine bağlı olarak yangın yayılma oranında meydana gelen değişimi açıklamaktadır (Şekil 56).

Gerçekleştirilen tüm deneme yangınları ile yapılan regresyon analizleri sonucunda, yangın yayılma oranındaki değişkenliği en iyi açıklayabilen değişkenlerin başında rüzgâr hızı ve rüzgâr dalgalanmalarını ifade eden rüzgâr hamlesi değişkenleri olduğu görülmüştür. Ayrıca ölü örtü miktarı, tepe yoğunluğu, tepe altı yüksekliği, kapalılık, ölü örtü ve ibre yanıcı madde nemi gibi değişkenlerin yayılma oranında etkili oldukları belirlenmiştir. Geliştirilen son üç modelin (Model *Ig*, Model *Ih*, Model *Ik*) değişken sayısının fazla ve zor ölçülebilen değişkenlerden ibaret olması, uygulamada yaygın bir kullanıma sahip olamayacağını gösterebilir. Ancak, bu modellerin yangın dinamiklerinin anlaşılması konusunda önemli bulgular ortaya koyduğu düşünülmektedir.



Şekil 56. Model I_f 'nin farklı rüzgâr hızı, ölü örtü miktarı, tepe altı yüksekliği ve kapalılık değerlerine göre tahmini yayılma oranı değerleri

3.2.2.2. Aralama Görmüş ve Görmemiş Parsellerdeki Deneme Yangınlarına İlişkin Regresyon Modellerinin Geliştirilmesi

Aralama görmüş 43 ve aralama görmemiş 33 deneme yangını üzerinde regresyon analizleri gerçekleştirilmiştir. Regresyon analizleri sonucunda, aralama görmüş ve görmemiş deneme yangını sonuçları kıyaslandığında, yangın davranışı üzerine etkili olan faktörlerin tek başına veya birlikte ele alındıklarında etki derecelerinin farklı olduğu görülmüştür (Tablo 24 ve Tablo 25). Rüzgâr hızı, aralama görmemiş parsellerde yangın yayılma oranındaki değişkenliğin %81,9'luk kısmını tek başına açıklarken, aralama görmüş parsellerdeki yangınlarda bu oran %36,1'e düşmüştür (Model 2a) (Şekil 57).

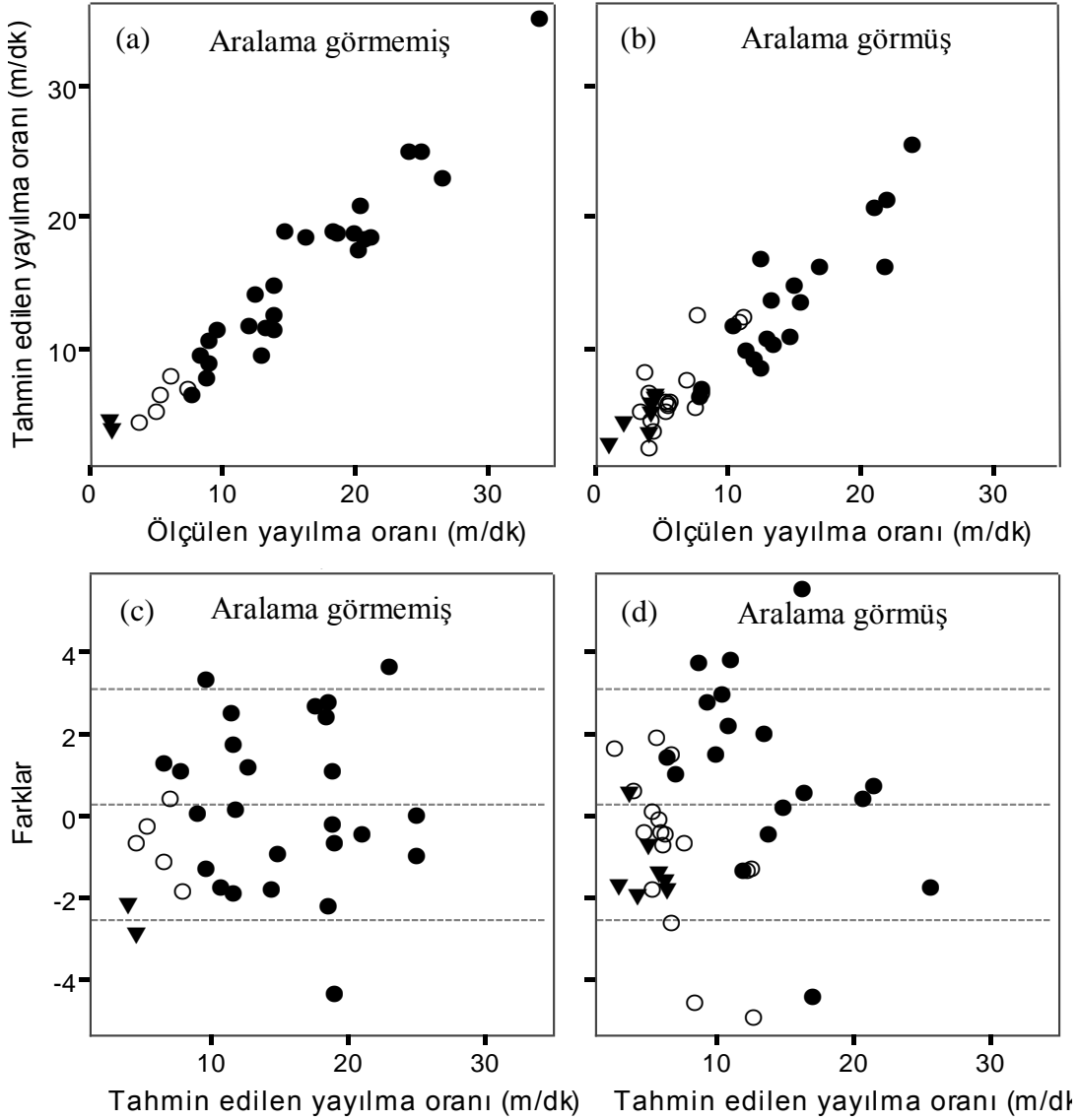
Tablo 24. Aralama görmüş ve görmemiş parsellerdeki deneme yangını yayılma oranlarına ilişkin regresyon modelleri

No	Model Formu	Müdahale durumu	
		Aralama görmemiş R ² (%) (SH)	Aralama görmüş R ² (%) (SH)
2a	a+b.RZG	81,9 (3,26)	36,1 (4,70)
2b	a+b.RZG+c RZG _{h2} +d RZG _{sh}	-	62,3 (3,26)
2c	a.RZG ^b ×YMMö ^c	82,9 (4,42)	48,4 (10,0)
2d	a.RZG ^b ×YMMö ^c ×TaY ^d ×Kap ^e	82,9 (4,52)	71,0 (5,79)
2e	a.RZG ^b ×YMMö ^c ×TaY ^d ×Kap ^e ×exp(f. RZG _{h2})	84,8 (4,09)	79,2 (4,22)
2f	a.RZG ^b ×YMMö ^c ×TaY ^d ×Kap ^e ×exp(f. RZG _{h2}) ×YNö ^g	88,4 (3,17)	79,2 (4,28)
2g	a.RZG ^b ×YMMö ^c ×TaY ^d ×Kap ^e ×exp(f. RZG _{h2}) ×YNö ^g ×YNib ^h ×TY ^k	90,2 (2,75)	81,9 (3,82)

Not: Model 2b aralama görmemiş meşcereler için sonuç vermemiştir.

Tablo 25. Aralama görmüş ve aralama görmemiş parsellerdeki deneme yangınlarına yayılma oranı ait regresyon modellerinin katsayı değerleri

Model no	Aralama durumu	Değişken katsayıları								
		a	b	c	d	e	f	g	h	k
2a	görmemiş	-1,711	0,949							
	görmüş	-7,817	0,123							
2b	görmemiş	-	-	-	-					
	görmüş	8,319	0,004	-7,222	9,175					
2c	görmemiş	0,326	1,389	-0,066						
	görmüş	1,840	0,699	-0,258						
2d	görmemiş	0,218	1,386	-0,075	-0,007	0,094				
	görmüş	0,000	0,812	-0,112	-0,337	2,093				
2e	görmemiş	0,667	1,197	-0,087	-0,032	-0,001	-0,250			
	görmüş	0,006	0,505	-0,112	-0,311	1,550	-0,559			
2f	görmemiş	1,535	1,303	-0,071	0,033	-0,415	-0,484			
	görmüş	0,005	0,526	-0,110	-0,307	1,537	-0,567			
2g	görmemiş	1,698	1,367	-0,035	0,275	0,334	-0,416	-0,270	-0,388	0,028
	görmüş	0,001	0,549	-0,163	-0,102	1,809	-0,616	-9,900	0,132	-0,470

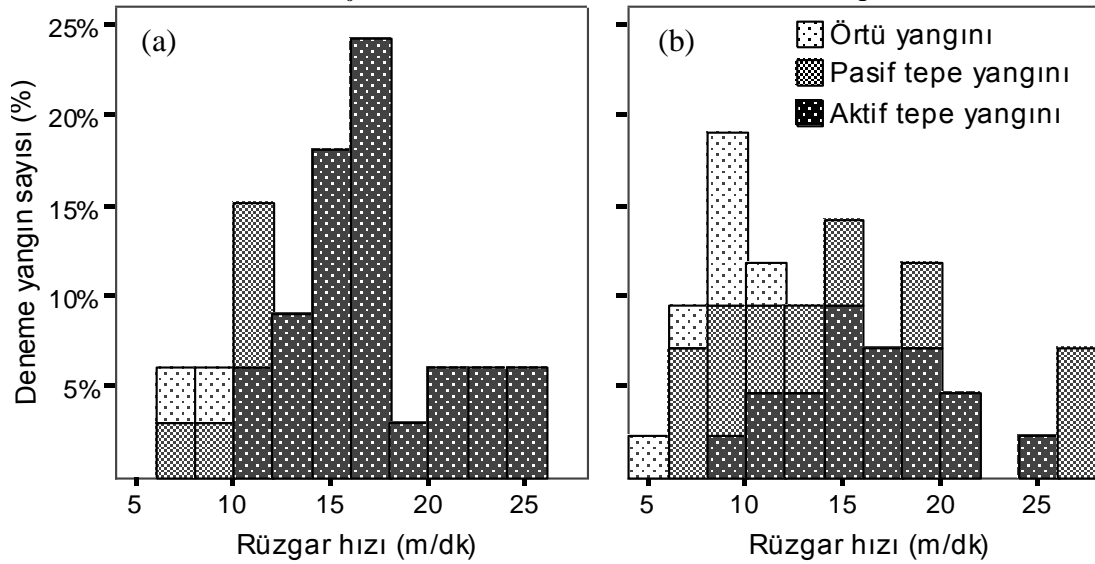


Şekil 57. Yangın türlerine göre, aralama görmüş ve görmemiş yangınların yayılma oranı ölçülen değeri ile sadece rüzgâr hızına bağlı olarak (Model 2a) (a) ve (b) tahmini değerleri, (b) ve (c) hata terimleri dağılımı

Orman yangınlarında en önemli değişken olarak kabul edilen rüzgâr hızının, yayılma oranı üzerindeki hâkim etkisinin, aralama görmemiş parsellerde devam ettiği, aralama görmüş parsellerde bu etkinin azaldığı anlaşılmıştır. Bu durum, aralama müdahaleleri ile meşcere içerisindeki yanıcı maddelerin belli oranda yer değiştirmesiyle birlikte meşcere yapı ve dinamiklerinde ortaya çıkan değişimin bir sonucudur. Aralama ile tepe yanıcı maddeleri azalmış ve oluşan kesim artıkları ölü örtü miktarını artırmıştır. Yanıcı madde düzeni ve sürekliliğinde meydana gelen bu değişim, rüzgâr hızının yangın yayılma oranı üzerindeki hâkim etkisini azaltmıştır. Aralama görmemiş parsellerdeki yangınlarda, rüzgâr hızının belli bir düzeyinde üzerine çıktığı durumda sadece aktif tepe yangını olarak

gerçekleştiği, aralama görmüş parsellerde ise benzer rüzgâr koşullarında pasif tepe yangınlarının da meydana geldiği görülmüştür (Şekil 58). Elde edilen bu sonuçlar, doğal yangınların gözlemlenmesinden (Cron, 1969) ve yangın simülasyon sonuçlarından elde edilen sonuçlarla uyum göstermektedir (Butler *vd.*, 2004).

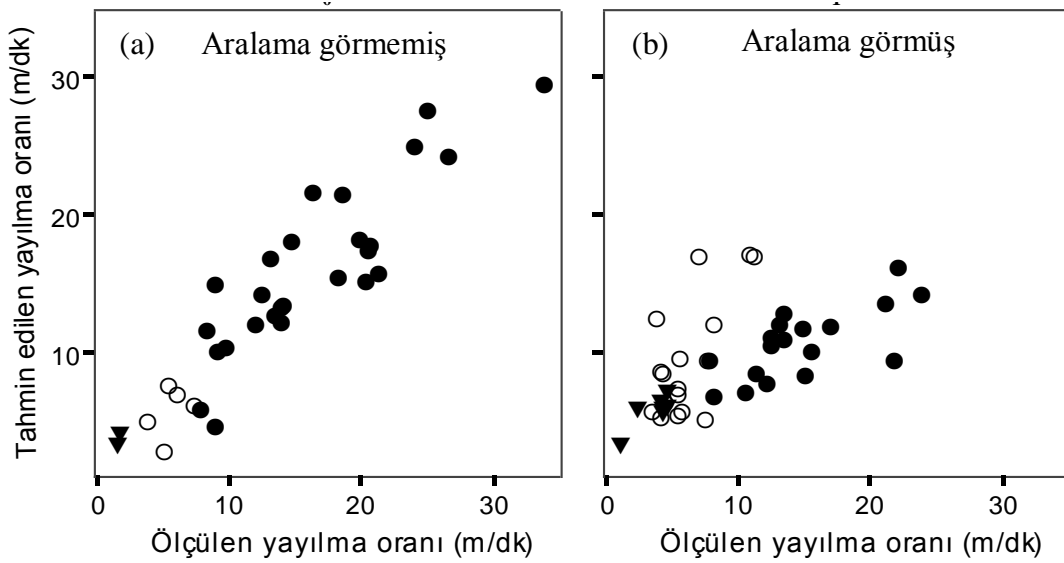
Rüzgâr hızı ile birlikte, rüzgâr hızındaki dalgalanmaları ifade eden rüzgâr hamlesi-2 ve rüzgâr standart sapması denkleme eklendiğinde aralama görmüş parsellerdeki yangınlarda yayılma oranında açıklanan değişkenlik %26,2'lik bir artış göstermiştir (Model 2b). Buna karşın, aynı model (Tablo 24, Model 2b), aralama görmemiş parsellerdeki yangınlar için sonuç vermemiştir. Aralama sonrası kırılan meşcere tepe kapallılığı, özellikle yanıcı maddenin yatay sürekliliğini azalttığından, bu tür meşcerelerde rüzgâr hızı, yangın yayılma oranındaki ana faktörlerden biri olmaktan çıkabilmektedir. Böylece aralama görmüş meşcerelerde değişen meşcere dinamikleri sonrasında yangın rüzgâr hızında yaşanan dalgalanmaların yayılma oranı üzerinde belirgin etkiye sahip olduğu belirlenmiştir. Yapılan çalışmalarda aralamanın meşcere içerisinde mikroklimatik şartları değiştirdiği ve rüzgâr hamlesinin etkisini arttırdığını belirlenmiştir (Ma *vd.*, 2010; Bigelow ve North, 2012; Werth *vd.*, 2011)



Şekil 58. Farklı rüzgâr hızlarında gerçekleştirilen deneme yangını sayısı ve yangın türleri dağılımı (a) aralama görmemiş parseller, (b) aralama görmüş parseller

Rüzgâr hızı ile birlikte ikinci bir bağımsız değişken olarak ölü örtü miktarı modele dâhil edildiğinde, aralama görmemiş parsellerdeki yangınlarda yayılma oranındaki değişimin %84'ü açıklanırken (Şekil 59), aralama görmüş parsellerde bu model sonuç

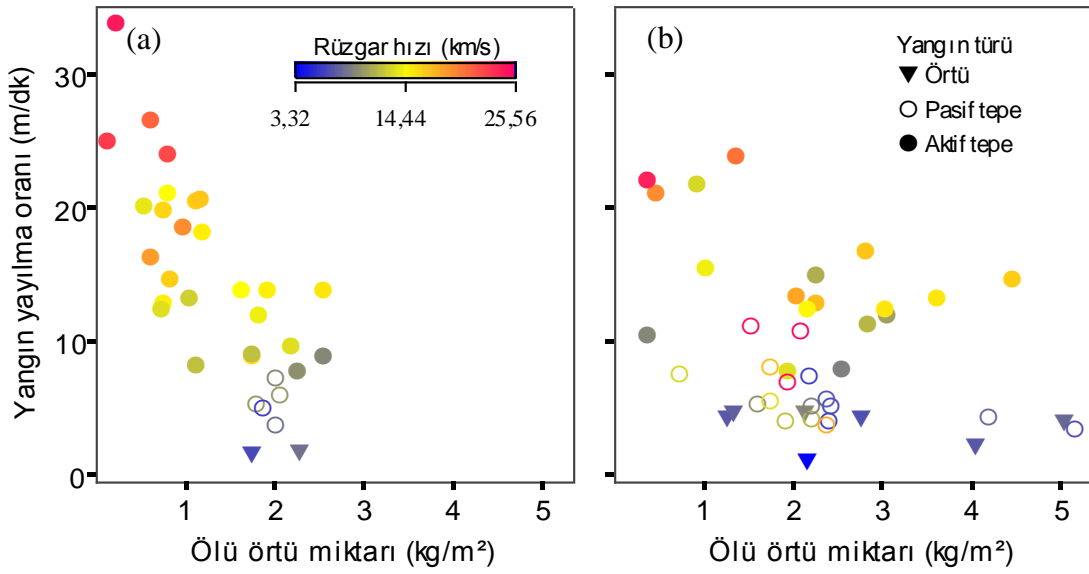
vermemiştir (Model 2c). Yayılma oranı üzerindeki diğer değişkenler sabit tutulduğunda, ölü örtü miktarı arttıkça yayılma oranının arttığı bilinmektedir (Cruz vd., 2005). Aralama ile birlikte artan ölü örtü miktarına karşın, yangın yayılma oranında bir artış tespit edilememiştir. Bu durumun, ölü örtü miktarı ile birlikte ölü örtü nemi, kapalılık, rüzgâr hızı, tepe altı yüksekliği gibi değişkenlerin, yangın yayılma oranı üzerindeki etkilerinin birbirini örtmesi sonucu olduğu düşünülmektedir. Diğer yandan, deneme yangınlarında özellikle aralama görmemiş parsellerde, yüksek ölü örtü miktarına sahip parsellerin düşük rüzgârlarda, düşük ölü örtü miktarına sahip parsellerin çoğunlukla yüksek rüzgârlarda yakıldığı görülmüştür. Bu durum, ölü örtü miktarının yangın yayılma oranı üzerine etkisini görebilmeyi kısmen zorlaştırmış olsa da, gerek aralama görmüş gerekse aralama görmemiş parsel yangınlarında, aynı ölü örtü miktarına sahip olan parseller incelendiğinde (Şekil 60), rüzgâr hızındaki artışa bağlı olarak yangın yayılma oranındaki değişim belirgindir.



Şekil 59. Yangın türlerine göre, aralama görmüş ve görmemiş yangınların yayılma oranı ölçülen değeri ile rüzgâr hızı ve ölü örtü miktarına bağlı olarak (Model 2c) tahmini değerleri

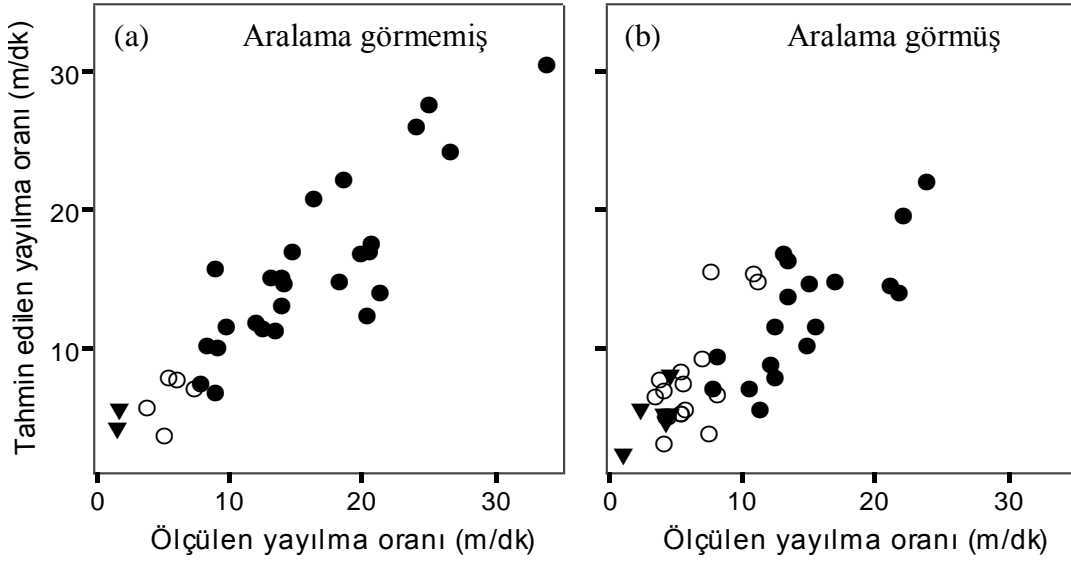
Diğer değişkenlerle birlikte, tepe altı yüksekliği ve meşcere kapalılığı ile birlikte oluşturulan doğrusal olmayan regresyon modeli (Model 2d), aralama görmemiş deneme yangını parsellerinde yayılma oranındaki değişkenliği aynı yüzde değeri ile (%82,9) açıklarken, aralama görmüş deneme yangını parsellerinde yayılma oranındaki değişkenliği %71,0 oranında açıklayabilmiştir (Şekil 61). Deneme yangınlarında, aralama görmemiş parsellerin %18'i, aralama görmüş parsellerin %28'i. meşcere kapalılığı %75'in altında

olan parsellerdir. Bu nedenle, aralama görmemiş parsellerde meşcere kapalılığının azalmasının yangın yayılma oranı üzerine etkisi tam olarak görülememiştir. Aralama görmüş meşcerelerde ise, meşcere kapalılığının yangın yayılma oranındaki değişkenliği açıklamada önemli bir faktör olduğu belirlenmiştir. Aralama sonrasında meşcere kapalılığının kırılması, meşcere içerisine daha fazla güneş ışığı ve rüzgârın girmesine neden olarak yanıcı madde nemini, yanıcı maddenin tutuşabilirliğini ve örtü yangını şiddeti değiştirmektedir (Van Wagendonk, 1996; Weatherspoon, 1996; Agee ve Skinner, 2005).



Şekil 60. Deneme yangını yayılma oranları ile ölü örtü miktarı arasındaki ilişkinin yangın türlerine göre dağılımı (a) aralama görmemiş ve (b) aralama görmüş parseller

Aralama sonrası tepedeki yanıcı maddelerin yatay sürekliliği kırılırken, örtüdeki yanıcı maddelerin yatay ve kısmen dikey sürekliliği artmaktadır. Bu değişim, meşcere yapı ve dinamiklerini etkilediğinden, aralama görmüş meşcerelerdeki yangın davranışı dinamiklerinin anlaşılmasını, aralama görmemiş meşcerelere kıyasla zorlaştırmaktadır. Yangın yayılma oranındaki değişimi daha iyi açıklayabilmek amacıyla, diğer değişkenlerle birlikte rüzgâr hamlesi-2 modele eklendiğinde, aralama görmüş parsellerdeki deneme yangını yayılma oranı değişkenliğinin daha yüksek oranda (%79,2) açıklanabildiği görülmüştür (Model 2e). Aralama görmemiş parsellerdeki yangınlarda ise, modelin belirtme katsayısı yaklaşık iki birim artarak %84,8'e çıkmıştır. Bu durum, aralama görmüş parsellerdeki yangınlarda, rüzgâr hızındaki dalgalanmalara karşı daha duyarlı olduğunu göstermektedir.



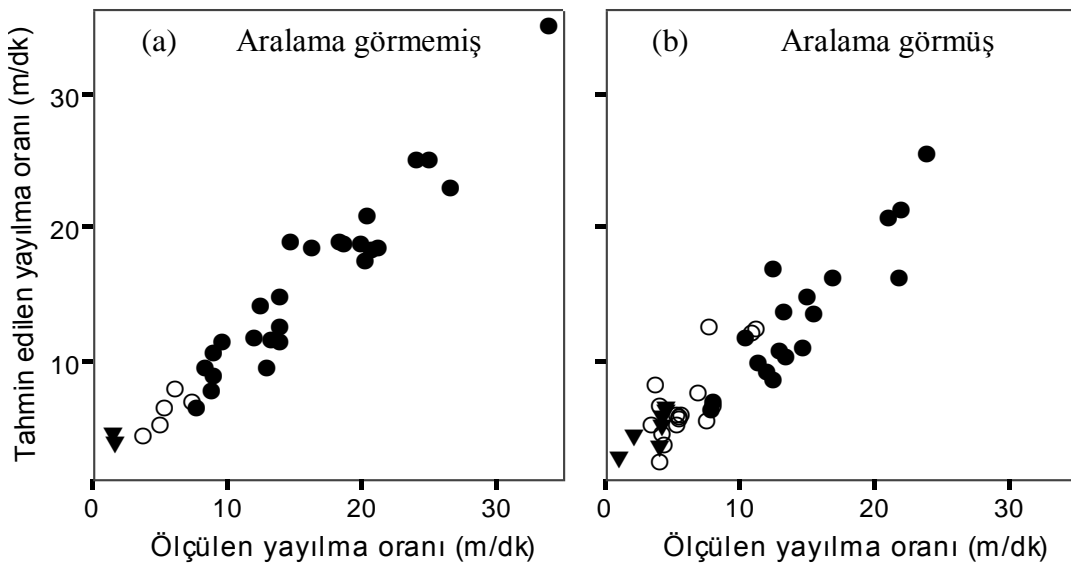
Şekil 61. Yangın türlerine göre, aralama görmüş ve görmemiş yangınların yayılma oranı ölçülen değeri ile rüzgâr hızı, ölü örtü miktarı, tepe altı yüksekliği ve kapalılığa bağlı olarak (Model 2d) tahmini değerleri

Diğer değişkenlerle birlikte ölü örtü nemi modele eklendiğinde (Model 2f), aralama görmemiş parsellerdeki yangın yayılma oranındaki değişkenliğin daha iyi açıklandığı (%88,3), aralama görmüş parsellerde herhangi bir değişim meydana gelmediği anlaşılmıştır (%79,2). Ölü örtü nemindeki artışa bağlı olarak, yanıcı maddenin tutuşabilirliği azalır (Lawson ve Dairymple 1996, Bradshaw vd., 1983). Özellikle, ölü örtü neminin %20'nin altında olduğu durumlarda bu azalma açık olarak görülür ve bu nedenle yangın yayılma oranı azalır. Deneme yangınları tam olarak bu aralıkta gerçekleştirildiğinden (%6 ile %21), ölü örtü neminin diğer değişkenlerle birlikte yangın yayılma oranı üzerindeki etkisi kısmen ortaya konulabilmiştir. Ölü örtü neminin daha düşük değerlere inmesi (%6<) durumunda yayılma oranında belirgin bir artışın olacağı beklenebilir (Stocks, 1987; 1989; Alexander ve Quintilio, 1990). Aralama görmüş meşcerelerde kapalılığın düşük olması nedeniyle meşcere içerisindeki sıcaklık, bağıl nem ve rüzgâr gibi meteorolojik parametrelerin değişimi, aralama görmemiş parsellere göre daha çabuk olmaktadır. Diğer yandan, aralama görmüş parsellerde diğer değişkenlerin baskılayıcı etkisi nedeniyle ölü örtü neminin etkisi perdelenmiştir.

Son olarak, diğer değişkenlerle birlikte tepe yoğunluğu ve ibre nemi modele dâhil edildiğinde (Model 2g) belirtme katsayısı aralama görmemiş parsellerde %90,2, aralama görmüş parsellerde %81,9 olarak belirlenmiştir. Model 2g'den sadece ibre nemi

çıkarıldığında aralama görmemiş parseller için model belirtme katsayısının azaldığı (%88,5), aralama görmüş parseller için model tahminlerinin neredeyse hiç değişmediği (%81.7) görülmüştür. Böylece, ibre neminin çok az da olsa, yangın yayılma oranı üzerinde etkili olduğu anlaşılmıştır. Bu durum, yüksek nem içeriğine sahip, yoğun sıklıktaki meşcerelerde ibre neminin yayılma oranı üzerinde daha çok önem arz ettiğini vurgulayan çalışmaları (Schaaf vd., 2007, Cruz vd., 2006) desteklemektedir.

Aralama görmüş ve aralama görmemiş deneme yangınları üzerinde gerçekleştirilen regresyon analizleri sonucunda, yangın yayılma oranındaki değişkenliği en iyi açıklayabilen değişkenlerin farklı olduğu ya da aynı değişkenlerin farklı oranda etki yaptığı belirlenmiştir. Buna göre, aralama görmemiş meşcerelerde en basın değişkeninin rüzgâr hızı olduğu ve tek başına yangın yayılma oranındaki değişkenliği çok yüksek oranlarda açıklayabildiği görülmüştür. Bununla birlikte, ölü örtü neminin ve çok az bir oranda da ibre neminin yangın yayılma oranında etkili olduğu belirlenmiştir. Aralama görmüş meşcerelerde ise, tek başına hâkim bir değişkenin etkisi belirlenememiş ve yangın yayılma oranı üzerine etkili faktörlerin kombine bir etki gösterdiği tespit edilmiştir. Kombine etkiye sahip bu değişkenler, rüzgâr hızı, rüzgâr hamlesi-1 ve rüzgâr hamlesi-2, ölü örtü miktarı, tepe altı yüksekliği, kapalılık ve tepe yoğunluğu olarak sıralanabilir. Ayrıca, aralama görmüş parsellerde rüzgâr hızı ile birlikte rüzgâr dalgalanmalarını ifade eden değişkenlerin (örneğin rüzgâr hamlesi-2) modele dâhil edilmesinin modelin açıklama gücünü arttırdığı belirlenmiştir.



Şekil 62. Yangın türlerine bağlı olarak, yayılma oranının ölçülen değeri ile rüzgâr hızı ile (Model 2g) tahmin edilen değerleri

Gerçekleştirilen regresyon modellerinde, aralama görmüş ve aralama görmemiş meşcerelerdeki yangın yayılma oranını tek bir model ile tahmin edebilen en iyi modelin Model 2g olduğu belirlenmiştir. Model 2g, ölçülmesi veya hesaplanması zor değişkenlerden oluştuğundan uygulamada kullanımı oldukça zordur. Ancak, yanıcı madde özellikleri ve meşcere içi rüzgâr dinamiklerini değiştiren müdahaleler sonrasında, yangın davranışında meydana gelebilecek farklılıkların ortaya konulmasında uygulayıcıya yol gösterici bilgiler sunmaktadır.

3.2.2.3. Yangın Türlerine Göre Regresyon Modellerinin Geliştirilmesi

Gerçekleştirilen 75 deneme yangını, yangın türlerine göre örtü, pasif tepe ve aktif tepe yangınları olarak ayrılarak regresyon analizleri yapılmıştır. Regresyon analizlerinde 9 örtü yangını, 22 pasif tepe yangını ve 44 aktif tepe yangını kullanılmıştır. Regresyon analizleri sonucunda, örtü yangını, pasif ve aktif tepe yangınları yayılma oranında meydana gelen değişimleri en iyi tahmin eden modeller geliştirilmiştir.

Veri tabanında örtü yangını olarak gerçekleşen yangın sayısının az oluşu ve örtü yangını davranışının karmaşık bir yapıya sahip olması, yangın yayılma oranındaki değişkenliği açıklamayı zorlaştırmıştır (Cruz ve Alexander 2013b). Örtü yangınlarında yayılma oranı ile rüzgâr hızı arasında anlamlı bir ilişki bulunamamış, ancak rüzgâr standart sapması arasında çok yüksek bir ilişki ($r=0,826$; $P<0,01$) olduğu belirlenmiştir. Örtü yangınları çoğunlukla düşük rüzgâr hızlarında meydana gelmiştir. Diğer yandan, rüzgâr hızındaki dalgalanmaların düşük rüzgârlarda çok daha yüksek olduğu belirlenmiş ve bu farklılığın yangın yayılma oranı üzerinde oldukça etkili olduğu belirlenmiştir. Örtü yangınlarında sadece rüzgâr standart sapması logaritmik değeri ile yayılma oranındaki değişkenliğin %63,7'sinin açıklanabildiği görülmüştür (Model *a*) (Tablo 26). Model *a*'ya, İkinci bir değişken olarak ölü örtü aktif yanıcı madde miktarı (ibre ve ince dal toplamı) modele eklendiğinde, örtü yangınları yayılma oranı değişkenliğinin %91,7'sinin açıklanabildiği görülmüştür (Model *b*).

Tepe yangını olarak gerçekleşen 66 deneme yangını (Mrc 27 hariç) pasif ve aktif tepe yangınları olarak sınıflandırılarak yapılan regresyon analizlerinde (Tablo 27, Tablo 28), yayılma oranı üzerinde etkili faktörlerin her iki tepe yangını türünde farklı olduğu görülmüştür.

Tablo 26. Örtü yangınlarına ait yayılma oranı regresyon modelleri, parametreleri ve standart hata değerleri

No	Model Formu	a	b	c	R ² (%)	SH
a	a+b.RZG _{sh}	-0,003	6,401		63,7	0,888
b	a+b.RZG _{sh} +c.(TY_TaB_TaY)	-1,631	7,697	31,874	80,7	0,648
c	a+b. RZG _{sh} +c.lnYMMaö	-,309	8,310	-1,487	91,7	0,424
d	a+b lnRZG _{sh} +c.YMM	7,672	3,320	-0,388	91,4	0,431

Pasif tepe yangınlarında, rüzgâr hızı yayılma oranındaki değişkenliğin % 41,5'ini tek başına açıklarken, aktif tepe yangınlarında bu oran %60,7'ye çıkmaktadır (Model 3a, Tablo 27). Rüzgâr hızı ile birlikte rüzgâr hamlesi-2 modele dâhil edildiğinde (Model 3b), hem pasif tepe yangınlarının (R²=51,3) hem de aktif tepe yangınlarının (R²=64,9) yayılma oranı değişkenliğinin daha iyi açıklandığı görülmüştür.

Rüzgâr hızı, tepe yoğunluğu ve kapalılık birlikte modele alındığında, her iki tepe yangını için yayılma oranı değişkenliğinin daha iyi (sırasıyla, R²=54,3, R²=67,0), açıklanabildiği görülmüştür (Model 3c). Tepe yoğunluğu, tepe yangınlarında önemli bir parametre olup (Van Wagner, 1977), yangın yayılma oranındaki değişkenliğin, rüzgâr dan sonra önemli bir kısmını açıkladığı görülmüştür. Meşcere kapalılığı ise, tepedeki yanıcı maddelerin yatay sürekliliğinin bir göstergesi olup, yangın yayılma oranı üzerinde etkili bir parametredir. Rüzgâr hızı, tepe yoğunluğu ve ölü örtü nemi birlikte modele alındığında, aktif tepe yangınlarının yayılma oranı değişkenliğinin daha iyi (R²=67,3), ancak pasif tepe yangınlarının daha az oranda (R²=42,8) açıklanabildiği görülmüştür (Model 3d). Ölü örtü nem içeriği, yangının örtüden tepeye geçişinde etkili faktörlerin başında gelmektedir (Xanthopoulos, 1990; Cruz vd., 2003; Küçük vd., 2009a; Cruz ve Alexander, 2013a). Deneme yangını veri tabanında, daha düşük ölü örtü nem içeriklerinin bulunması durumunda, yangın yayılma oranının daha iyi açıklanabileceği düşünülmektedir. Düşük ölü örtü nemi koşullarının yakalanabilmesi, ancak olağanüstü hava koşullarında mümkün olduğundan, bu koşullarda deneme yangınlarının gerçekleştirilmesi oldukça tehlikelidir.

Tablo 27. Aktif ve pasif tepe yangını yayılma oranlarına ilişkin regresyon modelleri

No	Model Formu	Tepe yangını türü			
		Pasif		Aktif	
		R ² (%)	SH	R ² (%)	SH
3a	a+b.RZG	41,5	1,62	60,7	3,67
3b	a.RZG ^b × exp(c RZG _{h2})	51,3	0,63	64,9	7,19
3c	a.RZG ^b × TY ^c × Kap ^d	54,3	0,60	67,0	6,76
3d	a.RZG ^b × TY ^c × exp(YNö ^d)	42,8	0,75	67,3	6,69
3e	a.RZG ^b × TY ^c × exp(YNö ^d) × YNib ^e	43,4	0,75	71,4	5,93
3f	a.RZG ^b × TY ^c × YMMö	49,4	0,67	73,2	5,48
3g	a.RZG ^b × TY ^c × YMMö ^d × exp(e.YNö)	54,6	0,60	73,7	5,46
3h	a.RZG ^b × TY ^c × YMMö ^d × exp(e.YNö) × RZG _{h2} ^f	65,8	0,46	79,0	4,42
3k	a.RZG ^b × TY ^c × YMMö ^d × YNö ^e × RZG _{h2} ^f × MYMib ^g	68,7	0,43	80,6	4,15

Tablo 28. Aralama görmüş ve aralama görmemiş parsellerdeki deneme yangınlarına yayılma oranı ait regresyon modellerinin katsayı değerleri

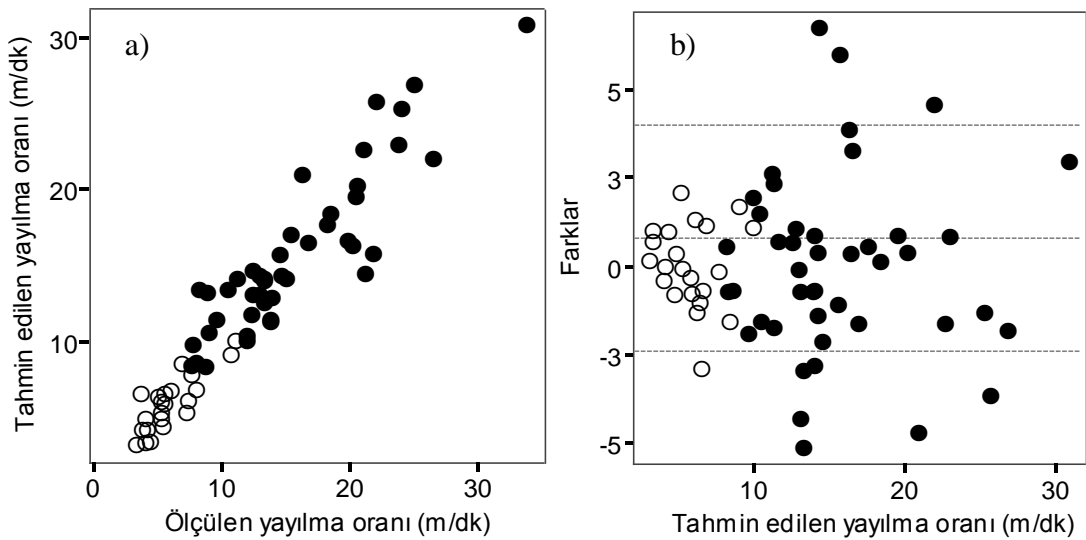
No	Yangın türü	Değişken katsayıları						
		a	b	c	d	e	f	g
3a	Pasif	3,162	0,225					
	Aktif	-2,596	1,159					
3b	Pasif	2,978	0,419	-0,346				
	Aktif	0,861	1,101	-0,208				
3c	Pasif	0,003	0,619	-0,264	1,255			
	Aktif	0,681	1,064	-0,259	-0,071			
3d	Pasif	3,552	0,419	0,157	-0,018			
	Aktif	0,523	1,069	-0,268	-0,007			
3e	Pasif	1,865	0,434	0,147	-0,017	0,103		
	Aktif	2,071	1,027	-0,267	0,06	-0,265		
3f	Pasif	2,982	0,491	0,163	-0,294			
	Aktif	1,134	0,785	-0,241	-0,126			
3g	Pasif	10,620	0,254	0,248	-0,409	-0,038		
	Aktif	1,226	0,788	-0,243	-0,127	-0,008		
3h	Pasif	5,893	0,326	0,198	-0,402	-0,14	-0,378	
	Aktif	2,045	0,562	-0,260	-0,156	-0,009	-0,203	
3k	Pasif	2,210	0,516	0,393	-0,335	0,116	-0,574	-0,114
	Aktif	2,270	0,609	-0,398	-0,164	-0,147	-0,170	0,079

Ölü örtü neminin yangın yayılma oranı üzerine olan etkisi ancak yangın simülasyon modelleri ve laboratuvar çalışmaları ile açıklanabilmektedir. Diğer değişkenlerle birlikte ibre nem içeriği modele eklendiğinde aktif tepe yangınlarının yayılma oranındaki değişkenliğin daha iyi açıklanabildiği görülmüştür (Model 3e). Buna karşın pasif tepe yangınlarındaki değişkenliğin açıklanmasında bir etkisi görülmemiştir. Günümüzde kullanılan tepe yangını

modellerinde, canlı ibre neminin tepe yangını oluşumuna etkisi, fizik kurallarına ve laboratuvar çalışmalarına dayandırılarak modellenen ve ibre neminin artmasıyla yayılma oranında bir azalma meydana geldiğini belirlemiştir. (Van Wagner, 1968; Van Wagner, 1977; Butler, 2004; Pickett 2008). İbre nem içeriğinin yangın davranışındaki etkisinin daha iyi açıklanabilmesi doğaya açık deneme yangınlarında, diğer değişkenleri sabit tutma imkânının olmayışı nedeniyle laboratuvar yangınları kullanılarak açıklanabilmiştir (Van Wagner, 1971). Ancak, bu çalışmada yapılan deneme yangınlarında belli ölçüde bu şartlar sağlanarak, ibre neminin yayılma oranı üzerinde az da olsa bir etkisinin olduğu araziye dayalı verilerle tespit edilebilmiştir. Önceki çalışmalarda nitel olarak varlığı kanıtlanmış bu ilişkinin (Butler, 2004), arazi verileri ile desteklenmesi tepe yangını dinamiklerinin belirlenmesinde önemli bir boşluğu dolduracağı düşünülmektedir.

Rüzgâr hızı, tepe yoğunluğu ve ölü örtü miktarı birlikte modele alındığında aktif tepe yangınları için modelin belirtme katsayısı %73,2 olarak hesaplanırken, pasif tepe yangınları için %49,4'ü geçemediği görülmüştür (Model 3f). Model 3f, hem ölü örtüde, hem de tepedeki yanıcı maddenin değişimini ifade eden değişkenlerden oluşmaktadır. Ancak, bu değişkenler pasif tepe yangınları yayılma oranı değişkenliğini açıklamada yetersiz kalmıştır. Rüzgâr hızı, tepe yoğunluğu, ölü örtü miktarı ve ölü örtü nem içeriği birlikte modele alındığında, yayılma oranındaki değişkenliğin pasif tepe yangınlarında %54,6, aktif tepe yangınlarında %73,7 oranında açıklanabildiği görülmüştür (Model 3g). Son yıllarda, aktif tepe yangınları yayılma oranı tahmininde, Model 3g'de yer alan değişkenler, temel değişkenler olarak kullanılmaktadır (Cruz vd., 2005). Ancak bu değişkenlerle pasif tepe yangınlarının açıklanmasının oldukça zor olduğu anlaşılmıştır. Diğer değişkenlerle birlikte rüzgâr hamlesi-2 modele bağımsız değişken olarak eklendiğinde aktif tepe yangınlarındaki değişim daha iyi açıklanırken, pasif tepe yangınlarında bu değişkenin eklenmesi her hangi bir değişim oluşturmamıştır (Model 3h). Son olarak, diğer değişkenlerle birlikte, merdiven yanıcı madde olarak adlandırılan, tepe altında asılı halde bulunan kuru ibre miktarı modele eklendiğinde, pasif tepe yangınlarındaki yayılma oranını en iyi tahmin edebilen ($R^2=68,7$) model oluşturulmuştur (Model 3k). Aktif tepe yangını yayılma oranı tahmininde ise, az da olsa bir artış görülmüştür ($R^2=80,6$). Merdiven yanıcı maddeler, özellikle örtü yangınlarının tepe yangınına dönüşmesinde taşıyıcı görevi yaparak, yanıcı maddenin dikey sürekliliğini muhafaza eder ve tepe yangınlarının başlamasına yardımcı olur. Bu nedenle, tepe yangını dinamiklerinin belirlenmesinde etkilerinin sayısal olarak belirlenmesi oldukça önemlidir.

Regresyon analizleri sonucunda, bir tepe yangının aktif ve pasif tepe yangını olarak yayılması üzerinde farklı değişkenlerin etkili olduğu anlaşılmıştır. Aktif tepe yangınlarında rüzgâr hızı tek başına önemli bir açıklayıcı değişken iken, pasif tepe yangınlarında rüzgâr hızı ile birlikte rüzgâr daki dalgalanmalarının çok büyük önem arz ettiği görülmüştür (Model 3b). Bunun yanı sıra pasif tepe yangınlarında, merdiven yanıcı maddelerin yayılma oranı üzerinde belirgin düzeyde etkiye sahip olduğu anlaşılmıştır (Model 3k) (Şekil 63). Tepe yangınlarının başlamasında önemli bir değişken olan tepe altı yüksekliğinin (Van Wagner, 1977) pasif ve aktif tepe yangınlarında yayılma oranı üzerindeki etkisi bilinmesine karşın, diğer değişkenlerin baskısı nedeniyle bu etkisi tam olarak açıklanamamıştır.



Şekil 63. Yangın türlerine bağlı olarak, yayılma oranındaki değişkenliği en iyi tahmin eden Model 3k'nın (a) ölçülen ve tahmini değerleri, (b) hata terimleri dağılımı

Orman yangınlarında kapalılığın yangın türü üzerindeki etkisi, mevcut deneme yangınlarında kısmen açıklanabilmiştir. Meşcere kapalılığının azalması, ölü örtü nem içeriğini azalttığı ve kapalılığı yüksek alanlara oranla meşcere içinde rüzgâr hızını arttırdığı ve bu değişimin örtü yangınlarının davranışını etkilediği bilinmektedir (Rothermel, 1991). Gerçekleştirilen deneme yangınlarında sağlıklı verilerin elde edilebildiği örtü yangını sayısının sınırlı sayıda oluşu, beklenen ilişkilerin sayısal olarak kanıtlanmasını zorlaştırmıştır. Ancak, deneme yangınları esnasında yapılan arazi gözlemleri neticesinde, kapalılığın meşcere içerisinde rüzgâr hızını düşürdüğü ve düşük şiddetli rüzgârların hızı ve yönünde görülen ani değişim ve kararsızlıklar nedeniyle örtü yangınlarının yayılmasının

yavaşladığı görülmüştür. Bunun yanında, kapalılığın bir fonksiyonu olan tepe yoğunluğunun, tepe yangınlarında yayılma oranı değişiminin açıklanmasında önemli bir değişken olduğu anlaşılmıştır (Model 3c).

Aralamanın yangın türü üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla, deneme yangını veri seti, aralama görmüş ve aralama görmemiş parseller olarak ikiye ayrılarak, her iki grupta aktif ve pasif tepe yangınları ayrı ayrı regresyon analizlerine alınmıştır (Tablo 29, ve 30). Regresyon analizlerinde kullanılan aralama görmüş deneme yangını sayısı 42'dir. Bu yangınların, 18'i aktif tepe, 17'si pasif tepe olarak gerçekleşmiştir. Aralama görmemiş 33 deneme yangının, 26'sı aktif tepe, 5'i pasif tepe olarak gerçekleşmiştir. Aralama görmemiş parsellerdeki pasif tepe yangını sayısının yetersiz oluşu nedeniyle, sadece aktif tepe yangınları için regresyon modelleri geliştirilebilmiştir.

Regresyon analizleri sonucunda, aralama öncesi ve sonrasında, aktif ve pasif tepe yangını yayılma oranları üzerinde etkili olan değişkenlerin birbirinden farklı olduğu anlaşılmıştır (Tablo 29). Aralama görmemiş parsellerdeki deneme yangınlarında rüzgâr hızı, aktif tepe yangınlarında yayılma oranındaki değişkenliği tek başına %71 oranında açıklarken, aralama görmüş parsellerdeki pasif ve aktif tepe yangınlarında bu oran sırasıyla %42,7 ve %44,6'ya kadar çıkabilmiştir (Model 4a, Tablo 29). Rüzgâr hızı ile birlikte ikinci bir değişken olarak tepe altı yüksekliği modele alındığında, elde edilen eşitliğin sadece aralama görmüş parsellerdeki aktif tepe yangınlarının yayılma oranındaki değişkenliği ($R^2=64,3$) açıklayabildiği görülmüştür (Model 4b). Bu sonuç, kızılçam ağaçlandırma alanlarında aralama sonrasında değişen meşcere yapı dinamikleriyle birlikte tepe altı yüksekliğindeki farklılıkların aktif tepe yangınlarının oluşumu ve gelişimi üzerinde oldukça etkili bir değişken olduğunu kanıtlamaktadır. Nitekim, tepe altı yüksekliğinin tepe yangınları yayılma oranı üzerine etkisi pek çok çalışma ile kanıtlanmıştır (Van Wagner, 1977; Cruz vd., 2005; 2006). Aralama görmüş alanlarda Model 4b yardımıyla, olası bir aktif tepe yangını hızının, tepe altı yüksekliğindeki değişime bağlı olarak kolaylıkla tahmin edilebilmesi uygulamada önemli olacaktır. Rüzgâr hızı, tepe altı yüksekliği ile birlikte, ölü örtü nem içeriği, doğrusal olmayan bir regresyon modeline alındığında, aralama öncesi ve sonrası meydana gelen aktif tepe yangınlarının yayılma oranındaki değişkenlik oldukça yüksek tahmin edilebilirken (sırasıyla R^2 , %75,3, %81,1), aralama görmüş meşcerelerdeki pasif tepe yangınları bu üç bağımsız değişken ile yayılma oranındaki değişkenliği %44,3 oranında açıklayabilmiştir (Model 4c).

Tablo 29. Aralama görmüş ve aralama görmemiş deneme yangınları yayılma oranına ilişkin regresyon modelleri

No	Model Formu	Aralama yok		Aralama var	
		Pasif	Aktif	Pasif	Aktif
		n=5	n=26	n=17	n=18
		R ² (%)	R ² (%)	R ² (%)	R ² (%)
4a	a+b.RZG	-	71,0	42,7	44,6
4b	a+b.RZG+c.TaY	-	-	-	64,3
4c	a.RZG ^b × exp(c.YNö) × TaY ^d	-	75,3	44,3	81,1
4d	a.RZG ^b × TY ^c × YMMö ^d	-	76,6	55,5	64,7
4e	a.RZG ^b × TY ^c × exp(d.YNö)	-	74,4	44,3	71,9
4f	a.RZG ^b × exp(c. RZG _{h2})	-	75,3	50,9	53,5
4g	a.RZG ^b × exp(c. RZG _{h2}) × exp(d. YMMö) × TaY ^e × Kap ^f	-	76,0	73,0	85,2
4h	a.RZG ^b × RZG _{h2} ^c × YMMö ^d × TY ^e × YNö ^f	-	82,0	76,2	83,6
4k	a.RZG ^b × YMMö ^c × YNö ^d × TaY ^e × MYMib ^f	-	76,5	65,2	89,9
4r	a.RZG ^b × RZG _{h2} ^c × YMMö ^d × TaY ^e × Kap ^f × YNö ^g × YNib ^h × TY ^k	-	86,8	80,6	92,6

Tablo 30. Aralama görmüş ve aralama görmemiş parsellerdeki deneme yangınları yayılma oranına ait regresyon modellerinin değişken katsayıları

No	Aralama durumu	Yangın Türü	Değişken katsayıları								
			a	b	c	d	e	f	g	h	k
4a	görmemiş	Aktif	-6,658	1,428							
		Pasif	3,006	0,230							
		Aktif	2,643	3,251							
4b	görmemiş	Aktif	-	-							
		Pasif	-	-							
		Aktif	10,786	0,578	-3,077						
4c	görmemiş	Aktif	0,337	1,473	-0,020	0,151					
		Pasif	1,444	0,557	0,007	-0,138					
		Aktif	6,235	0,492	-0,037	-0,363					
4d	görmemiş	Aktif	0,851	0,913	-0,112	1,000	-0,209				
		Pasif	5,981	0,492	-0,363	1,000	0,471				
		Aktif	1,398	0,695	-0,100	1000	0,247				
4e	görmemiş	Aktif	0,383	1,291	-0,136	-0,009					
		Pasif	2,527	0,548	0,246	3,380					
		Aktif	1,147	8,817	-0,476	-0,065					
4f	görmemiş	Aktif	0,473	1,320	-0,201						
		Pasif	2,900	0,423	-0,335						
		Aktif	2,762	0,689	-0,303						
4g	görmemiş	Aktif	0,856	0,929	-0,255	-0,382	0,249	0,031			
		Pasif	0,296	0,384	-0,404	-0,192	0,058	0,235			
		Aktif	0,331	0,316	-0,348	-0,054	-0,325	0,352			
4h	görmemiş	Aktif	2,221	0,825	-0,267	-0,141	-0,047	-0,216			
		Pasif	31,548	0,203	-0,519	-0,572	0,643	-0,198			
		Aktif	3,671	0,510	-0,191	-0,094	-0,444	-0,422			
4k	görmemiş	Aktif	0,791	1,238	-0,087	-0,172	0,098	0,009			
		Pasif	872,438	0,507	-1,193	-1,145	0,592	0,114			
		Aktif	12,916	0,477	-0,029	-0,277	-0,495	0,115			
4r	görmemiş	Aktif	4,485	1,010	-0,332	-0,080	0,240	0,157	-0,192	-0,356	0,013
		Pasif	0,079	0,510	-0,592	-0,410	0,019	0,430	0,148	0,381	0,490
		Aktif	581,307	0,510	-0,027	-0,011	-0,327	-0,538	-0,235	-0,417	-0,061

Orman yangınlarında, örtüdeki ölü örtü miktarı ve tepedeki yanıcı madde miktarı yangın davranışını belirleyen temel değişkenler arasında yer alır. Bu nedenle, rüzgâr hızı ile birlikte ölü örtü miktarı ve tepe yoğunluğu değişkenleri modele alındığında, aralama görmemiş parsellerdeki aktif tepe yangınlarının %76,6, aralama görmüş parsellerdeki aktif tepe yangınlarının %64,7, pasif tepe yangınlarının %55,5 oranında yayılma oranlarındaki değişkenlikleri açıklanabilmiştir (Model 4d).

Rüzgâr hızı, tepe yoğunluğu ve ölü örtü neminden oluşan Model 4e, aralama görmemiş ve görmüş parsellerin aktif tepe yangınları yayılma oranı değişimini oldukça iyi açıklamıştır. Cruz (2005) tarafından geliştirilen ve yaygın bir kullanıma sahip olan aktif tepe yangınları yayılma oranı modeli ile Model 4e aynı değişkenlerden oluşmakta ve benzer model yapısını taşımaktadır. Ancak, Cruz'un (2005) tepe yangını yayılma modelinde, ölçülen ölü örtü nemi yerine, hesaplanan ölü örtü nemi kullanılmıştır. Ölçülen ölü örtü nemi yerine hesaplanan ölü örtü nemi regresyon modelinde kullanıldığında, aralama görmüş parsellerdeki aktif tepe yangınlarında model belirtme katsayısının belirgin bir oranda arttığı tespit edilmiştir. Ancak bu model, pasif tepe yangınlarındaki değişimi iyi açıklayamamaktadır.

Rüzgâr hızı ve rüzgâr hamlesi-2 değişkenleri ile elde edilen Model 4f, aralama öncesinde ve sonrasında farklı yangın türlerindeki yayılma oranı değişkenliğini oldukça iyi tahmin etmiştir. Özellikle, aralama görmemiş meşcerelerdeki aktif tepe yangınlarının daha iyi açıklanabilmiştir ($R^2=0,753$). Rüzgâr özelliklerinin yanı sıra, ölü örtü miktarı, tepe altı yüksekliği ve meşcere kapalılığı birlikte modele alındığında, aralama öncesi ve sonrası aktif yayılma oranlarındaki değişkenliğin sırasıyla %83,1 ve %85,2'lik kısmının açıklanabildiği, pasif tepe yangınlarında bu oranın %73,0 seviyesine kadar çıktığı görülmüştür (Model 4g). Model 4g'den tepe altı yüksekliği ve kapalılık çıkarılarak yerine diğer değişkenlerle birlikte tepe yoğunluğu ve ölü örtü nemi eklendiğinde, yayılma oranındaki değişkenliğin aralama görmüş ve aralama görmemiş meşcerelerde oldukça iyi tahmin edildiği görülmüştür (Model 4h). Rüzgâr hızı, ölü örtü miktarı, ölü örtü nemi, tepe altı yüksekliği ve tepe altındaki asılı ibre miktarı birlikte modele alındığında, aralama görmüş parsellerdeki aktif tepe yangınlarında yayılma oranındaki değişkenliğin %89,9 oranında açıklandığı görülmüştür (Model 4k).

Yapılan regresyon analizlerinde son olarak, Model 4r'nin, şimdiye kadar geliştirilen modeller arasında, aralama durumunu gözetmeksizin deneme yangınları tepe yangını yayılma oranını en iyi tahmin edebilen model olduğu görülmüştür. Model 4r, çok sayıda

değişken içermesi ve bunların çoğunun ölçülmesi zor değişkenler olması nedeniyle, uygulamada yer bulabilecek bir model değildir. Ancak, aralama sonrasında değişen meşcere özellikleri ve yanıcı madde özelliklerindeki farklılıkları yansıtarak, farklı tepe yangını türlerinde yayılma oranındaki değişkenliği tek bir model ile tahmin etme imkânı sunar. Ayrıca, Model 4r ile yangın türüne bağlı olarak aralama öncesi ve sonrasında deneme yangınlarının yayılma oranındaki değişkenliğin belli bir kısmı canlı ibre nem içeriği ile izah edilebilmiştir. İbre neminin yayılma oranı üzerinde meydana getirdiği değişimi sayısal olarak ortaya koyması açısından Model 4r ayrı bir önem taşımaktadır.

Yapılan regresyon analizleri sonucunda, aktif ve pasif tepe yangınlarının yayılma oranındaki değişkenliği, farklı yanıcı madde ve meteorolojik değişkenlerle açıklayabildiği görülmüştür.

Aralama görmemiş parsellerde rüzgâr hızı, tepe altı yüksekliği, merdiven yanıcı madde miktarı olan, tepe altındaki asılı kuru ibre miktarı ve ölü örtü nemi ve ibre neminin özellikle aktif tepe yangınlarının yayılma oranı üzerinde etkili olduğu görülmüştür (Tablo 30). Aralama görmemiş parsellerde, pasif tepe yangınlarının deneme yangını sayısının (5 deneme yangını) az oluşu nedeniyle yayılma oranı üzerinde etkili olan değişkenler açıklanamamıştır.

Aralama görmüş parsellerde, aralama görmemiş parsellere kıyasla; rüzgâr hızının, aktif ve pasif tepe yangını yayılma oranları üzerine baskın bir değişken olmadığı anlaşılmıştır. Buna karşın, rüzgâr hamlesi-2, ölü örtü nemi, tepe altı yüksekliği, ölü örtü miktarı ve meşcere kapalılığının yangın türü üzerinde belirleyici değişkenler olduğu görülmüştür (örneğin, Model 4g ve Model 4r). Aralama görmüş parsellerdeki aktif tepe yangınlarında, yayılma oranı üzerinde tepe yoğunluğu, tepe altı yüksekliği, rüzgâr hamlesi-2 ve tepe altı boşluğu gibi bağımsız değişkenlerin etkili oldukları belirlenmiştir. Aralama görmüş parsellerdeki pasif tepe yangınlarında ise, ölü örtü miktarı, ölü örtü nemi ve meşcere kapalılığı gibi değişkenlerin etkili olduğu görülmüştür.

Model geliştirme sürecinde karşılaşılan en temel problemlerden birisi yayılma oranı üzerinde yanıcı madde miktarının etkisinin nasıl olduğudur. Regresyon analizleri ile elde edilen modellerde, bağımlı değişken üzerinde etkili olabilecek bir değişkenin etki derecesinin doğru ve anlamlı bir şekilde belirlenebilmesi, ancak o değişkenin geniş bir dağılımının yakalanabilmesi ile mümkün olabilmektedir. Ayrıca, açıklanan değişkenler üzerinde diğer değişkenlerin etkisi mümkün olduğunca sabit tutulmaya çalışılmalıdır. Bu çalışmada gerçekleştirilen deneme yangınlarında mümkün olduğunca değişkenlerin

dağılım aralığı geniş tutulmaya çalışılsa da arazi koşullarında bu durumun sağlanabilmesi oldukça zordur. Deneme yangını veri setinde örtü yangınlarının az sayıda olması, aralama görmemiş parsellerde deneme yangınlarının ağırlıklı olarak aktif tepe (26 yangın) yangını olarak gerçekleşmesi, pasif tepe yangınlarının sayıca (5 yangın) yeter sayıda olmaması gibi nedenler, aralama sonrasında örtü yangınından, tepe yangınına geçiş mekanizmasındaki dinamiklerinin açıklanmasını sınırlandırmıştır.

Burada geliştirilen regresyon modelleri, tüm orman vejetasyon tipleri için geliştirilmiş genel yangın yayılma modelleri olmayıp, genç kızılçam ağaçlandırma alanlarında veya benzer yapıdaki meşcerelerde kullanılabilirler. Ayrıca, geliştirilen regresyon modelleri, 20-50 m genişliğinde, 40-80 m uzunluğunda hat yangını olarak gerçekleşen deneme yangınları kullanılarak elde edilmiştir. Bu nedenle, elde edilen modeller, daha yüksek yanma koşullarında (düşük nem içeriği ve yüksek rüzgâr) gerçekleşen yangınlar için gerçek durumdan farklı sonuçlar verebilir. Diğer yandan geliştirilen regresyon modelleri, nokta kaynaklı gelişen yangınlar için sağlıklı yayılma oranını tahmini yapamaz.

Rüzgâr hızına bağlı olarak yangın yayılma oranında meydana gelen değişim, genellikle kuvvet ($y=x^b$) veya üssel ($y=\exp(b.x)$) bir fonksiyon olarak hesaplanır. Rüzgâr ın tek başına yangın yayılma oranı üzerinde meydana getirdiği değişim yanıcı madde tiplerine göre önemli farklılıklar gösterir (Fernandes, 2009, Cruz vd., 2005, Beer 1991). Yangın yayılma oranı, rüzgâr hızına bağlı bir kuvvet fonksiyonu olarak hesaplandığında değişim katsayısı (b), çayır tipi yanıcı maddelerde 1-2,5 aralığında en yüksek değerine ulaşırken, maki tipi yanıcı maddelerde değişim katsayısı 1-2 aralığında, ibreli ormanlarda 0.96-1.5 aralığında değiştiği yapılan çalışmalarla ortaya konulmuştur. Yapılan deneysel çalışmalar, çayır ve maki tipi vejetasyonlarda, rüzgâr ile yayılma oranı arasında doğrusala yakın bir ilişkinin varlığını belirlemiştir (Marsden-Smedley ve Catchpole, 1995; Marsden-Smedley vd., 2001; Catchpole vd., 1998b; Vega vd., 1998; Fernandes, 2001; Fernandes, 2009; Cheney ve Gould, 1997; Cheney vd., 2012; 1998). Bunun aksine, ibreli ormanlarda üssel veya eğrisel formda bir ilişkinin olduğu bilinmektedir (Pagni ve Peterson ,1973; Wolff vd., 1991, Rothermel 1972). Bu çalışmada, genç kızılçam ağaçlandırma alanlarında rüzgârın yangın yayılma oranı üzerine oldukça etkili bir faktör olduğu anlaşılmış ve rüzgârın yayılma oranı üzerindeki üssel fonksiyonun değişim katsayısı 1.078 olarak belirlenmiştir. Ancak, deneme yangınları aralama görmüş ve görmemiş olarak sınıflandırıldığında, rüzgârın yayılma oranı üzerine olan etkisinin birbirinden çok farklı olduğu anlaşılmıştır.

Aralama görmemiş parsellerdeki yangınlarda rüzgâr hızı yayılma oranındaki değişimin önemli bir kısmını tek başına açıklarken ($R^2=\%82,2$ ve $b:1,559$), aralama görmüş parsellerdeki yangınlarda yayılma oranında görülen değişimi tek başına açıklamada yetersiz kaldığı ($R^2=\% 38,7$ ve $b:0,810$) görülmüştür. Deneme yangınlarının %68’inde ortalama rüzgâr hızı 10 km/s’in üzerinde ölçülmüştür. Böylece, yangın yayılma oranı üzerinde rüzgârın etkisi belirgin (Cheney vd., 1998) olarak gözlenebilmiştir. Ancak, deneme yangınlarının birkaç dakikalık kısa zaman dilimi içerisinde gerçekleştirilmesi ortalama rüzgâr hızının ölçülmesinde hata oranını artırabilmektedir (Sullivan ve Knight, 2001). Deneme yangınlarında yayılma oranındaki artış ve azalışların rüzgâr hızındaki dalgalanmalarla yakından ilişkili olduğu görülmüştür. Özellikle aralama görmüş meşcerelerdeki yangınların yayılma oranının, rüzgâr hızındaki dalgalanmalara karşı (Albini, 1982a) oldukça duyarlı olduğu anlaşılmıştır.

Rüzgârın yangın türüne üzerine etkileri değerlendirildiğinde, örtü, pasif tepe ve aktif tepe yangınlarının birbirinden farklı özellikler gösterdiği belirlenmiştir. Deneme yangınlarında örtü yangınlarının sayısının az olmasına karşın, 9 örtü yangını denemelerinden ve arazi çalışmalarından önemli tecrübeler sağlanmıştır. Örtü yangınlarının yayılmasında rüzgâr hızı önemli bir faktördür. Ancak açık alanda ölçülen rüzgâr hızının meşcere içerisinde kapalılığa, ağaç boyuna ve tepe altı yüksekliğine göre farklı hissedildiği bilinmektedir (Andrews, 2012). Bu nedenle, rüzgâr hızında yaşanan iniş ve çıkışlar örtü yangını dinamiklerini oldukça fazla etkilemektedir. Gerçekleştirilen deneme yangınlarında analizlere dâhil edilmeyen 36 deneme yangınında yaşanan en büyük problem rüzgâr hızı dalgalanmalarına bağlı olarak özellikle örtü yangınlarının yayılma oranında görülen uzun süreli duraklamalar ve rüzgâr yönünde yaşanan kararsızlar nedeniyle yangının parsel kenarına doğru ilerlemesi olmuştur. Gerçekleştirilen deneme yangınlarında örtü yangını olarak gerçekleşen yangın sayısının az oluşu ve örtü yangını davranışının karmaşık bir doğaya sahip olması nedeniyle, yayılma oranındaki değişkenliği açıklayabilen değişkenler tam olarak tespit edilememiştir. Pasif tepe yangınlarında, rüzgâr hızının tek başına hâkim etkisinin olmadığı, ancak rüzgâr dalgalanmaları ile birlikte değerlendirildiğinde çok etkili olduğu görülmüştür. Örtü ile tepe yangınları ve pasif tepe ile aktif tepe yangınları birbirinden farklı dinamiklere sahiptirler, bu nedenle tek bir regresyon modeli ile modellenmeleri oldukça zordur. Bu durum, örtü ve tepe yangını yayılma oranına ilişkin farklı eşitliklerin bir araya getirilerek, bu iki farklı yangın türü arasındaki geçişleri en iyi şekilde açıklayan “ikili formül” modelleme yaklaşımı ile

çözömlenebileceği düşünölmektedir (Forestry Canada Fire Danger Group, 1992)

Ölü örtü nemi ve ibre nem içeriği, yayılma oranında değişkenliğe neden olan önemli faktörlerdir. Ölü örtü nem içeriğinin, yangınlarının yayılma oranı üzerindeki azaltıcı etkisi, genellikle üssel veya doğrusal olmayan diğer formlardaki eşitliklerle yapılan pek çok çalışma ile doğrulanmıştır (Burrows, 1999; Cheney, 1981; Curry ve Fons, 1938; Smedley ve Catchpole 1995a; Anderson ve Rothermel 1965). Genç kızılçam ağaçlandırma alanlarında, ölü örtü neminin yayılma oranı üzerindeki etkisi güç fonksiyonu ile ($-cYM_0^d$) açıklanabilmiştir. Bu eşitlikte ölü örtü neminin d katsayısı -0,991 olarak belirlenmiş ve laboratuvar ve arazi tabanlı deneme yangınlarının sonuçları ile uyumlu olduğu anlaşılmıştır (Catchpole vd., 1998a; Burrows 1999).

Gerçekleştirilen deneme yangınlarında ibre nemi %132-409 arasında oldukça geniş bir yelpazede değişim göstermiştir ve böylece yangın yayılma oranı ile ibre nemi arasındaki ilişkinin belirlenebilmesine imkân bulunmuştur. Buna göre, ibre nemi ile yayılma oranı arasında bir ilişki olduğu görölmüştür. Ancak bu ilişkinin çok güçlü olmadığı, ibre neminde meydana gelen değişime karşılık yangın yayılma oranı çok az bir değişim meydana geldiği tespit edilmiştir. Bu değişimin, özellikle aralama görmemiş meşcerelerde daha belirgin olduğu anlaşılmıştır. Bu sonuç, ibre neminin yayılma oranı üzerindeki etkisini çok az olduğunu ortaya koyan çalışmalarla uyum göstermektedir (Cruz 1999; Cruz vd., 2004; Cruz vd., 2006a, Alexander ve Cruz, 2013c), Yapılan çalışmalarda, ibre nemimin yayılma oranı üzerine etkisinin daha ziyade düşük rüzgâr hızlarında, yüksek tepe altı yüksekliğine sahip yoğun meşcerelerde görölebileceğini, teorik ve yangın simölasyon modelleri ile ortaya koymaktadır (Wilson, 1985; Rothermel, 1972, Schaaf vd., 2007, Xanthopoulos ve Wakimoto 1993; Butler vd., 2004).

Van Wagner (1977)'ın tepe yangını modelinde, tepe yangınının başlayabilmesi için, tepedeki yanıcı maddelerin nemini kurutacak (Van Wagner, 1967b; 1974) ve onları tutuşma sıcaklığına ulaştıracak konvektif bir ısı kaynağının, örtü yangını şiddeti ile sağlanması gerekir. Ancak son çalışmalar, tepe yanıcı maddelerinin tutuşması üzerinde tepedeki ibre neminden daha çok, ölü örtüdeki ince yanıcı madde neminin etkili olduğunu göstermiştir (Cruz, 1999; Cruz vd., 2004; 2005, 2006a; Schaaf vd., 2007, Alexander ve Cruz, 2013c). Tepedeki yanıcı maddelerin ısınması sürekli ve uzun süreli olmaktadır. Diğer yandan, ibre nem içeriğinin buharlaşması için gereken ısı enerjisi, şiddetli bir örtü yangını ile açığa çıkan toplam enerji miktarıyla kıyaslandığında oldukça azdır (Cruz vd., 2006a; 2006c). Düşük şiddetli örtü yangınlarında ibre nem içeriğinin yüksek olması ve

yoğun sıklıkta, tepe altı yüksekliği fazla olan meşcerelerde ibre neminin tepe yangınlarının başlaması ve yangın yayılma oranı açısından önemli olabileceği vurgulanmaktadır (Schaaf vd., 2007). Nitekim, tepe yangını davranışında ibre nem içeriğinin önemini açıklayan bir çok çalışma bulunmaktadır (Xanthopoulos ve Wakimoto, 1993; Butler vd., 2004, Van Wagner 1967b, 1974). Ancak, İbre nem içeriğinin şiddetli örtü ve tepe yangını yayılma oranları üzerindeki etkisine ilişkin günümüzde herhangi bir arazi çalışması mevcut değildir. Yanıcı maddenin tutuşması ile doğrudan ilişkili olan yanıcı madde nemi (Van Wilgen vd., 1985, Fernandes 2012) çok geniş bir yelpazede değişim gösterir. Bu geniş yelpazenin arazi koşullarında yakalanabilmesi ve aynı anda diğer değişkenlerin etkilerinin sabit tutulması zor, masraflı ve tehlikelidir. Bu nedenle, canlı yanıcı madde nem içeriğinin yangın yayılma oranı üzerindeki etkisinin belirlenebilmesi düşük şiddetli örtü yangınları ve laboratuvar çalışmaları ile sınırlandırılmıştır (Van Wagner, 1998; Cruz vd., 2005). Van Wagner (1974), iki deneme yangınından yola çıkarak ibre nem içeriği arttıkça yayılma oranının azaldığını belirlemiştir. Yangın simülasyon modelleri, Van Wagner'ın ortaya koyduğu sonucu doğrulamış, canlı ibre nem içeriğinin yayılma oranında hissedilir bir azalmaya neden olduğunu belirlemiştir (Butler vd., 2004). Ancak, bu tür simülasyon sonuçlarının karşılaştırılabileceği araziye dayalı verilerin eksikliği, model doğruluğunun test edilmesini sınırlandırmaktadır. Gerçekleştirilen deneme yangınlarında Aralamanın yangın yayılma oranı üzerine etkisi incelenmiş ve aralama durumuna göre yangın yayılma oranında farklılıklar tespit edilmiştir. Diğer değişkenler sabit tutulduğunda, rüzgâr hızında meydana gelen artışa karşılık yangın yayılma oranının aralama görmemiş meşcerelerde, aralama görmüş meşcerelere kıyasla daha hızlı ilerlediği belirlenmiştir. Ayrıca, benzer koşullarda aralama görmemiş meşcerelerde aktif tepe yangınları meydana gelirken, aralama görmüş meşcerelerde pasif tepe yangınlarının meydana geldiği anlaşılmıştır. Ancak, rüzgâr hızının yaklaşık 30 km/s'in üzerine çıktığı ve yanıcı madde neminin oldukça düştüğü durumlarda aralamanın yangın yayılma oranında herhangi bir farklılığa neden olmadığı anlaşılmıştır. Aralama görmüş bir parsel olan Mrc 27 yangını bu durumu ortaya koymaktadır. Bu çalışmadan elde edilen bulgular, yapılan yangın simülasyon sonuçları ve doğal yangınların gözlenmesiyle elde edilen verileri doğrulamaktadır (Cruz vd., 2005, 2006b, Ager, 2007, Butler vd., 2004; Cron, 1969).

3.2.3. Tepe Yangını Oluşumunun Lojistik Regresyon Analizi İle Belirlenmesi

Bir tepe yangınının pasif veya aktif tepe yangını olma ihtimalini belirlemek amacıyla, lojistik regresyon analizi yapılmıştır (Walker ve Duncan, 1967). Lojistik regresyon analizi ile az sayıda değişken kullanılarak bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiyi en iyi açıklayan, bilimsel olarak kabul edilebilir bir model oluşturmak amaçlanmıştır (Bircan, 2004). Lojistik regresyon analizinde katsayıların elde edilmesi, en küçük kareler yönteminden farklı olarak, en yüksek olabilirlik yöntemine göre hesaplandığından, az sayıda deneme yangını ile yapılan tahminlerde modelin güvenilirliği azalacaktır (Cook, 2008). Bu nedenle, örtü yangını (9 yangın) ve tepe yangınına ilişkin bir lojistik regresyon modeli geliştirilememiştir.

3.2.3.1. Model Yapısı ve Veri Analizleri

Lojistik regresyon analizi, bağımlı değişkenin iki düzeyli kategorik değişken olduğu durumlarda gözlemlenen bir veriyi, oluşturulan gruplardan birine atamak için kullanılan sınıflandırma yöntemlerinden biridir. Matematiksel olarak lojistik regresyon olasılık, odds ve odds'un logaritmasına dayanır. Lojistik regresyonda odds, bir olayın olma olasılığının, o olayın olmama olasılığına bölümü olarak tanımlanır.

$$Odds = \frac{P_x}{1 - P_x} \quad (5)$$

Burada $P(x)$, bir X olayının gerçekleşme olasılığını, $1 - P(x)$ ise gerçekleşmeme olasılığını gösterir. Odds oranı her zaman 0-1 aralığında değişir. Ancak odds oranı 1'den büyük olabilir. İkilem olan sonuçlar üzerinde bağımsız değişkenin etkisi odds oranı ile temsil edilir ve odds oranı $\text{Exp}(\beta)$ (Exponentiated logistic coefficients) ile sembolize edilir (Mertler ve Vannatta, 2005).

Lojistik regresyon analizi sonucunda elde edilen sonuç modeli doğrusal olmayan bir fonksiyondur ve logit, odds oranının doğal logaritmasını ifade eder. Seçilen n birimlik bir örneklem sonucu elde edilen,

$$g(x) \hat{=} \beta_0 + \beta_{10}x_{1i} + \dots + \beta_k x_{1k} \quad (6)$$

Lojistik regresyon denklemi yardımıyla bulunan,

$$P_i = \frac{e^{g(x)}}{1 + e^{g(x)}} \quad (7)$$

P_i değerinin ≥ 0.5 olması durumunda $y_i=1$, $P_i < 0.5$ ise $y_i=0$ biçiminde sınıflandırılır (Press ve Wilson, 1978). Lojistik regresyon analizinde katsayıların elde edilmesi, en küçük kareler yönteminden farklı olarak, en yüksek olasılık yöntemine göre hesaplanmaktadır (Hosmer ve Lemeshow, 2000). Oluşturulan modelin bağımlı değişkeni ne kadar iyi tanımladığının belirlenmesi için uyum iyiliği testleri yapılmıştır. Bunun için Hosmer ve Lemeshow testi kullanılmıştır. Regresyon analizinde olduğu gibi lojistik regresyon analizinde çoklu bağlantı sorunu dikkate alınarak birbiri ile korelasyonu olmayan bağımsız değişkenlerin modelde yer almasına özen gösterilmiştir. Lojistik regresyon analizinde, pasif ve aktif tepe yangınları bağımlı değişken olarak alınmış ve analiz için gereken iki kategorili bağımlı değişken elde edilerek tekli lojistik regresyon analizi uygulanmış ve özellikle adımsal yöntemler tercih edilmiştir. Adımsal yöntemlerden, ileriye doğru yöntemlerin, geriye doğru eleme yöntemlerine kıyasla, baskılama etkisi altında olan bağımsız değişkenleri dışarıda bırakma etkisi vardır. Bu nedenle, lojistik regresyon analizleri “Olabilirlik Oranı ile Geriye Doğru Yöntemi (Backward:LR)” kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Field, 2005). Lojistik regresyon analizi uygulandığında, pasif ve aktif tepe yangınlarına ilişkin kategorik kodlar belirlenmiştir (Tablo 31). Sıfır olarak kodlanan kategori “referans kategori” olarak adlandırılır. Bu durumda, pasif tepe yangınları referans kategori grubu olarak belirlenmiştir. Bu nedenle oluşturulacak lojistik regresyon modelinin katsayıları, belirlenen bağımsız değişkenler ile kategorik kodu 1 olan aktif tepe yangınlarının gerçekleşme olasılığı üzerindeki etkilerini yansıtmaktadır.

Tepe yangını türünü etkileyen değişkenler belirlenirken, her bir değişken tek değişkenli basit lojistik regresyon analizine alınmıştır. Tek değişkenli analizlerin ardından, yangın türünün oluşumunda biyolojik olarak önemli olduğu düşünülen bağımsız değişkenler ve bu değişkenlerin tek değişkenli test sonucunda p değeri 0.25’den küçük (< 0.25) olan değişkenler tespit edilmiştir.

Tablo 31. Basit lojistik regresyon analizinde kullanılan bağımlı değişken kategorik kodları

Bağımlı değişkenler	Kategorik kodu
Pasif tepe yangını	0
Aktif tepe yangını	1

Buna göre, tepe yangını türünü etkileyen tek değişkenli modellerde, rüzgâr hızı (RZG), rüzgâr hamlesi-2 (RZGh₂), meşcere kapalılığı (Kap), tepe yoğunluğu (TY), tepe altı yüksekliği (TaY), ölü örtü miktarı (YMMö), canlı ince dal nem içeriği (YNid), merdiven yanıcı madde miktarı (MYMib) bağımsız değişkenler olarak belirlenmiştir. Daha sonra bu değişkenler, çok değişkenli lojistik regresyon modelinde kullanılarak, tepe yangını türünü tahmin eden en uygun model geliştirilmiştir.

Tek değişkenli yaklaşımla oluşturulan modellerde, tepe yangını üzerinde etkili olan diğer değişkenlerin toplam ilişkisi göz ardı edilmiştir. Bağımsız değişkenlerin her biri sonuç değişkeni ile zayıf bir ilişki içinde olsalar da, birlikte modele alındıklarında sonuç değişkenini oldukça iyi tahmin edebildikleri görülmüştür. Bu nedenle önemlilik düzeyi biyolojik çalışmalarda kabul edilebilir en yüksek düzeyde tutularak, şüpheli değişkenlerin çok değişkenli modelde yer alması sağlanmaya çalışılmıştır.

Ölü örtü miktarı sürekli değişken olarak ölçülmüş bir değişkendir. Ancak ölü örtü miktarı 0-1 kg/m² olan parseller 1. grup, 1-2 kg/m² olan parseller 2. grup ve 2> kg/m² olan parseller 3. grup olarak gruplandırılarak kesikli değişkene dönüştürülmüştür. Kesikli değişken olarak modele dâhil edilen ölü örtü miktarı ikiden fazla düzeye sahip olduğundan, desen değişkeni kullanılarak modele dâhil edilmiştir (Tablo 32).

Tablo 32. Ölü örtü miktarı değişkeninin desen değişkenlerinin oluşturulması ve kodlanması

Ölü örtü miktarı grupları	Grup adı	Desen Değişkenleri	
		YMMö_Kat1	YMMö_Kat2
0-1 kg/m ²	1 Grup	0	1
1-2 kg/m ²	2 Grup	1	0
2> kg/m ²	3 Grup	0	0

Tepe altı yüksekliği sürekli değişken olarak ölçülmüş olmasına karşın, modele kategorik değişken olarak alınmıştır. Tepe altı yüksekliği, 1. grup, 1 m, 2. grup 2 m ve 3. grup 3 m olarak gruplandırılarak kesikli değişkene dönüştürülmüş ve tepe altı yüksekliğine ilişkin desen değişkenleri ve kategori kodları belirlenmiştir (Tablo 33). Bu nedenle eşitlik 16'da kullanılan logit model, aşağıdaki model formu ile değiştirilerek kullanılmıştır;

$$g(x) = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \sum_{u=1}^{k_j-1} \beta_{ju} D_{ju} + \sum_{u=1}^{k_j-1} \beta_{ju} T_{ju} + \beta_i x_i \quad (8)$$

Tablo 33. Tepe altı yüksekliğinin desen değişkenlerinin oluşturulması ve kodlanması

Tepe altı yükseklik grupları	Grup adı	Desen Değişkenleri	
		TaY_Kat1	TaY_Kat2
1 m	1 Grup	0	1
2 m	2 Grup	1	0
3 m	3 Grup	0	0

Lojistik regresyon analizinde kullanılan bağımsız değişkenler arasında korelasyonlar incelenmiştir (Tablo 34). Değişkenler arasındaki korelasyonların düşük düzeyde olduğu görülmüştür. Bu değişkenler ile yangın yayılma oranı ve yangın türü arasındaki ilişki bir önceki bölümde detaylı olarak incelenmiştir..

Tablo 34. Lojistik regresyon analizinde kullanılan bağımsız değişkenler arasındaki korelasyon matrisi

No	Değişkenler	Korelasyonlar												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
1	Sabit	1												
2	RZG	-,583	1											
3	RZGh ₂	,201	-,378	1										
4	Kap	-,815	,173	-,085	1									
5	YMMö_Kat1	-,268	,323	,201	,071	1								
6	YMMö_Kat1	,016	-,280	,202	,059	,052	1							
7	TaY_Kat1	-,356	,374	-,462	,008	,231	-,204	1						
8	TaY_Kat2	-,184	-,202	,038	,174	-,176	,046	,403	1					
9	YNib ₀₃	-,502	,624	-,602	,062	,566	-,228	,526	-,151	1				
10	MYMib	-,306	,508	-,463	-,187	,434	-,082	,682	,144	,663	1			

3.2.3.2. Model Geliştirme ve Performans Ölçümleri

Deneme yangınlarının yangın tepe yangını türüne ilişkin, bağımsız değişkenlerle yapılan birçok muhtemel model, analiz edilmiştir. Olabilirlik testi sonucunda, tepe yangını başlamasını ve gelişimini etkileyen değişkenlerle (Tablo 34) elde edilen en iyi model aşağıdaki eşitlikle belirlenmiştir;

$$g(x) = \beta_0 + \beta_1 RZG + \beta_2 RZG_{h_2} + \beta_3 Kap + \sum_{u=1}^{k_j-1} \beta_{ju} D_{ju} + \sum_{u=1}^{k_j-1} \beta_{ju} T_{ju} + \beta_4 YN_{ib_{03}} + \beta_5 MYM_{ib} \quad (9)$$

Başlangıç modelinde yer almayan model değişkenlerine ilişkin istatistikler incelendiğinde (Tablo 35), hata Ki-Kare istatistiğinin (28,086, $p < 0,1$) anlamlı olduğu ve modelde yer almayan açıklayıcı değişkenlere ilişkin katsayıların sıfırdan anlamlı derecede farklı olduğu anlaşılmıştır. Böylece β katsayılarının sıfır olduğunu test eden H_0 hipotezi reddedilmiştir. Her bir değişken için Roa'nın etki puan istatistiklerine (Roa's efficient score statistics) bakıldığında (Tablo 35), merdiven yanıcı miktarı dışındaki değişkenlerin modele anlamlı katkı sağladığı görülmüştür (Field, 2005). Ayrıca, adımsal yöntemlerde en yüksek puan istatistiği olan değişkenin, analize ilk önce giren açıklayıcı değişken olduğu ve RZG_{h_2} değişkeninin en yüksek puan istatistiğine (9,241) sahip bağımsız değişken olduğu görülmüştür.

Tablo 35. Başlangıç modelinde yer almayan değişkenler

	Değişkenler	Skor	sd	P
	RZG	7,135	1	0,008
	RZG _{h₂}	9,241	1	0,002
	Kap	5,318	1	0,021
	YMMö	8,881	2	0,012
	YMMö_Kat1	8,594	1	0,003
	YMMö_Kat2	0,574	1	0,449
	TaY	5,055	2	0,080
	TaY_Kat1	5,029	1	0,025
	TaY_Kat2	1,507	1	0,220
	YN _{ib₀₃}	3,951	1	0,047
Adım 0	MYM _{ib}	0,976	1	0,323
	Hata Ki-Kare İstatistiği	28,086	9	0,001

Skor:Roa'nın etki puan istatistiğidir. P: Roa istatistiğe ait P değerini göstermektedir.

Eşitlik 9 için tahmin edilen değişken katsayıları, standart hataları ve önem düzeyleri belirlenmiştir (Tablo 35). Sonuç modelinde, bağımlı değişkende meydana gelen değişim belirlenmesi için Cox & Snell R^2 ve Nagelkerke R^2 değerleri hesaplanmıştır. Ancak, Cox & Snell R^2 değerinin mükemmel uyum değeri olan 1'e hiçbir zaman ulaşmadığı ve yorumlanmasının zor olması nedeniyle Nagelkerke R^2 değerleri kullanılmıştır (Cox ve Snell, 1989). Eşitlik 9 için, Nagelkerke R^2 değeri %62,6'dır. Bu sonuç, en büyük olabilirlik yöntemi ile elde edildiğinden, çoklu regresyon analizi R^2 'si ile karıştırmamalıdır. Lojistik regresyon analizinde, R^2 değeri, gözlemlenen ve modelle tahmin edilen değerleri karşılaştırmaktan ziyade, uygun model ve başlangıç modeli arasındaki karşılaştırmalara dayanır (Hosmer ve Lemeshow, 2000). Bu nedenle, Nagelkerke R^2 değeri en iyi modelin seçiminde kullanılmıştır. Ayrıca sonuç modelinin bir bütün olarak uyumunu değerlendirmek için Hosmer ve Lemeshow ki-kare uyum iyiliği testi kullanılmıştır. Hosmer ve Lemeshow testi (Ki-Kare:10,743, P:0,150) anlamlı olmadığından, yedi değişkenli modelin kabul edilebilir uyuma sahip olduğu, yani model-veri uyumunun yeterli düzeyde olduğu saptanmıştır. Lojistik regresyon modeli sonucunda elde edilen sınıflandırma sonucunda pasif tepe yangınlarının %81,8, aktif tepe yangınlarının %95,5 oranında doğru tahmin edilmiş ve toplam doğru sınıflandırma yüzdesi %90,9 olarak belirlenmiştir (Tablo 36). Bununla birlikte, aktif tepe deneme yangını olarak gerçekleşen Slc 40 ve Slc 43 yangınları, pasif tepe yangını olarak, pasif tepe yangını olarak gerçekleşen Slc 10, Slc 29, Slc 49 ve Slc 51 yangınları, aktif tepe yangını olarak tahmin edilmiştir.

Gerçekleştirilen deneme yangınlarında bir yangının aktif tepe yangını olma ihtimali üzerinde önemli etkiye sahip olan rüzgâr hızı ve rüzgâr hamlesi-2 bağımsız değişkenlerinin etkisi incelenmiştir (Şekil 64).

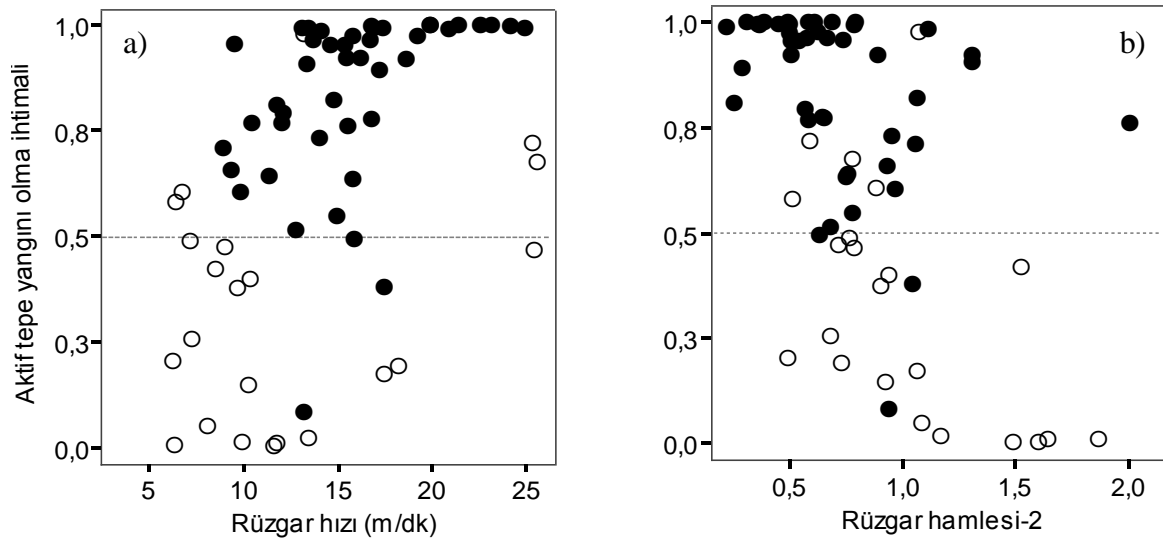
Tablo 36. Lojistik regresyon model gelişiminde kullanılan verilerin ve bağımsız bir deneme yangını veri setine ilişkin tepe yangını türü gözlemlerinin, geliştirilen model tahminleri ile karşılaştırmalı olarak sınıflandırma tablosu

Gerçek/Gözlenen Tepe Yangınları	Tahmin Edilen Tepe Yangınları		Doğru Tahmin Oranı (%)
	Pasif Tepe	Aktif Tepe	
Lojistik Model Gelişiminde Kullanılan Veri Seti			
Pasif Tepe	18	4	81,8
Aktif Tepe	2	42	95,5
Toplam Doğru Sınıflandırma Yüzdesi			90,9

Tablo 37. Tepe yangını oluşumu ile ilişkili olabileceği düşünülen değişkenlerin basit lojistik regresyon analizi

Değişkenler	β	SE (β)	Ω	Sd	P	Exp (β)	%95Güven aralığı	
RZG	0,248	0,107	5,342	1	0,021	1,282	1,038	1,582
RZGh ₂	-4,123	1,648	6,257	1	0,012	0,016	0,001	0,410
Kap	0,065	0,050	1,653	1	0,049	1,0,67	0,967	1,177
YMMö	-	-	6,968	2	0,031	-	-	-
YMMö_Kat1	4,384	1,698	6,664	1	0,010	80,165	2,874	2236,47
YMMö_Kat2	-0,390	0,938	0,173	1	0,678	0,677	0,108	4,260
TaY	-	-	5,092	2	0,078	-	-	-
TaY_Kat1	3,457	1,645	4,414	1	0,036	31,727	1,261	798,118
TaY_Kat2	0,096	1,024	0,009	1	0,926	1,100	0,148	8,180
YNib ₀₃	0,015	0,07	4,267	1	0,039	1,015	1,001	1,029
MYMib	24,019	10,918	4,840	1	0,028	3E+010	13,751	5E+019
Sabit	-10,869	5,184	4,395	1	0,036	0,000	-	-

β : tahmin edilen eğim katsayısı, SE (β): tahmin edilen eğim katsayısının standart hatası, Ω : tahmin edilen odds oranları, %95 güven aralığı: tahmin edilen odds oranı için güven aralığı



Şekil 64. Geliştirilen lojistik regresyon modelinde (a) rüzgâr hızı ve (b) rüzgâr hamlesi-2 değişkenlerindeki değişimin aktif tepe yangını oluşumu üzerine etkisi (*Siyah*: gözlemlenen aktif tepe yangınlarını, *Beyaz*: gözlemlenen pasif tepe yangınlarını gösterir)

Sonuç olarak, bu çalışma kapsamında tepe yangını olma olasılığını tahmin etmek için bir model geliştirilmiştir. Bu model, yangın anında yangın davranışını tahmin etmek, kontrollü yakmaları planlamak ve uygulanan silvikültürel müdahalelerin tepe yangını oluşumuna ilişkin sonuçlarını değerlendirmek ve yangının etkilerini belirlemek amacıyla oldukça pratik bir kullanım sağlayacaktır.

3.3. Bazı Yangın Davranış Modellerinin Test Edilmesi

Tepe yangını dinamiklerinin daha iyi anlaşılması ve tepe yangını potansiyelinin ortaya konulması, uygulayıcılar ve yangın araştırmaları açısından son derece önemlidir. Tepe yangınları, daha ziyade teorik çalışmalarla açıklanmaya çalışılmış ve deneysel çalışmalara yeterince yer verilememiştir. Bu durum tepe yangını dinamiklerinin anlaşılmasını sınırlandırmıştır (Van Wagner 1971).

Doğal yangınların izlenmesi ile tepe yangınlarına ilişkin yangın davranış verilerinin elde edilmesi oldukça zordur ve yangın öncesinde yanıcı madde özelliklerinin belirlenmesi mümkün olamamaktadır. Buna karşın, yüksek şiddetli deneme yangınları ile oldukça kullanışlı yangın davranış verileri elde edilebilmektedir (Alexander and Quintilio 1990). Ancak, açık alan yangınlarında meydana gelebilecek yüksek risk ve tehlike durumu, bu çalışmaların sayılarını sınırlandıran en önemli unsur olmaktadır. Son yıllarda, tepe yangını dinamiklerinin anlaşılmasına yönelik yoğun çabalar ve gelişen teknoloji ile birlikte, gerçekleştirilen deneme yangını sayısı artmış ve radyometrik alev sıcaklığı profilleri, ısı akışı ve akış hızı gibi temel yangın dinamiklerine ilişkin ölçümler gerçekleştirilmeye başlanmıştır (Alexander vd., 2001).

Tepe yangınları, yangın araştırmacıları tarafından, tepe yangını başlama ve tepe yangını yayılma modelleri olarak iki grupta modellenmeye çalışılmaktadır. Günümüzde, dünya genelinde kabul görmüş ve yaygın kullanımı olan karar destek sistemlerine dâhil edilmiş, sınırlı sayıda tepe yangını başlama ve yayılma modeli bulunmaktadır. Bunlar, Van Wagner (1977), Xanthopoulos (1990), Alexander (1998) ve Cruz (2003, 2004, 2006) tarafından geliştirilen tepe yangını başlama modelleri ile Rothermel (1991), Kanada ormancılığı yangın araştırma grubu (1992) ve Cruz (2005) tarafından geliştirilen tepe yangını yayılma modelleridir. Bu modeller, veri yetersizliğine ve zayıf teorik temeller üzerine inşa edilmiş olmalarına karşın (örn., Rothermel 1991; Forestry Canada Fire Danger Group 1992), Kuzey Amerika'da yangın davranışı tahmin sistemlerinde yaygın bir kullanım alanına sahiptir (Andrews vd., 2008; Finney, 1998). Bu bölümde, her iki gruptaki tepe yangını modellerinden bazıları seçilmiş ve bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen deneme yangınları ile test edilmişlerdir.

3.3.1. Tepe Yangını Başlama Modelleri

Tepe yangını başlama modelleri, örtü yangının tepe yangınına dönüşüp dönüşmeyeceğini belirleyen modellerdir (Van Wagner, 1977; Cruz vd., 2006a). Gerçekleştirilen deneme yangınları, dünya genelinde yangın amenajman uygulamalarında kullanılan üç farklı aktif tepe yangını yayılma oranı modelinin (Van Wagner, 1977; Alexander, 1998; Cruz vd., 2004) tahmin kapasitelerini belirlemek ve karşılaştırmalarını yapmak amacıyla kullanılmıştır (Tablo 38).

Tablo 38. Değerlendirilen tepe yangını başlama modellerinde yer alan değişkenler

Model	Yangın şiddeti	YN _{ib}	Rüzgâr hızı	Alevli yanma süresi	TAY/TAB	HİYN	YMT _o
Van Wagner (1977)	X	X			X		
Alexander (1998)	X	X	X	X	X		
² Cruz vd.,(2004)			X		X	X	X

¹YN_{ib}: Canlı ibre nem içeriği; TAY: Tepe altı yüksekliği; TAB: Tepe altı boşluğu;

²Cruz vd., (2004) modeli bir tepe yangını oluşum modelidir

HİYN: Hesaplanan ince yanıcı madde nem içeriği; YMT_o: Tüketilen ölü örtü miktarı

Van Wagner'in (1977) tepe yangını başlama modeli, mevcut fiziksel teoriler ve deneysel tabanlı bir konvektif ısı teorisine dayanır. Buna göre, tepenin tutuşması için gerekli enerji miktarı, tepe altı yüksekliği (TAY, m) ve tutuşma ısısının (h, kJkg⁻¹) bir fonksiyonu olarak kritik örtü yangını şiddetine (CSI,) bağlıdır;

$$CSI = (C \times TAY \times h)^{1.5} \quad (10)$$

burada h:ibre nem içeriğinin (YN_{ib}, %) (Van Wagner 1989, 1993) bir fonksiyonu olarak hesaplanır;

$$h = 460 + 25.9 \times YN_{ib} \quad (11)$$

Van Wagner (1977), tek bir deneme yangınından (Van Wagner 1968) elde ettiği deneysel bir sabiti (C), tepe tüketiminin başlaması için eşik değeri kabul etmektedir. Van Wagner (1977), *Pinus resinosa* ağaçlandırma alanında gerçekleştirilen üç deneme yangınına dayanarak, C oransal sabitini aşağıdaki gibi hesaplamaktadır;

$$C = \frac{CSI^{0.667}}{TAY \times h} \quad (12)$$

Van Wagner'ın elde ettiği 0.01 deneysel sabiti, örtü yangını davranışı ile yanıcı madde özelliklerindeki farklılıkları değişmez kabul etmektedir. Ancak, bu oransal sabitin, meşcere içi rüzgâr hızı, merdiven yanıcı maddeler, alev derinliği, yanıcı madde tüketimi, yayılma oranı gibi faktörlere bağlı olarak değişkenlik gösterdiğini belirlenmiştir (Alexander, 1998; Cruz vd., 2006c).

Aktif tepe yangınlarının başlaması örtü yangınının şiddeti (CSI) ve tepe altı yüksekliğine bağlıdır. Örtü yangını şiddetinin kritik eşik değerini aşması durumunda tepe yangını başlar (Van Wagner, 1977; 1993). Buna göre, aktif tepe yangını başlama eşiği (AT_E), gözlemlenen (YO_g) veya tahmin edilen (YO_a) tepe yangını yayılma oranının aktif tepe yangını oluşumu için gerekli olan kritik yayılma oranı (YO_k) değerine bölümünden elde edilen bir orandır.

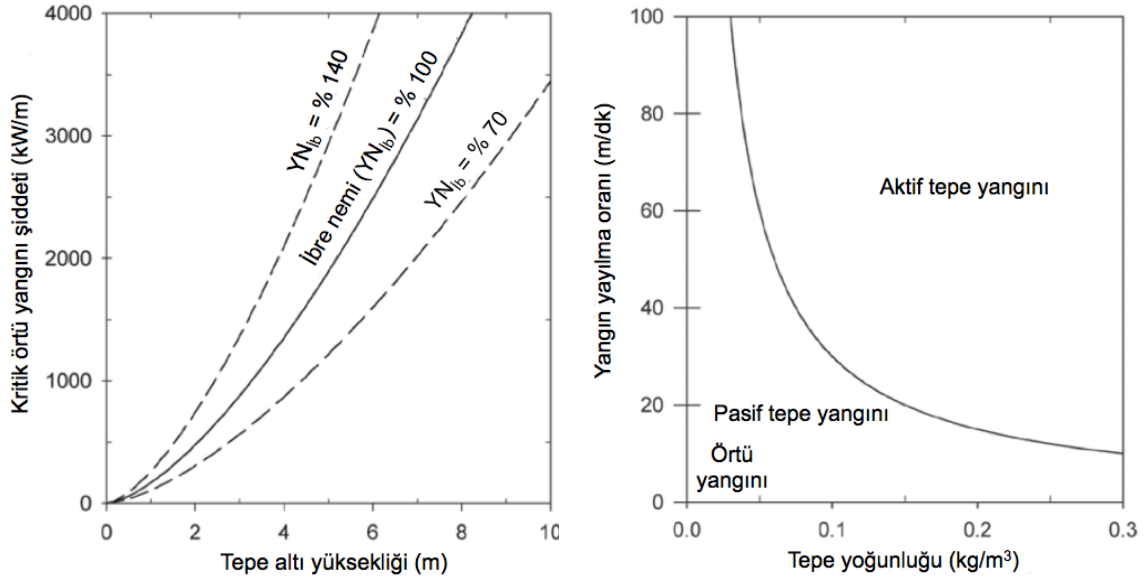
$$AT_E = \frac{YO_g}{YO_k} \quad (13)$$

YO_k , tepe ve tepe altı boşluğunda, sürekli bir alev gelişiminin sağlanabilmesi için gerekli olan kritik yayılma oranı değeridir (Van Wagner, 1977):

$$YO_k = \frac{KAO_k}{TY} = \frac{3}{TY} \quad (14)$$

KAO , kütle akış oranı eşik değerini ($\text{kg.m}^{-2}.\text{dk}^{-1}$), TY ise tepe yoğunluğunu (kg.m^{-3}) ifade etmektedir. Aktif tepe yangınları için kritik kütle akış oranı (KAO_k) $3 \text{ kg/m}^2/\text{dk}$ olarak belirlenmiştir. Gözlemlenen veya tahmin edilen yangın yayılma oranı değerinin YO_k değerinden büyük olması, yangının aktif tepe yangını olacağını, küçük olması ise pasif tepe yangını olacağını gösterir. Bu formül, aktif ve pasif tepe yangınlarının ayırımında oldukça iyi tahminler yaptığından yaygın bir kullanıma sahiptir (Alexander ve Quintilio, 1990; Stocks vd., 2004a; Cruz vd., 2005).

Van Wagner'ın tepe yangını başlama ve yayılma oranı modeline göre, bir yangında örtü yangını şiddeti, CSI değerinden küçük ise örtü yangını, büyük ise tepe yangını olarak gerçekleşir (Şekil 65). Tepe yangını olarak devam eden bir yangında, $ATE > 1$ ise aktif tepe yangını, $ATE < 1$ ise pasif tepe yangını meydana gelir.



Şekil 65. Van Wagner'a göre (1977) ibreli ormanlarda (a) tepe yangını başlaması için gereken kritik örtü yangını şiddetinin, tepe altı yüksekliği ve ibre nemine bağlı olarak değişimi, (b) tepe yoğunluğunun bir fonksiyonu olarak aktif tepe yangını kritik yayılma oranı

Alexander'in (1998) tepe yangını başlama modeli, örtü yangını şiddeti, tepe altı yüksekliği, ibre nem içeriği ve alevli yanma süresi dikkate alarak tahmin yapar. İlk olarak, örtü yangınının konveksiyon sütunu içerisinde, tepe altı yüksekliğine bağlı olarak meydana gelen sıcaklık (ΔT) ($^{\circ}\text{C}$) değeri hesaplanır;

$$\nabla T = \frac{k_i \times Y_S^{2/3} \times \sin A_p}{TAY} \quad (15)$$

burada, k_i oransal bir sabiti ifade eder. A_p : Duman açısını göstermektedir ve aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanmaktadır;

$$A_p = \tan^{-1} \left(\left(0.025574 \times Y_S / (0.27778 \times U_{1.2})^{3.0} \right)^{0.5} \right) \quad (16)$$

burada, $U_{1.2}$: Meşcere içerisinde, göz seviyesindeki rüzgâr hızını ifade eder. Bu çalışmada, orta-alev rüzgâr hızı hesaplamalarda dikkate alınmıştır. Van Wagner'in (1968) tepe kavrulma yüksekliği (h_s), formülü k_i değerinin (Alexander, 1998, eşitlik 3.26) hesaplanmasında kullanılmıştır.

$$h_s = \frac{0.74183 \times YS^{7/6}}{\left(0.025574 \times YS + 0.021433 \times (U_{1,2})^{3.0}\right)^{0.5} \times (60 - T_a)} \quad (17)$$

$$k_I = \frac{(60 - T_a) \times h_s}{YS^{2/3} \times \sin(A_p)} \quad (18)$$

Tepe tabakasında yanıcı madde tüketiminin başlaması için ibrelerin tutuşması gerekir. Tepe altı yüksekliğine bağlı olarak, ibrelerin tutuşması için gerekli olan konveksiyon sütunu sıcaklığı (T_c) belirlenir.

$$T_c = \nabla T + T_a \quad (19)$$

burada, T_a , hava sıcaklığını ifade eder. T_c değerinin 400 °C'den küçük olması durumunda, tepeye sarma görülmez, büyük olması durumunda ise, T_c ve ibre nem içeriğinin (FMC) bir fonksiyonu olarak, tutuşma zamanı (t_i) (saniye) hesaplanır (Xanthopoulos, 1990);

$$t_i = 291.917 \times e^{(-0.00664T_c + 0.00729FMC)} \quad T_c \geq 400 \quad (20)$$

Son olarak, yangın alevli yanma süresi belirlenir. Alevli yanma süresi, örtüdeki belirli bir noktada, alevli tüketimin gerçekleşme süresi olarak tanımlanmaktadır (Fons vd., 1962, Nelson 2003). Gerçekleşen yangında alevli yanma süresi (sn), d_z , alev derinliği (m), D ve yayılma oranının (m/sn), YO , bir fonksiyonu olarak hesaplanır;

$$d_z = \frac{D}{YO} \quad (21)$$

Alexander'in (1998) tepe yangını başlama modeline göre, d_z değeri, t_i değerinden büyük olması durumunda tepe yangını başlar. Aksi takdirde tepe yangını meydana gelmez.

Gerçekleştirilen 76 deneme yangınının, 47'sinde alev derinliği belirlenebilmiştir. Bu yangınlar kullanılarak, yangın alevli yanma süresi hesaplanmıştır. Buna göre, d_z 'nin tepe yoğunluğu ve yangın yayılma oranı ile ilişki olduğu belirlenmiş ve aşağıdaki regresyon denklemi geliştirilmiştir;

$$d_{Ztahmin} = 11.432 + 22.072 \times \frac{TY}{YO} \quad (22)$$

burada, $d_{Ztahmin}$: hesaplanan yangın alevli yanma süresini ifade etmektedir. Bu denklem kullanılarak, diğer deneme yangınlarına ilişkin alevli yanma süresi tahmin edilmiş ve Alexander'ın (1998) tepe yangını başlama modeli test edilmiştir.

Cruz ve arkadaşları (2004), tepe yangını olma olasılığını tahmin amacıyla, lojistik regresyon kullanarak yeni bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Elde edilen model, örtü, pasif tepe ve aktif tepe yangınlarından oluşan bir veri tabanından üretilmiştir. Model değişkenleri, 10 m yükseklikte açık alan rüzgâr hızı (U_{10}), tepe altı boşluğu (FSG), hesaplanan ölü örtü miktarı (EFFM) ve tüketilen örtü yangını (SFC) miktarıdır. Model tahminleri, tepe yangını maddelerinin tutuşmasını tahmin etmekten daha ziyade, bir yangının örtü yangını veya tepe yangını olup olmayacağını belirler. Tüketilen ölü örtü miktarı, kategorik değişken olarak ($1,0 <, 1,0-2,0$ ve $2,0 >$ kg/m^2) kodlanmıştır. Cruz'un (2004) tepe yangını oluşum modeli;

$$P_{(tepe yangını)} = \frac{e^{g(x)}}{1 + e^{g(x)}} \quad (23)$$

burada, $P_{(tepe yangını)}$, tepe yangını oluşum ihtimalini ifade eder.

$$g(x) = 4,236 + 0,357 \times U_{10} - 0,710 \times FSG - 0,331 \times EFFM - SFCfaktor \quad (24)$$

burada, SFCfaktor, lojistik regresyon analizi sonucunda tüketilen ölü örtü miktarına bağlı olarak aşağıdaki şekilde belirlenmiştir;

SFC kategorisi	SFC faktör
SFC < 0,1	4,613
$0,1 \leq SFC \leq 0,89$	1,856
SFC > 0,9	0,000

Gözlemlenen yangınlar için hesaplanan $P_{(tepe yangını)}$ değerinin 0,5'den küçük olması durumunda örtü yangını, eşit ve büyük olması durumunda tepe yangını olacağını gösterir.

3.3.1.1. Tepe Yangını Başlama ve Oluşum Modellerinin Test Edilmesi

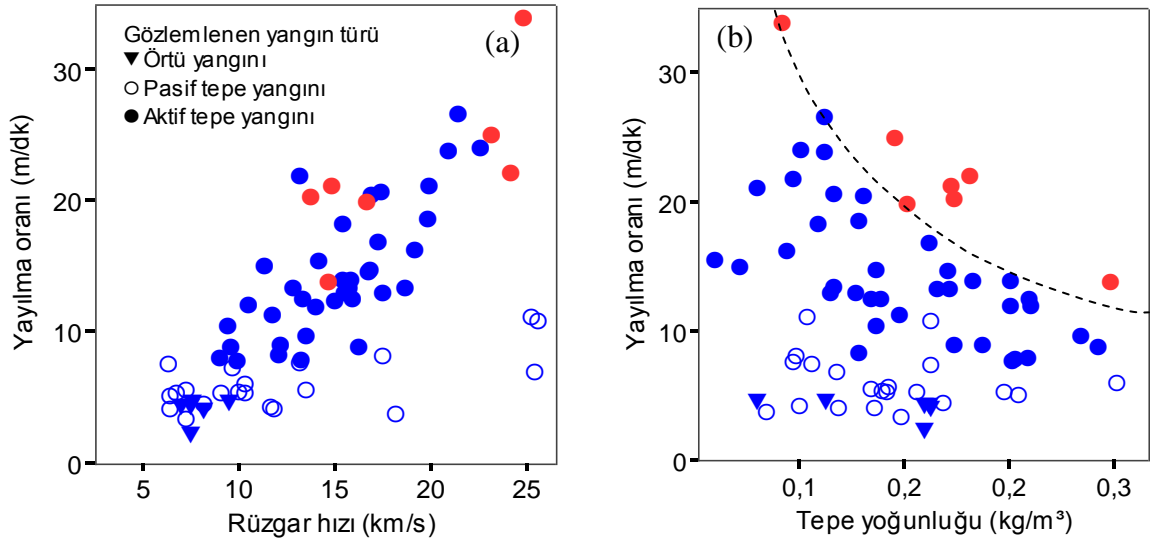
Bu çalışmada gerçekleştirilen deneme yangınları kullanılarak, Van Wagner (1977) ve Alexander'ın (1998) yangın başlama modelleri ile Cruz ve arkadaşlarının (2004) tepe yangını oluşum modeli test edilmiştir. Buna göre, üç modelin gerçekleştirilen 67 tepe yangınının %99'unu doğru tahmin ettiği belirlenmiştir. Van Wagner'ın (1977) ve Alexander (1998) modellerinin tek bir yangını (Slc 12 deneme yangını), pasif tepe iken örtü yangını olarak tahmin etmişlerdir. Slc 12 deneme yangını düşük rüzgâr hızında (8,54 km/s) yakılan ve yangın yayılma oranı 3,8 m/dk olarak gerçekleşen müdahale görmemiş bir deneme yangınıdır. Tepe altı yüksekliği 3 metredir. Deneme yangını esnasında rüzgâr hızında yaşanan dalgalanmalar yangın yayılma oranının ve yangın şiddetinin düşük değerlerde sonuçlanmasına neden olmuştur. Buna karşın, müdahale görmemiş bir meşcere olması ve tepedeki yatay ve dikey yanıcı madde sürekliliğinin korunmuş olması yangının kolaylıkla tepe yangınına dönüşmesini desteklemiş ve pasif tepe yangını olarak gerçekleşmiştir. Her iki tepe yangını başlama modelinin Slc 12 yangınına örtü yangını olarak tahmin etmesinin temel nedeninin, düşük yangın şiddetine sahip olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Gözlemlenen 9 örtü yangınında, Van Wagner'ın (1977) modeli %33'ünü, Alexander'ın (1998) modeli %56'sını ve Cruz'un (2004) modeli, %11'ini doğru tahmin etmiştir. Sonuç olarak, test edilen üç modelin, deneme yangınlarında gözlemlenen tepe yangınlarını yüksek oranda doğru tahmin ettiği, Alexander'ın (1998) tepe yangını başlama modelinin diğer iki modele kıyasla örtü yangınlarının tahmin edilmesinde daha başarılı olduğu görülmüştür. Van Wagner'ın (1977) tepe yangını başlama modeli, Kuzey Amerika'da bir çok yangın araştırmacısı tarafından kabul görmüş (örn., Agee 1996; Scott 1998; Graham vd., 1999), ve günümüzde yangın amenajmanlarına entegre edilmiştir (örn., Alexander, 1988; Forestry Canada Fire Danger Group, 1992; Finney, 1998; Scott ve Reinhardt, 2001). Buna karşın, bu modelin muntazam veya resmi olarak kabul görmeyeceği düşünülmektedir. Bunun en önemli nedeni, birçok teorik ve pratik sınırlandırmalar içermesidir. Cruz ve arkadaşları (2003) bu sınırlandırmaları şu şekilde izah etmektedir; (i) Van Wagner'ın (1977) tutuşma ısı formülü, tutuşma öncesinde yanıcı madde neminin tamamının uzaklaştırılması gerektiğini savunur (Xanthopoulos 1990; Alexander 1998), aksine yüksek enerji akışının meydana geldiği bir ortamda sürekli bir kuruma ve ısı etkisiyle erime meydana gelmesi beklenir. (ii) Oransal olarak belirlenen

deneysel sabit, tüm yanıcı madde tipleri için uygun olan, evrensel bir değer olarak kabul edilir, buna karşın, son çalışmalar, bunun öyle olmadığını göstermiş (Alexander 1998) ve ölü örtünün yapısal özellikleri ve yanıcı madde nemi dinamikleri tarafından belirlenen tüketim özelliklerine bağlı olarak değiştiği belirlenmiştir (Cruz 1999). (iii) Model, yalnızca konvektif teoriye dayandırılmıştır ancak bazı yanma koşullarında çoğunlukla radyoaktif bileşenler hâkim duruma geçmektedir. (iiii) Yangın şiddetinin belirlenmesinde Byram'ın (1959) modelinin kullanılabilmesi için, diğer modeller yardımıyla yangın yayılma oranı ve yanıcı madde tüketiminin tahmin edilmesi gerekmektedir. Bu durum, model sistemlerinin belirsizliklerini artırmakta ve hata yayılma problemini ortaya çıkarmaktadır. Bu çalışma kapsamında, arazide yapılan gözlem ve deneyimlerde, tepe yangınlarının doğrudan alev temasının meydana geldiği ve bu durumun süreklilik arz ettiği koşullarda gerçekleştiği belirlenmiştir.

Tepe yangınları kendi içinde aktif ve pasif tepe yangını olarak iki gruba ayrılmaktadır. Bu iki tepe yangını türü, yangın davranış özellikleri bakımından birbirinden farklılıklar gösterir. Bu nedenle, tepe yangını başlama modelleri tarafından tahmin edilen bir tepe yangının hangi türde ve hangi hızda gerçekleşeceği yangın amenajman planları açısından son derece önemlidir. Van Wagner (1977) tarafından geliştirilen tepe yangını yayılma modelinin bu ayrımı oldukça başarılı olarak yapılabildiği, pek çok çalışma ile kanıtlanmıştır (Cruz vd., 2005). Van Wagner'ın (1977) modelinde, 3.3.1 başlık altında izah edildiği üzere, kritik yayılma oranı değerinin aşılması durumunda aktif tepe yangınının başlamaktadır. Van Wagner'ın (1977) tepe yangınının türünü tahmin eden bu teorisi gerçekleştirilen 76 deneme yangını üzerinde test edilmiştir. Van Wagner'ın (1977) tepe yangını başlama modeli, 71 deneme yangınında tepe yangını başlayacağını varsaymıştır (Şekil 66). Bu 71 deneme yangını için, 3/TY eşitliği kullanılarak kritik tepe yangını yayılma değeri (YO_K) hesaplanmış ve eşitlik 2 yardımıyla aktif tepe yangını başlama eşiği (AT_E) belirlenmiştir. Van Wagner'ın modeline göre, sadece 7 deneme yangının kritik yayılma oranı değerini aşarak aktif tepe yangını olacağı, 64 yangının ise pasif tepe yangını olacağı belirlenmiştir (Şekil 66). Böylece gözlemlenen 44 tepe yangının %16'sı bu model ile doğru tahmin edilebilmiştir.

Van Wagner'ın (1977) tepe yangını ayırım kriteri, pek çok gözlemlenen doğal yangın ve deneme yangını üzerinde test edilmiş ve oldukça başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Ancak, genç kızılçam ağaçlandırma alanlarında gerçekleştirilen deneme yangınlarında başarılı bir tepe yangını türü ayrımı sağlayamamıştır.



Şekil 66. Gözlemlenen yangın türlerinin, Van Wagner'ın (1977) aktif ve pasif tepe yangınları için geliştirdiği model tahminleri (Mrc 27 hariç). (a) deneme yangını yayılma oranı ve rüzgâr dağılımı, (b) yayılma oranı ve tepe yoğunluğu dağılımı (Kırmızı: aktif tepe yangınları, Mavi: pasif tepe yangınlarını gösterir ve kesik çizgili eğri, Van Wagner'ın (1977) kritik yangın yayılma oranı eğrisidir ($3/TY$)).

Bir yangının tepe tabakasında yayılması, yayılma oranı, tepe yoğunluğu, tutuşma ısı (h) ve yangının yanmamış yanıcı maddelere doğru yataydaki net ısı akışına (E) bağlıdır (Thomas vd., 1964);

$$E = YO \times TY \times h \quad (25)$$

Bu denklemde, TY ve h aktif tepe yanıcı maddelerini (özellikle ibreleri) ifade etmektedir. Van Wagner'a (1977) göre, bir yangının tepede ilerleyebilmesi için yataydaki net ısı akışının kritik eşik değerini (E_0) geçmesi gerekir. Ancak bu tek başına yeterli değildir. YO veya TY belirli bir sınırdan ifade edilemediği için, ikinci bir kriter ihtiyacı duyulmaktadır. Eğer, YO ve TY değerleri belli bir değerin altına düşerse tepe yangınınun yayılması durur. Bunun için ikinci bir kriter olarak;

$$YO \times TY = \frac{E}{h} = KAO \quad (26)$$

Birim zamanda, birim kütle kesit alanı içerisindeki yanıcı maddenin kütle akış oranı (KAO , $kg/m^2 \cdot sn$) modele dâhil edilmiştir. Buradan bir tepe yangının ilerleyebilmesi için,

tepedeki birim alanda, birim zamanda yanması gereken minimum bir yanıcı madde miktarı olması gerektiği belirlenmiştir. Van Wagner (1977) kritik yayılma oranı ve kritik kütle akış oranını (KAO_K) bu formül ile belirlemiştir (3.3.1 başlık altında eşitlik 2). KAO_K yaklaşık olarak, $0,05 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{sn}$ olarak belirlemiştir. Bu değer, Thomas (1967) tarafından *Pinus resinosa* deneysel yangınlarında katı alev gelişimi için verilen minimum değerlere ($0,06$ ve $0,08 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{sn}$) oldukça yakın bir değer olması ve Van Wagner'ın (1965) rapor ettiği tepe yangınlarına benzer olması ile desteklenmiştir. Kızılçam ağaçlandırma alanlarında gerçekleştirilen deneme yangınlarında KAO_K $0,02 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{sn}$ olarak belirlenmiştir. Bu değer, Van Wagner'ın (1977) *Pinus resinosa* deneme yayınlarında belirlenen $0,05 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{sn}$ 'den oldukça düşük bir değerdir. Buna göre, örneğin $0,1 \text{ kg/ kg/m}^3$ tepe yoğunluğuna sahip bir kızılçam meşceresinde tepe yangınının yayılması için, Van Wagner'a göre kritik yayılma oranının 30 m/dk 'ın üzerinde olması gerekirken, gözlemlenen durumda kritik yayılma oranının 10 m/dk üzerinde olduğu yangınlarda, aktif tepe yangınının meydana geldiği anlaşılmıştır. Buradan, kızılçam meşcerelerinde tepe yangınının yayılması için, tepedeki yanmamış materyal içerisinde yatay net ısı akışının diğer ağaç türlerine göre çok daha düşük olduğu belirlenmiştir. Kızılçam meşcerelerinde gözlemlenen bu özel durumun nedeni, elde edilen deneme yangını verileri ile tam olarak açıklanamamıştır. Ancak kızılçam bireylerinde yanıcı madde miktarına ilişkin yapılan ölçümlerde, ibrelerin bağlı bulunduğu en ince dal ($0,0-0,3 \text{ mm}$ ve $0,3-0,6 \text{ mm}$ kalın dal) miktarının diğer türlere (örneğin, karaçam) nazaran oldukça fazla olduğu belirlenmiştir. Nitekim deneme yangınları sırasında yapılan gözlemlerde, aktif tepe yangınlarında ibre ve ince dal kısımlarının alevli yanmayı destekleyen en önemli yanıcı maddeler olduğu görülmüştür. Bununla birlikte, kızılçam bireylerinde ibrelerin uzun oluşu dökülen ibrelerin kolaylıkla ağaç üzerinde asılı durumda kalarak merdiven yanıcı madde miktarını arttırdığı ve ibrelerin dal üzerindeki dizilişlerinin boşluklu oluşu karaçam gibi türlere nazaran daha hızlı ve kolay tutuşmasını destekleyici olduğu düşünülmektedir. Sonuç olarak kızılçamda gözlemlenen bu özel durumun gelecekte yapılacak araştırmalarla daha iyi aydınlatılabileceği, özellikle yanıcı maddenin kimyasal özelliklerinin ortaya konularak, diğer türlerden farklılıklarının belirlenmesi gerektiği düşünülmektedir.

3.3.2. Tepe Yangını Yayılma Modelleri

Tepe yangını yayılma modelleri, tepe yangınına dönüşen bir yangının yayılma oranını tahmin eder. Gerçekleştirilen deneme yangınları, dünya genelinde yangın amenajman uygulamalarında kullanılan üç farklı aktif tepe yangını yayılma oranı modelinin (Rothermel, 1991; Forestry Canada Fire Danger Group 1992; Cruz vd., 2005) tahmin kapasitelerini belirlemek ve karşılaştırmalarını yapmak amacıyla kullanılmıştır.

Rothermel (1991), sekiz doğal yangının gözlemlerini kullanarak basit bir istatistiksel model yardımıyla, tepe yangını yayılma modeli geliştirmiştir. Gözlemlenen her bir yangının, ortalama tepe yangını yayılma oranını belirlemiş ve her biri için, eğim, açık alan (6,1 m) rüzgâr hızı ile ölü ve canlı nem içeriklerini tahmin etmiştir. Gözlemlenen ortalama tepe yangını yayılma oranlarının, Rothermel (1972) örtü yangını yayılma modeli tahminleri ile doğrusal bir ilişki gösterdiğini belirlemiştir. Rothermel (1972) örtü yangını yayılma modelinde, gerçekte farklı bir yanıcı madde modeli ile uyumlu olsa bile her zaman Yanıcı Madde Modeli 10 (Anderson, 1982) kullanılmıştır. Ayrıca, 6,1 m yükseklikteki rüzgâr hızı, orta alev yükseklik değerine dönüştürülmek amacıyla, aktif tepe yangınlarını en iyi temsil ettiği düşünülen 0,4 rüzgâr-düzeltilme faktörü ile çarpılmıştır. Rüzgâr hızı 10 m yükseklikte ölçülmüş ise, bu rüzgâr hızı, 1,15 değerine bölünerek (Turner ve Lawson 1978), 6,1 m yükseklikteki rüzgâr hızı değeri belirlenmektedir. Hesaplanan ölü örtü nemi, örtüdeki yanıcı maddelerin 1 saat, 10 saat ve 100 saatlik kuruma sürelerini dikkate alır. Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen deneme yangınlarında, hesaplanan ölü örtü nemi yerine gerçekte ölçülen ölü örtü nemi (1 saat kuruma süresi için) kullanılmış ve 10 ve 100 saat kuruma süreleri için, 1 saat kuruma süresine sırasıyla %1 ve %2 eklenerek tahmin edilmiştir (Rothermel 1983, 1991). 1, 10 ve 100 saat kuruma süreleri, sırasıyla <0.6, 0.6-2,5 ve 2,5-7,62 cm kalın dalların (Pyne vd., 1996) nem içeriğini belirtmektedir. Ayrıca, otsu ve diri örtü nem içeriği değerinin tüm yangınlar için %50 olduğu kabul edilmiştir. Rothermel (1991)'in modeli aktif tepe yangını yayılma oranını (YO_A) aşağıdaki formül yardımıyla belirler:

$$YO_A = 3.34 \times YO_{\bar{o}} \quad (27)$$

Burada, $YO_{\bar{o}}$: 0,4 rüzgâr düzeltme faktörü ile Yanıcı Madde Modeli 10 kullanılarak hesaplanan örtü yangını yayılma oranı ifade eder. Ayrıca Rothermel (1991), sekiz doğal

yangın gözleminin beşinden elde ettiği en yüksek tepe yangını yayılma oranı değerinin, ortalama tepe yangını yayılma oranından 1,7 kat daha hızlı olduğunu tespit etmiştir.

Cruz ve arkadaşları (2005) Jack pine (*Pinus banksiana*), Black spruce (*Picea mariana*) ve Red pine (*Pinus resinosa*) ağaçlandırma alanlarında gerçekleştirilen 25 deneme yangını kullanarak, aktif tepe yangını yayılma oranını tahmin eden doğrusal olmayan bir regresyon modeli geliştirmişlerdir. Geliştirilen model eşitliği aşağıdaki gibidir,

$$YO_A = 11.02 \times RZG_{10}^{0.9} \times TY^{0.19} \times e^{-0.17 \times HYN_0} \quad (28)$$

burada, RZG_{10} : 10 metre yükseklikteki açık alan rüzgâr hızı (m/dk), TY : tepe yoğunluğu (kg/m^3), HYN_0 : hesaplanan ölü örtü nemi (%) olarak kullanılmıştır. HYN_0 , hava sıcaklığı, bağıl nem, deneme yangının gerçekleştirildiği mevsim ve gün içerisindeki saat, tepe kapallılığı ve havanın bulutluluk durumuna bağlı olarak Rothermel (1983) tarafından geliştirilen yöntem uygun olarak hesaplanmaktadır.

Cruz vd., (2005) tarafından geliştirilen aktif tepe yangını yayılma oranı modeli, aynı zamanda pasif tepe yangını yayılma oranını belirlemek amacıyla kullanılmaktadır. Bunun için, Van Wagner'ın (1977), aktif tepe yangını başlama eşik değerini (AT_E) esas alır. Cruz (2005), pasif tepe yangını yayılma oranını, aktif tepe yangını başlama eşiği ve aktif tepe yangını yayılma oranının bir fonksiyonu olarak aşağıdaki formül yardımıyla belirlemiştir;

$$YO_P = YO_A \cdot x e^{-AT_E} \quad (29)$$

Kanada ormancılığı yangın tehlike grubu (KYTG) (1992) tarafından belirlenen 17 farklı yanıcı madde tipine bağlı olarak, yangın yayılma oranını (RSI) tahmin eden, genel bir model geliştirmişlerdir. Bu genel model, rüzgâr hızı ve ölü örtü nemine bağlı olarak değişen, başlangıç yayılma indeksinin (ISI) bir fonksiyonudur. Buna göre genel yangın yayılma modeli aşağıdaki gibidir;

$$RSI = a \times \left[1 - e^{(-b \times ISI)} \right]^c \quad (30)$$

Yanıcı madde tiplerine göre model katsayıları farklı değerler alırken, çam ormanı ağaçlandırma alanlarına ilişkin tek bir yanıcı madde tipi belirlenmiş olup modelin a, b, ve c katsayıları sırasıyla, 30, 0,08 ve 3 değerlerini almaktadır. Kanada ormanlarında yoğun

humus yanıcı madde birikimi nedeniyle, örtü yangınlarının yayılma oranında humus yanıcı madde neminin etkisi (BE) belirlenerek RSI ile çarpılmakta ve örtü yangını yayılma oranı belirlenmektedir. Ancak Akdeniz ekosistemlerinde bu tür bir humus yanıcı madde birikimi oluşmadığından bu etki göz ardı edilmiştir.

KYTG modelinde tepe yangını başlama kriteri olarak, ikili-denkleme yaklaşımını Van Wagner (1977)'in tepe altı yüksekliği ve ibre nem içeriğine bağlı olarak geliştirdiği kritik örtü yangını şiddeti (CSI) dikkate alınır. Gözlemlenen veya tahmin edilen örtü yangını şiddeti, CSI değerinden küçük olursa örtü yangını meydana gelir, büyük olursa tepe yangını başlar. CSI ve tüketilen ölü örtü miktarına (SFC) bağlı olarak kritik örtü yangını yayılma oranı (RSO) aşağıdaki formül ile belirlenir;

$$RSO = CSI \div 300 \times SFC \quad (31)$$

Yangının türünü belirlemek amacıyla tepedeki yanıcı maddelerin yanma oranını ifade eden, tepe yanma oranı (CFB) (Van Wagner, 1989; 1993), örtü yangını yayılma oranı ile kritik örtü yangını yayılma oranı arasındaki farkın bir fonksiyonu olarak aşağıdaki şekilde hesaplanır;

$$CFB = 1 - e^{-0.23 \times (RSI - RSO)} \quad (32)$$

CFB, 0,0 (tepe yangını olmadan örtü yangını olarak gerçekleşmiş) ile 1,0 (% 100 tepe yangını meydana gelmiş) aralığında değişir. Yangın türünün belirlenmesinde kullanılan CFB değişim aralığı aşağıdaki gibidir;

<u>Tepe yanma oranı</u>	<u>Yangın türü</u>
< 0,1	örtü yangını
0,1-0,89	pasif tepe yangını
> 0,9	aktif tepe yangını

KYTG modelinde, ibre nem içeriği örtü yangınının tepe yangınına dönüşmesinde belirleyici bir faktör olarak kullanılır. Ayrıca, Kanada çam ormanlarında ibre nem içeriğinin mevsime bağlı olarak önemli değişimler göstermesi ve özellikle ilkbaharda en düşük değere ulaşması nedeniyle, tepe yangınlarının çok daha kolay başlayıp, daha hızlı yayılacağı hesaba katılmıştır. İbre nem içeriğinin yangın yayılma oranı üzerindeki etkisine ilişkin, araziye dayalı herhangi bir kanıtı bulunmamasına karşın, Van Wagner (1974b)

tarafından geliştirilen fiziksel kanıtlar doğrultusunda yayılma oranının tepe içerisinde, yataydaki radyant ısı akışı ile orantısal bir ilişkisinin olduğu, ancak ibrelerin tutuşma enerjisiyle ters orantılı bir ilişkisinin olduğu belirlenmiştir. Böylece, tepe yangını yayılma oranı üzerinde %85 ile %120 değişen aralıktaki (Kanada ormanları için) ibre nem içeriğinin etkisi oransal olarak belirlenmiştir. İbre nem içeriğinin etkisi (FME) ve normalize edilmiş ibre nem içeriği etki değeri (FME_{ORT}) (0,778 olarak belirlenmiştir) kullanılarak tepe yangını yayılma oranı (RSC) aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır;

$$RSC = 60x \left[1 - e^{(-0.0497MSI)} \right]^{1.00} x \frac{FME}{FME_{ort}} \quad (33)$$

Örtü yangını yayılma oranı ile kritik örtü yangını yayılma oranı arasındaki farkın bir sonucu olarak hesaplanan CFB'na bağlı olarak tepe yangını başlar. Buna göre, tepe yangını yayılma oranı (ROS), son olarak aşağıdaki formül ile hesaplanır;

$$ROS = RSI + CFB \times (RSC - RSI) \quad (34)$$

Yukarıda genel özellikleri ve formülleri ile izah edilen Rothermel (1991), Cruz (2005) ve KYTG (1992) modellerinin performanslarının belirlenmesinde bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen 75 deneme yangını kullanılmıştır. Rothermel (1991)'in model sonuçları BehavePlus yangın modelleme sistemi (Andrews vd., 2008) Version 5 ile belirlenmiştir. Diğer model sonuçları yukarıda verilen formüller doğrultusunda hesaplanmıştır. Ayrıca, tüm modellerin yangın türü hesaplanmış ve gerçek yangın türleri ile karşılaştırmaları yapılmıştır.

3.3.2.1. Model Performansının Belirlenmesi

Rothermel (1991), Cruz (2005) ve KYTG (1992) modellerinin performansı, tahmin edilen ve gözlemlenen değerlere ilişkin ikili grafikler yardımıyla incelenmiş ve model yeterlilik düzeyleri bazı istatistikler (Willmott, 1982) kullanılarak değerlendirilmiştir. İncelemesi yapılan modeller, kısa vadeli performans hakkında bilgi sağlayan tahminin standart hatası (RMSE) (ideal değeri sıfırdır), model yeterlilik düzeyi (EF), ortalama mutlak hata (MAE), ortalama mutlak hata yüzdesi (MAPE) ve ortalama sapma hatası (MBE) testlerine bağlı olarak karşılaştırılmıştır (Tablo 38 ve Tablo 39).

$$R^2 = EF = 1 - \frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum (y_i - \bar{y})^2} = \frac{\sum (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum (y_i - \bar{y})^2} \quad (35)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{n}} \quad (36)$$

$$MAE = \frac{\sum |y_i - \hat{y}_i|}{n} \quad (37)$$

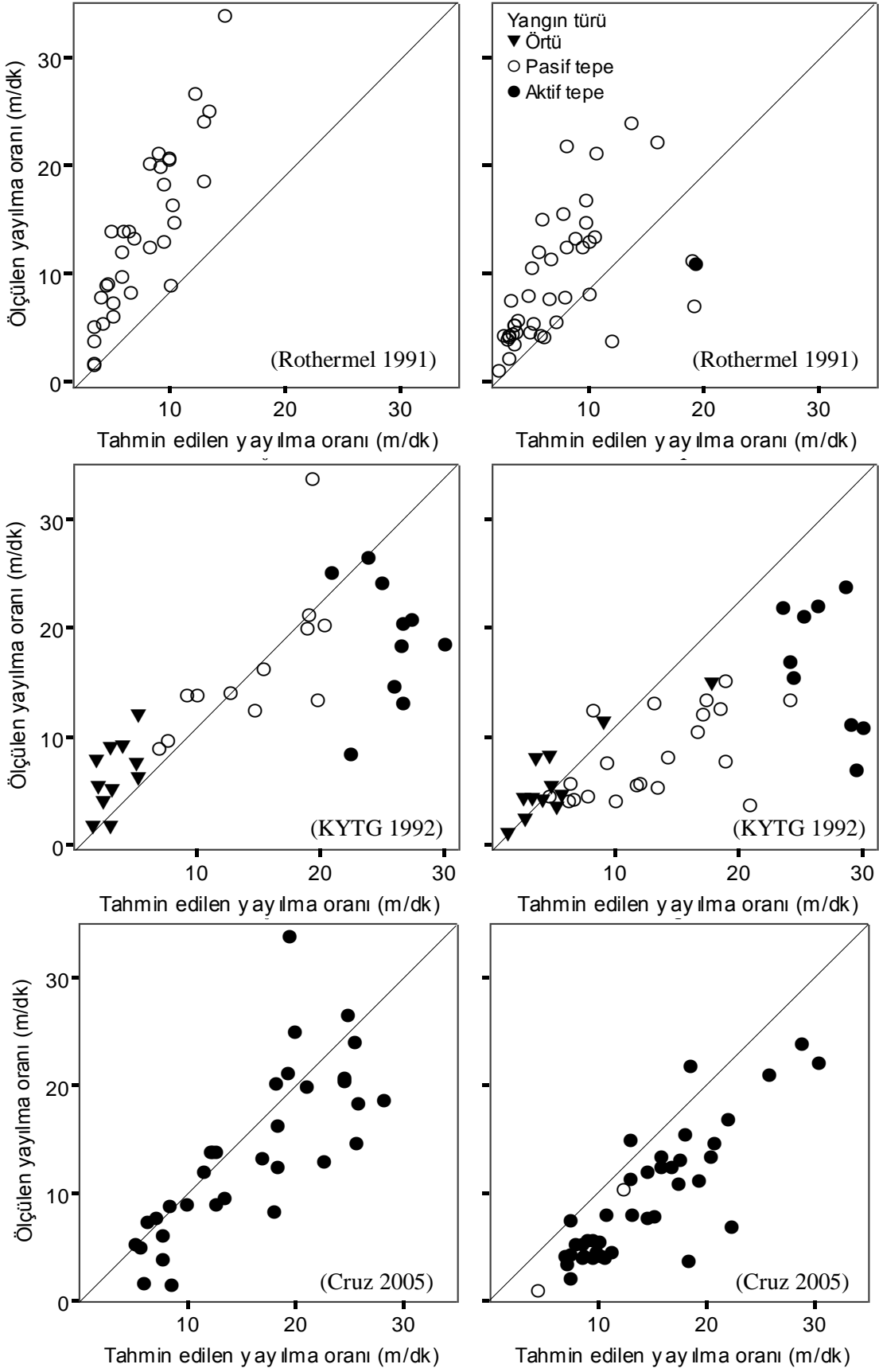
$$MAPE = \frac{1}{n} \cdot \sum \left(\frac{|y_i - \hat{y}_i|}{y_i} \right) \cdot 100 \quad (38)$$

$$MBE = \frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)}{n} \quad (39)$$

Deneme yangını veri tabanında herhangi bir ayırım yapılmadan, modellerin tahmin gücü değerlendirilmiştir. Deneme yangınlarında, 44 aktif tepe ve 22 pasif tepe yangını ile 9 örtü yangını analizlere dâhil edilmiştir. Aktif tepe yangını modelleri kullanılarak yapılan tahminler ile gözlemlenen deneme yangını yayılma oranı ikili grafikleri deneme yangını parsellerinin aralama görmüş ve görmemiş olma durumuna göre verilmiştir (Şekil 67, Tablo 39). Buna göre, Cruz (2005)'un modeli, en düşük RMSE (0,64), ve 4,464 ortalama mutlak hata (MAPE= %69,28) değerine sahip olduğu ve deneme yangınları yayılma oranını diğer modellere nazaran daha iyi tahmin ettiği görülmüştür. Cruz'un tepe yangını başlama modeli, neredeyse tüm deneme yangınlarını aktif tepe yangını olarak tahmin etmiştir.

Tablo 39. Gerçekleştirilen deneme yangınlarının, tahmin edildiği üç farklı tepe yangını yayılma modeli performansının istatistiksel olarak karşılaştırılması

İstatistikler	Tepe yangını modelleri		
	Rothermel (1991)	KYTG (1992)	Cruz (2005)
RMSE	0,76	0,81	0,64
EF	0,11	-0,003	0,37
MAE	5,085	5,037	4,464
MAPE	45,77	57,40	69,28
MBE	3,71	-2,68	-3,46



Şekil 67. Deneme yangınları ölçülen ve tahmini yayılma oranı değerlerinin aralama durumuna göre dağılımı (sol taraf-aralama görmemiş, sağ taraf-görmüş)

Rothermel (1991)'in tepe yangını yayılma modeli, deneme yangınları yayılma oranını ölçülen değerlerin oldukça altında tahmin etmiştir (Şekil 67). Deneme yangınları için, bu model en yüksek MAE (5,085), MAPE (69,28) ve MBE (3,71) değerlerine sahiptir. Diğer yandan, gerçekte pasif tepe yangını olarak gerçekleşen bir deneme yangını aktif tepe yangını olarak tahmin eden model, diğer yangınların tamamını örtü yangını olarak tahmin etmiştir. Kanada yangınları için geliştirildiğinden KYTG (1992)'nin tepe yangını modeli, canlı ibre nem içeriğini %85 ile 120 aralığında hesaplamaktadır. Bu durum, ibre nem içeriği %133 ile 460 aralığında değişen deneme yangınlarının hesaplanmasında sorun oluşturmuştur. Bu durum, deneme yangınları için CSI değerinin hesaplanmasında normal olmayan sonuçların elde edilmesine neden olmuştur. Tüm deneme yangınlarında, ibre nemi %120'nin üzerinde olduğundan, hesaplamalarda bütün yangınlar için aynı değer kullanılarak bu sorun bertaraf edilmeye çalışılmıştır. Diğer yandan, ölü örtü miktarının çok yüksek olduğu ve düşük yayılma oranının gerçekleştiği bazı parsellerde CFB değeri negatif çıkmıştır. Bu parsellerde, CFB değeri sıfır alınmış ve diğer hesaplamalara devam edilerek son yayılma oranı hesaplanmıştır. Buna göre, KYTG (1992)'nin tepe yangını modeli, EF (-0,0034) ve RMSE (0,81) değerine sahiptir (Tablo 39). KYTG model tahminleri, Cruz (2005)'un ve Rothermel (1991)'in model tahminlerinden daha kötü sonuçlar üretmiştir.

3.3.2.2. Aralama Görmüş ve Görmemiş Parsellerde Aktif ve Pasif Tepe Yangını Yayılma Oranı

Aralama görmüş ve aralama görmemiş deneme yangınlarına ilişkin aktif tepe yangını yayılma modeli tahminleri değerlendirilmiştir. Aralama sonrasında yanıcı madde ve meşcere özelliklerinde meydana gelen değişimlerin yangın davranışında oluşturacağı farklılıkları en iyi açıklayan modelin Cruz (2005)'un modeli olduğu anlaşılmıştır. Cruz (2005)'un deneme yangınlarına ilişkin model tahminlerinin aralama görmemiş parsellerde yüksek EF (0,64) değerine ve en düşük RMSE (0,40) değerine sahip olduğu anlaşılmıştır. Cruz (2005)'un modelinin gerçekte olandan daha yüksek tahminler yaptığı görülmüştür. Bu durum, veri tabanında aralamanın etkilerini açıklayacak deneme yangınlarının bulunmaması ve model parametrelerinin ve açıklayıcı değişken sayısının yetersiz olmasının bir sonucu olduğu düşünülmektedir. Aralama görmüş parseller için en yüksek EF değerine sahip model Rothermel'in tepe yangını yayılma modelidir.

Aralama sonrasında yanıcı madde özelliklerindeki değişim ve yanıcı madde miktarındaki yer değiştirmenin yangın davranışında oluşturacağı değişimi az sayıdaki açıklayıcı değişken ile tahmin etmek diğer değişkenlerin baskılayıcı etkileri nedeniyle oldukça zordur.

Cruz (2005)'un aktif tepe yangını modeli, aktif ve pasif tepe yangınlarını diğer modellere nazaran daha iyi tahmin ettiği anlaşılmıştır (Şekil 68). Diğer yandan, pasif tepe yangınlarının tamamını aktif tepe yangını olarak tahmin etmiş ve özellikle aralama görmüş parsellerdeki yangınlarda yayılma oranlarını olduğundan fazla tahmin etmiştir. Cruz'un (2006) yayılma modeli, rüzgâr hızı, CBD, EFFM değişkenlerini kullanarak aktif tepe yangını yayılma oranını tahmin etmektedir. Cruz'un yayılma oranı modeli, değişkenlerin değişimine karşı oldukça hassas olduğu görülmüştür. Örneğin, Slc 40 yangını, tepe yoğunluğu oldukça yüksek ($0,20 \text{ kg/m}^3$), rüzgâr hızı 13 km/s , yayılma oranı ise $7,8 \text{ m/dk}$ ile aktif tepe yangını olarak gerçekleşen bir yangın iken, Cruz'un (2006) tepe yangını yayılma modeli bu yangını, yayılma oranı $5,5 \text{ m/dk}$ ile gerçekleşen, pasif tepe yangını olarak tahmin etmektedir. Bu senaryoda rüzgâr hızı 13 yerine 14 km/s yazıldığında, modelin tahmin ettiği yayılma oranı $15,5 \text{ m/dk}$ 'ya çıkmıştır ve yangın türü aktif tepe yangını olarak tahmin edilmiştir.

Tablo 40. Tepe yangını yayılma modellerinin, aralama görmüş ve aralama görmemiş deneme yangınlarını tahmin performansının istatistiksel olarak karşılaştırılması

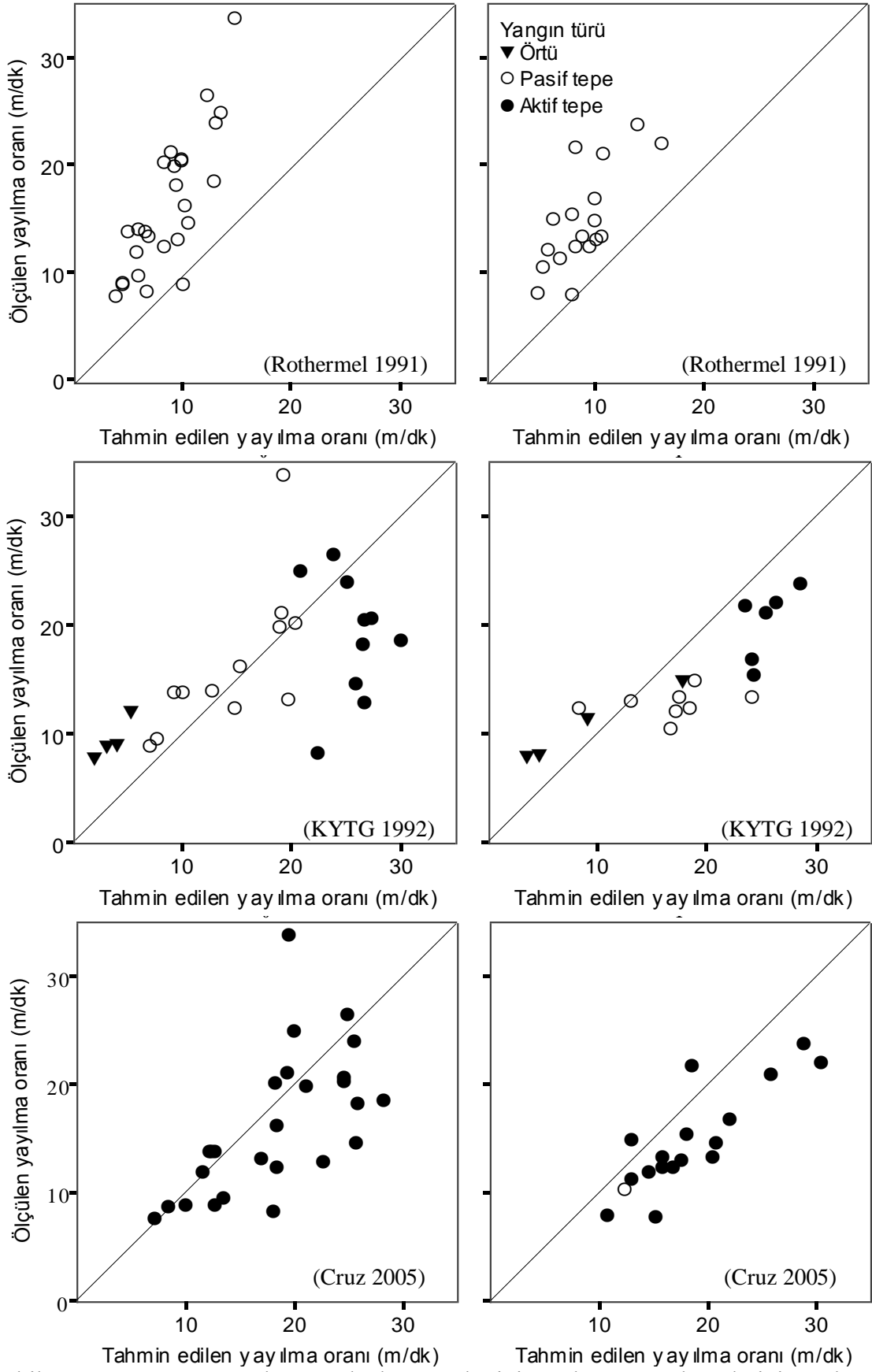
İstatistikler	Aralama görmemiş			Aralama görmüş		
	Rothermel (1991)	KYTG (1992)	Cruz (2005)	Rothermel (1991)	KYTG (1992)	Cruz (2005)
RMSE	0,60	0,48	0,40	0,47	0,65	0,49
EF	0,20	0,49	0,64	0,14	-0,68	0,03
MAE	2,81	2,02	5,00	2,28	2,98	5,00
MAPE	20,27	17,71	21,72	25,51	39,69	47,56
MBE	2,68	-0,15	-0,84	1,02	-2,53	-2,61

Mrc 35 yangını, tepe yoğunluğu $0,15 \text{ kg/m}^3$, rüzgâr hızı 23 km/s ve hesaplanan ince yanıcı madde nem içeriği 12 dir. Aktif tepe yangını olarak gerçekleşen Mrc 35'in yayılma oranı 25 m/dk iken Cruz'un yayılma modeli bu yangını pasif tepe yangını olarak, $7,2 \text{ m/dk}$ yayılma oranında tahmin etmiştir. Bu yangında, tepe yoğunluğu $0,18$ 'e çıkarıldığında model yayılma oranını $16,9 \text{ m/dk}$ ve aktif tepe yangını olarak tahmin etmektedir. Diğer

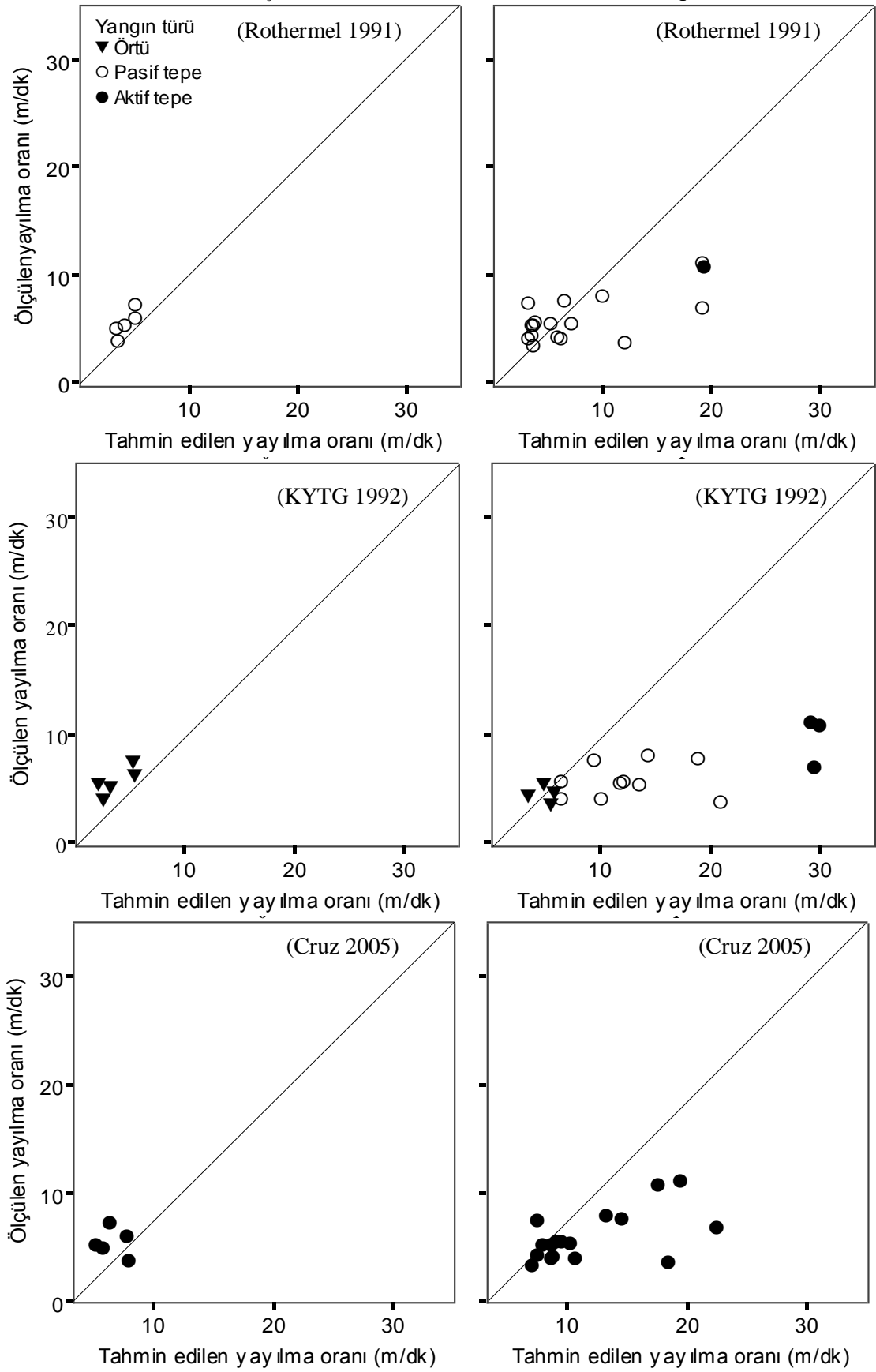
yandan, sadece hesaplanan ince yanıcı madde nemini 12 yerine 10 yaparsak, yayılma oranı 23 m/dk olarak tahmin edilirken, yangın türü aktif yangın olarak belirlenmiştir. Buda göstermektedir ki, Cruz'un modeli yüksek rüzgâr hızlarında, ince yanıcı madde nem içeriğinin etkisini baskılayamamaktadır. Benzer durum tepe yoğunluğu için de geçerlidir.

KYTG (1992)'nin tepe yangını modeli, aralama görmemiş yangınlarda model tahminleri arasında orta düzeyde EF (0,49) bir değere sahiptir. Bu Model için, RMSE 0,48, MBE 2,68 ve ortalama mutlak hata 2,02 (MAPE %17,71) olarak belirlenmiştir, KYTG'nun (1992) tepe yangını modelinin yangın türünü belirlemede diğer modeller gibi başarılı olamadığı, hem aktif hem de pasif tepe yangınlarına ilişkin grafikler incelendiğinde anlaşılmaktadır (Şekil 68, 69). Bunun en önemli nedeni, KYTG (1992) tepe yangını modelinin özel bir yanıcı madde modeline göre tasarlanmış olmasıdır. Gerçekleştirilen deneme yangınlarının genç kızılçam ağaçlandırma alanlarında meydana gelmesi, farklı yanıcı madde ve meşcere özelliklerine sahip olmaları KYTG (1992) tepe yangını modeli sonuçlarını etkilemektedir. Diğer yandan, tepe yangını başlama ve yayılma koşullarında öngörülen ilişkilerin aralama sonucunda değişime uğraması ve bu değişimi izah etmede modelin yetersiz kalmasıdır. Nitekim KYTG (1992) tepe yangını modeli aralama görmüş meşcerelerde ölü örtü miktarındaki artışın ve buna bağlı olarak tepe yanıcı madde miktarındaki azalışın sonuçlarına karşı duyarlı olamamıştır. Bunun yanı sıra, KYTG (1992) tepe yangını modeli tepe yangının başlaması ve yayılması üzerinde ibre neminin önemli derecede etkili olduğunu varsayan modeller üzerine kurulmuştur. Oysa gerçekleştirilen deneme yangınlarında, ibre nem içeriğinin kısmen yayılma oranında azaltıcı bir etkiye neden olmasına karşılık, yayılma oranında belirleyici rol almadığı tespit edilmiştir. Bu durum, KYTG (1992) tepe yangını model sonuçlarını önemli derecede etkilemektedir. Bu nedenle, Kanada ormanları için geliştirilen tepe yangını yayılma modelinin kızılçam ormanları için uygun olmadığı belirlenmiştir.

Rothermel (1991)'in tepe yangını yayılma modeli, aralama görmemiş parsellerdeki yangınlarda en yüksek RMSE (0,60) ve MBE (2,68) değerine sahip modeldir. Bu model, aralama görmemiş parsel yangınlarında en düşük EF (0,20) değerine sahip modeldir. Diğer iki modelde olduğu gibi, Rothermel'in modeli aralama sonrasında yangın davranışındaki değişimi yansıtacak yeterliliğe sahip olmadığı anlaşılmıştır. Ayrıca, aralama görmemiş parsellerde model tahminlerinin diğer iki modelin aksine oldukça düşük olduğu görülmüştür.



Şekil 68. Aktif tepe yangınlarının ölçülen ve tahmini yayılma oranı değerlerinin aralama durumuna göre dağılımı (sol taraf-aralama görmemiş, sağ taraf-aralama görmüş)



Şekil 69. Pasif tepe yangınlarının ölçülen ve tahmini yayılma oranı değerlerinin aralama durumuna göre dağılımı (sol taraf-aralama görmemiş, sağ taraf-aralama görmüş)

Rothermel (1991)'un tepe yangını modeli, Kuzey Amerika ormanlarında gerçekleştirilen çok sayıda deneme yangını ve doğal yangın sonuçları ile kıyaslandığında benzer şekilde düşük tahminler gerçekleştirdiği belirlenmiştir (Stocks vd., 2004; Cruz vd., 2005; Alexander ve Cruz 2006). Bu sonuçlar, Rothermel (1991) tepe yangını modelinin düşük tahminler yapma eğiliminde olduğunu ileri süren diğer araştırma sonuçlarını (Fule vd., 2001) ve Behave Plus (Andrews vd., 2005), FARSITE (Finney, 2004a), NEXUS (Scott ve Reinhardt 2001), FlamMap (Finney, 2006) gibi yangın davranışı tahmin sistemleri sonuçlarını doğrulamaktadır. Rothermel (1991) modelinin, gözlemlenen yangınlardaki yanma koşullarında meydana gelen değişimlere karşı duyarsız olduğu belirlenmiştir (Şekil 68 ve Şekil 69). Benzer sonuçların elde edildiği, Alexander ve Cruz (2006) tarafından yapılan çalışmada, bu durumun bazı koşullar için oldukça şüpheli sonuçları beraberinde getireceği vurgulanmıştır.

3.4. Deneme Yangınları Esnasında Gelişen Nokta Yangınları

DeneySEL tabanlı yangın araştırmaları, yöntem olarak arazide ve laboratuvarDA gerçekleştirilen deneme yangınlarını kullanmaktadır. Deneme yangınları, yangın öncesi yanıcı madde özelliklerinin belirlenmesine ve gerektiğinde bu özelliklerin değiştirilmesine imkân sağladığından, yangın davranışının anlaşılmasında çok değerli veri kaynakları olarak kullanılmaktadır. Özellikle arazi tabanlı deneme yangınları, doğal ortamlarda gerçekleştirildiğinden gerçek yangınların temsili niteliğindedir. Ancak bu tür deneme yangınları açık alanlarda meydana geldiğinden, oldukça masraflı, kontrolü zor ve sonuçları tehlikeli olabilmektedir. Arazi tabanlı deneme yangınları, tüm zorluklarına ve yaşanan olumsuzluklara karşın, denemelerden sağlanan verilerin yangın bilimine ve beraberinde uygulayıcılara sağladığı yararlar dikkate alındığında gerekliliği ve önemi günümüzde anlaşılmuştur (Küçük, 2004; Sağlam, 2005; Stocks vd., 2005; Albini vd., 2012).

şiddetli yangınlarda oluşan yoğun konveksiyon sütunu, ibre, dal ve kabuk gibi materyallerin rüzgâr yardımıyla uzak mesafelere kadar taşınmasını sağlar (Cruz vd., 2012). Konveksiyon sütunu ile kor halinde taşınan bu materyaller, düştükleri yerdeki yanıcı maddeleri tutuşturarak yangınlarının yeniden başlamasına ve yayılmasına neden olurlar. Nokta yangını olarak adlandırılan bu tür yangınlar, uygun şartlar oluştuğunda ana yangından bazen kilometrelerce uzakta yeni yangınlar başlatarak, yangının çok geniş bir alanda etkili olmasına ve daha hızlı ilerlemesine neden olur (Bilgili vd., 2010a; Bilgili vd.,

2010b Cruz vd., 2012). Bu nedenle, nokta yangınlarının oluşumu ve taşınabileceğın en uzak mesafenin belirlenmesi büyük önem arz eder (Albini, 1979; 1983; Venkatesh vd., 2000). Bilimsel çalışmalarda, deneme yangınlarının kullanılmaya başlandığı 1960'lı yıllardan bugüne kadar Amerika, Kanada, Avustralya gibi gelişmiş ülkelerde ve diğer pek çok ülkede çayırılık, makilik ve ormanlık alanlarda yüzlerce deneme yangını gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen deneme yangınlarından bazıları, gelişen nokta yangınlarının büyümesi ile kontrolden çıkarak, yüzlerce hektar orman alanının yanmasına neden olmuştur. Deneysel çalışmalarda, yangının kontrolden çıkması arzu edilmeyen bir durumdur. Ancak kaçan bazı deneme yangınları, devam eden ölçümler sayesinde, şiddetli yanma koşullarında elde edilmesi zor ve kıymetli verilerin sağlandığı büyük deneme yangınlarına dönüştürülebilmektedir. Ülkemizde deneme yangınları ilk olarak 1996 yılında makilik alanda gerçekleştirilen yangın davranış çalışması ile başlamış (Sağlam 2005), genç karaçam meşcerelerinde deneme yangınları (Küçük, 2004; Küçük vd., 2007a), kızılçam ve karaçam kesim artıkları ve örtü yangını denemeleri (Baysal, 2007; Küçük vd., 2007b) ile devam etmiştir (Küçük vd., 2010). Ulusal Yangın Tehlike Oranları Sisteminin kurulması aşamasında önemli bir altlık teşkil eden bu çalışmalarda kayıt altına alınmış herhangi bir kaçan yangın yaşanmamıştır. Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen deneme yangınlarında farklı mesafelere ulaşan dokuz adet nokta yangını meydana gelmiş ve kısa sürede fark edilerek kontrol altına alınmıştır. Ancak, son deneme yangınında meydana gelen nokta yangını, hızla artan ve yönü değişen rüzgâr koşulları nedeniyle kontrolden çıkarak büyümüş ve 58 hektar ormanlık alanda etkili olmuştur. Bu yangın ülkemizde ilk kaçan deneme yangını olma özelliği ile kayıtlara geçmiştir. Bu bölümde Kaçan yangın ile deneme yangınına dönüştürülen iki nokta yangınının büyüme, gelişme ve söndürülme süreçleri detaylı olarak ele alınmaya çalışılmıştır. Böylece, arazi çalışmaları sırasında elde edilen tecrübe, bilgi ve deneyimlerin paylaşımı ve kalıcılığı sağlanarak, uygulayıcılara ve yangın davranış bilimine katkıda bulunmak amaçlanmıştır.

3.4.1. Nokta Yangınları ve Kaçan Yangınlar

Genç kızılçam ağaçlandırma alanlarında birbirini izleyen dört yıl boyunca gerçekleştirilen 107 deneme yangınında 50 m ile 650 m arasında değişen mesafelerde taşınmış dokuz adet nokta yangını meydana gelmiştir (Tablo 41). Nokta yangını olarak başlayıp hat yangınına dönüşen iki yangında, kayıtların tutulmasına devam edilmiş bu

yangınlar birer deneme yangınına dönüştürülerek analizlere dâhil edilmiştir (Mrc 23, Mrc 24, Mrc 27 ve Mrc 31 deneme yangınları). Böylece, şiddetli yakma koşullarında yangın verileri kayıt altına alınabilmiş ve bu durum bir fırsata çevrilerek normal şartlar altında elde edilemeyecek boyutları oldukça büyük birer deneme yangını gerçekleştirilmiştir.

Tablo 41. Nokta yangınları oluşumuna neden olan deneme yangınları ve taşınma mesafeleri

Çalışma alanı	Deneme yangını	Yakma tarihi	Taşındığı mesafe (m)
Suluca	Slc 24	21.07.2005	100
Suluca	Slc 13	21.07.2005	50
Suluca	Slc 32	25.07.2005	75
Suluca	Slc 21	12.08.2005	75
Suluca	Slc 49	22.07.2006	200
Meriç	Mrc 8	27.07.2006	50
Meriç	Mrc 22	27.07.2006	60
Meriç	Mrc 31	04.08.2007	80
Meriç	Mrc 27	25.08.2007	850

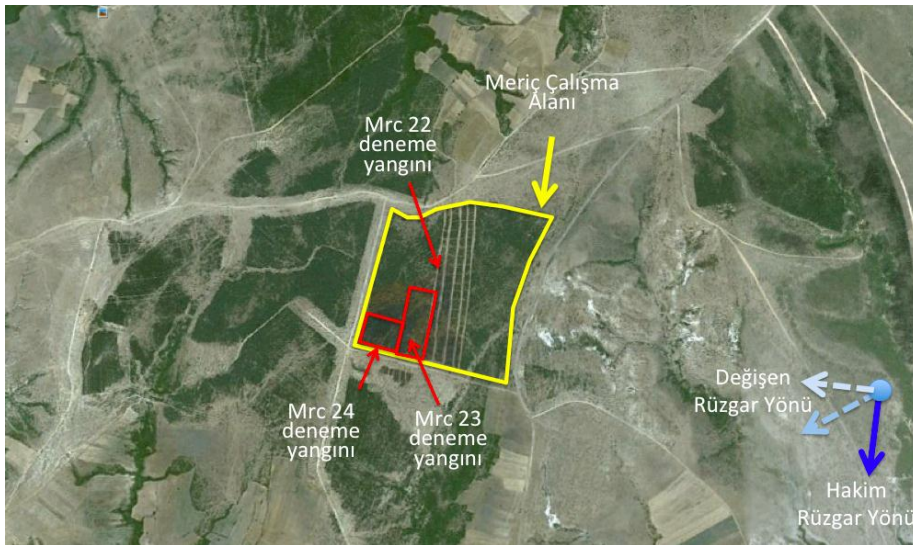
Yapılan gözlemlerde, nokta yangınlarının yaklaşık 15-20 dakika içinde hat yangınına dönüştükleri belirlenmiş ve bu zamandan sonra yangın yayılma oranı için kayıt alınmaya başlamıştır. Böylece, nokta yangınlarının hat yangınına dönüşüm süresini belirleyen çalışma sonuçları ile uyum gösterdiği anlaşılmıştır. Bu durum, yangınlarla mücadele önem taşıyan ilk 15 dakikalık zaman diliminin önemini bir kez daha doğrulamaktadır. Gözlemlenen nokta yangınlarından elde edilen bu veriler, mevcut yangın modellerinin doğruluğunun test edilmesinde kullanılabilir özelliktedir.

- Mrc 22 yangını sonrası gelişen nokta yangını

Meriç Küçükaltıağaç köyü yakınlarında yer alan çalışma alanında, 27 Ağustos 2006 yılında saat 15:48'de, yakılan ve aralama görmemiş bir parsel olan *Mrc 22* (rüzgâr hızı, 15.2 km/s, yayılma oranı 18.2) deneme yangını tamamlandıktan hemen sonra, 50 metre ileride komşu parselin kenarında meydana gelen nokta yangını rüzgâr yönünde gelişmeye başlamıştır. Kısa bir süre sonra, nokta kaynaklı bu yangın, genişliği 80 metre olan bir hat yangınına dönüşmüştür. Yangın başlangıcından itibaren kayıt tutulmaya devam edilmiş ve yangının hat yangınına dönüştüğü zaman kamera kayıtları ve arazide alınan notlar doğrultusunda tespit edilerek *Mrc 23* deneme yangını olarak veri tabanına eklenmiştir. *Mrc*

23 yangını 80 metre genişliğinde, 220 metrelik hat boyunca, blok orman parçasının sonuna gelinceye kadar devam etmiş ve veri tabanındaki en büyük boyutlara sahip deneme yangınından biri olmuştur. *Mrc 23* yangını, ortalama 15,5 km/s rüzgâr hızında, 12,9 m/dk yayılma oranı ile aktif tepe yangını olarak gerçekleşmiştir (Şekil 70).

Mrc 23 yangını parsel sonuna ulaştığında, hâkim rüzgâr yönünde 90 derecelik ani bir değişim meydana gelmiştir. Bunun sonucunda yangın, yanmamış orman parçasına doğru yeniden yayılmaya başlamış ve birkaç dakika içerisinde, 100 metre genişliğinde yeni bir hat yangınına dönüşmüştür. Bu yeni hat yangını 200 metre boyunca, blok orman parçasının diğer kenarına ulaşmaya kadar devam etmiş ve bu esnada kayıt alınmaya devam edildiğinden kaçan yangın büyük bir deneme yangınına dönüştürülebilmiştir. Bu yangın, *Mrc 24* deneme yangını olarak yangın veri tabanına dâhil edilmiştir. *Mrc 24* yangını, ortalama 19,8 km/s rüzgâr hızında, 18,5 m/dk yayılma oranı ile aktif tepe yangını olarak gerçekleşmiştir. Sonuç olarak, *Mrc 22* yangınında meydana gelen bir nokta yangınının büyüüp gelişmesi sonucunda kaçan yangın, *Mrc 23* ve *Mrc 24* deneme yangınları, deneme yangını veri setinde en büyük parsel boyutlarına sahip iki aktif tepe yangını olarak analizlere dâhil edilmiştir. Böylece, deneme yangınlarının parsel boyutları ile büyük boyutlardaki yangınların karşılaştırılma fırsatı yakalanmıştır. Buna göre, farklı parsel boyutlarındaki yangınlarda diğer özellikler benzer olması durumunda çok belirgin bir farklılığın olmadığı söylenebilir. Bu yangınlara ilişkin detaylı bilgi yukarıdaki bölümlerde verilmiştir.



Şekil 70. Meriç, Küçükaltıyağaç mevki, çalışma alanı ve çevresinden genel bir görünüm ve *Mrc 22* deneme yangını sonrasında gelişen nokta yangınının etkili olduğu alan

Mrc 22, 23 ve 24 deneme yangınları aralama görmemiş parsellerde birbiri ardına gerçekleştirilen, meşcere ve yanıcı madde özellikleri bakımından (kapalılık ve ölü örtü miktarı hariç) oldukça benzer yapıda olan yangınlardır. Ancak, bu üç yangında kapalılık ve ölü örtü miktarında bir farklılığın olduğu gözlemlenmiştir. Buna göre, Mrc 22 yangını daha yoğun meşcere kapalılığına (%90) ve daha fazla ölü örtü miktarına (1,178 kg/m²) sahiptir. Mrc 23 ve Mrc 24 yangınlarının meşcere kapalılığı sırasıyla %74 ve %68, ölü örtü miktarı 0,729 kg/m² ile 0,947 kg/m²'dir. Bu durumda aynı rüzgâr koşullarında (15 yakılan Mrc 22 ve Mrc 23 yangınlarında yayılma oranında meydana gelen farklılığın ölü örtü miktarı ve kapalılığın bir sonucu olduğu düşünülebilir. Ancak, her iki yangının rüzgâr hamlesi değerleri incelendiğinde yayılma oranı düşük olan Mrc 23 yangınında, rüzgâr hamlesinin diğer iki yangından oldukça yüksek olduğu (2,012) anlaşılmıştır. Dolayısıyla, aynı koşullarda gerçekleşen iki yangında, yayılma oranında meydana gelecek belirgin farklılığın rüzgâr hızında yaşanan ani değişimlerin bir sonucu olabileceği yönünde güçlü bir yargıya varılabilir. Mrc 22 ve Mrc 24 yangınlarında yayılma oranındaki farklılığın en belirgin nedeni ise diğer koşullarında neredeyse aynı olması nedeniyle, rüzgâr hızında meydana gelen artış olarak göze çarpmaktadır.

- Mrc 31 yangını sonrası gelişen nokta yangını

Meriç Küçükaltıağaç köyü yakınlarında yer alan çalışma alanında, 4 Ağustos 2007 yılında saat 17:04'de, yakılan Mrc 31 deneme yangını (parsel ebatları 50x33 m), oldukça hızlı ilerleyen ve yüksek şiddette yanan bir deneme yangını olmuş ve deneme yangını tamamlanmasından yaklaşık 10 dakika sonra, 80 metre ileride farklı bir parsel içerisinde bir nokta yangını fark edilmiştir. Aralamadan bir yıl sonra yakılan parsellerden biri olan Mrc 31 parselinin meşcere kapalılığı %77, ağaç boyu 7,2 m, tepe altı yüksekliği 1,5 m, ölü örtü miktarı 1,411 kg/m², tepe yanıcı madde miktarı 2,356 kg/m²'dir. Deneme yangının gerçekleştirildiği andaki sıcaklık 34,2 °C, bağıl nem %27, ölü örtü nemi %7,8, ibre nemi %157'dir. Mrc 31 deneme yangını, ortalama 20,6 km/s rüzgâr hızında yakılmış olmasına karşın, rüzgâr yönünde yaşanan kararsızlık nedeniyle, hat yangını olarak devam edememiş ve verev bir şekilde yanarak parsel sonuna 30 m/dk yayılma oranı ile ulaşmıştır. Yangın anında alev yüksekliği meşcere boyunun 2-2,5 katı üzerinde çıkmış ve yoğun kara duman eşliğinde oldukça şiddetli bir yanma gerçekleşmiştir. Ancak, rüzgâr hızındaki dalgalanma ve rüzgâr yönündeki kararsızlık nedeniyle yangın hat yangını olarak devam edemediğinden bu yangın analizlere dâhil edilmemiştir. Buna karşın, yüksek sıcaklık ve düşük yanıcı

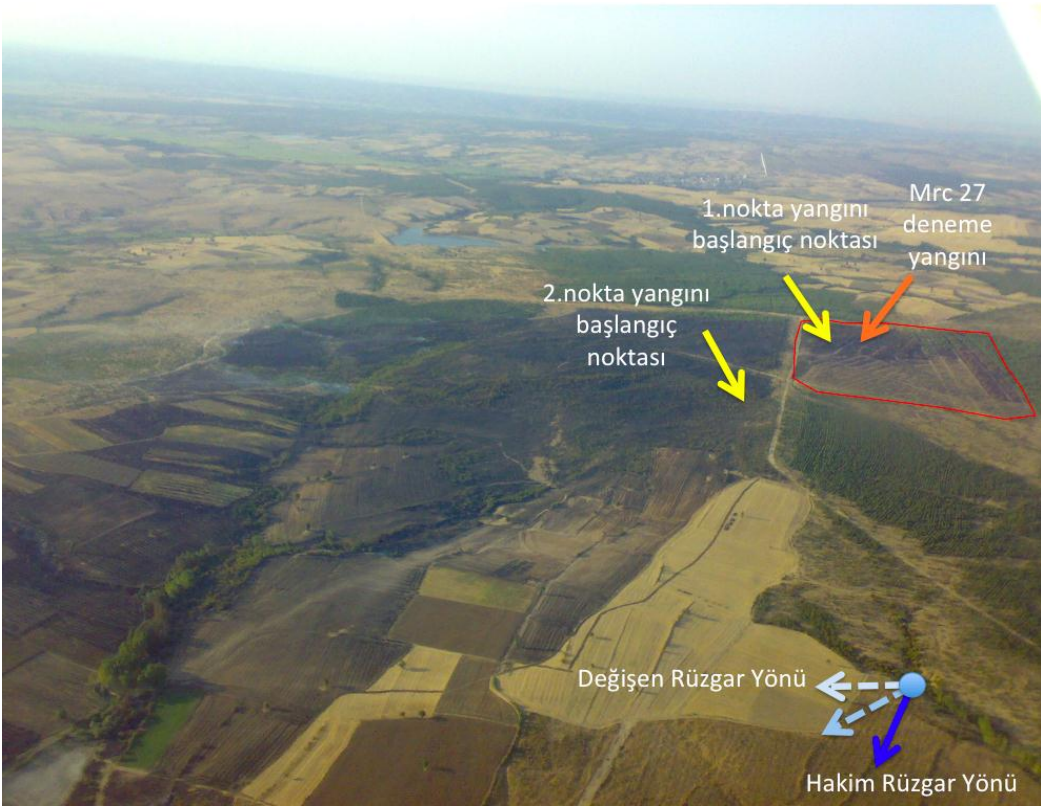
madde nem koşullarında yangının şiddeti, yayılma oranı ve yanıcı madde tüketimine ilişkin önemli ipuçları sunmaktadır. Ayrıca, bu yangın sonrasında meydana gelen bir nokta yangınının gelişim seyri ve hat yangınına dönüşmesine ilişkin önemli bulgular sağlamıştır. Mrc 31 deneme yangını tamamlandıktan birkaç dakika içinde parselin yaklaşık 80 metre ilerisindeki komşu parselde nokta yangını başlamış ve yangının başlangıcından itibaren kayıt alınmaya devam edilmiştir. Bu nokta yangını, ortalama 16 km/s rüzgâr hızında, 3,5 dakika içerisinde genişliği 35 metre olan bir hat yangınına dönüşmüş ve 80 metre boyunca ormanlık alanda etkili olmuştur. Mrc 34 deneme yangını olarak veri tabanına alınan ve analizlere dâhil edilen bu yangın, ortalama 14 km/s rüzgâr hızında, 20 m/dk yayılma oranı ile aktif tepe yangını olarak gerçekleşen ve oldukça şiddetli yanan bir parseldir. Mrc 34 deneme yangınına ilişkin detaylı bilgiler önceki bölümlerde verilmiştir.

- Kaçan Yangın: Mrc 27 yangını sonrası gelişen nokta yangını

Meriç Küçükaltıağaç Köyü yakınlarında yer alan çalışma alanında, 25 Ağustos 2007 yılında saat 12:30'de, Mrc 27 deneme yangını gerçekleştirilmiştir. Mrc 27 deneme yangını aralama görmüş bir parsel olup, yangın hava halleri bakımından veri tabanındaki en yüksek sıcaklık (39,5 °C), en düşük bağıl nem (%15) koşullarında ve en yüksek rüzgâr hızında (27,6 km/s) gerçekleştirilen ve yayılma oranı bakımından en yüksek değerin kaydedildiği (83 m/dk) deneme yangınıdır (Şekil 71, 72 ve 73). Mrc 27 deneme yangını oldukça şiddetli yanmış ve parselden yaklaşık 200-250 metre ileride komşu parselin yola yakın kenarına nokta yangını atmıştır. Bu nokta yangını, alanda hazır bekletilen arazöz ekipleri ile kontrol altına alınmaya çalışılmıştır. Ancak, rüzgâr yönünde yaşanan ani değişim ve rüzgâr hızındaki artmayla orantılı olarak, yanmamış orman alanı içerisinde yangın hızla ilerlemeye ve şiddetli yanmaya başlamıştır. Yangının ilerlediği orman alanının sonunda 100 metre genişliğinde bir yol şeridi ve onun bitiminde yeni bir ağaçlandırma blok alanı yer almaktadır. Yangının kontrol altına alınmaya çalışıldığı bu noktadan yaklaşık 800-850 metre ileride, genç karaçam ağaçlandırma blok sahası içerisinde, yoldan 80 metre içeriye nokta yangını atmıştır (Şekil 73). Bu ikinci nokta yangını, çevrede gözlem yapan yangın ekibi tarafından hemen tespit edilmesine karşın, mevcut yer ekipleri ile kontrolü zor olduğundan Keşan Orman İşletme Müdürlüğü'ne durum bildirilmiştir. Yaklaşık yarım saat içinde alana gelen hava ekipleri ile yangın kontrol altına alınmaya çalışılmıştır. Ancak, kısa bir süre yangına müdahale eden hava ekipleri, Keşan ilçesi çöplük mevkiinde çıkan ve Korudağ ormanlık alanını tehdit eden başka bir yangına sevk edilmek zorunda kalmıştır.



Şekil 71. Mrc 27 deneme yangını sonrasında gelişen 1. nokta yangınının başlangıç anı



Şekil 72. Mrc 27 deneme yangını sonrası gelişen nokta yangınlarının havadan görünümü. Kırmızı ile çevrili alan Meriç çalışma alanı sınırlarını göstermektedir.



Şekil 73. Mrc 27 deneme yangını sonrasında gelişen 2. nokta yangınının (a) hat yangınına dönüştüğü (b) karaçam ağaçlandırma bloğunda ilerlediği andan bir görünüm

Bunun sonucunda, deneme yangını sahasında kaçan yangın, sadece yerden müdahale ekipleri ile kontrol altına alınmaya çalışılmıştır. Karaçam blok sahasının etrafı anız tarlaları ile çevrili olması ve yanıcı madde neminin oldukça düşük, rüzgâr hızının yüksek olması sonucu yangın hızla ilerleyerek geniş alanda etkili olmuştur. Hava söndürme ekiplerinin 18:00 civarında tekrar yangın alanına gelmesi ile birlikte yer ekipleri ile ortaklaşa yürütülen söndürme çalışmaları sonucunda yangın 18:30 sularında yangın kontrol altına alınabilmiştir. Yangının kontrol altına alındığı genç karaçam meşcere bloğunda, geniş bir hat yangını oluşmuş ve oldukça şiddetli bir yanma gerçekleşmiştir (Şekil 73). Kaçan yangının hat yangınına dönüştüğü (Şekil 73) anlarda yükselen kara ve yoğun duman kütlesi, yanmanın oldukça şiddetli olduğu göstermektedir. Kaçan yangın sonrasında 58 hektar orman alanı etkilenmiştir. Bu yangın, ülkemizde orman yangınlarında deneme yangınlarının gerçekleştirilmeye başladığı süre içerisinde meydana gelen ilk önemli kaçan yangındır.

4. SONUÇLAR

Bu çalışma, genç kızılçam ağaçlandırma alanlarında aralamanın yangın davranışı üzerine olan etkilerini belirlemek amacıyla yapılmıştır. Gerçek arazi koşullarında 44'ü aralama görmüş ve 32'si aralama görmemiş 76 parselde gerçekleştirilen deneme yangınları sonucunda elde edilen bulgular; *i*) aralamanın yanıcı madde özellikleri üzerine etkileri, *ii*) aralamanın yangın davranışı üzerine etkileri *iii*) aralamanın yangın türü üzerine etkileri ve son olarak *iiii*) bazı yangın davranış modellerinin performanslarının değerlendirilmesine ilişkin sonuçlar başlıkları altında ele alınmıştır:

- Aralamanın yanıcı madde özellikleri üzerine etkileri

Aralamanın, yanıcı madde özellikleri ve meşcere yapısında önemli değişimler meydana getirdiği ve aralama görmemiş parsellere kıyasla aralarında belirgin farklılıklar olduğu belirlenmiştir. Aralama sonrasında, ölü örtü miktarı ve derinliğinin arttığı, merdiven yanıcı madde miktarı, meşcere kapalılığı ve tepe yanıcı madde miktarının azaldığı belirlenmiştir. Ayrıca, meşcere içi rüzgâr hızı ve güneşlenmenin artmasıyla birlikte yanıcı madde neminin azaldığı anlaşılmıştır. Aralama ile meşcerede potansiyel yanıcı madde miktarında bir azalmanın olmadığı buna karşın, yanıcı maddelerin tepeden örtüye geçerek yer değiştirdiği görülmüştür.

Aralama sonrasında en önemli değişim ölü örtü tabakasında meydana gelmektedir. Aralama ile ölü örtü tabakasında biriken kesim artıkları, ölü örtü yoğunluğunu ve derinliğini artırdığından örtü yangını potansiyeli ve davranışını değiştirebilmektedir. Özellikle kesim artıklarının ibre tutma oranı bunda önemli bir rol oynamaktadır. Aralamayı izleyen ilk yıllarda, kesim artıkları üzerinde %60-80 arasında değişim oranlarda ibre bulunduğu belirlenmiştir. Aralamadan sonraki ilk iki yılda meşcere içi kesim artıklarındaki ibre tutma oranında belirgin bir farklılığın olmadığı görülmüştür. Kesim artıkları ibre tutma oranı, türden türe, meşcere yapısına ve bulunduğu ortamdaki hava koşullarına bağlı olarak değişim gösterebilmektedir. Açık alanda bulunan kesim artıklarında ilk üç ayda ibrelerin %80 ile %90 oranında dallar üzerinde kaldığı, birinci yılın sonunda ibre tutma oranının %20'ye kadar düşebildiği bilinmektedir (Küçük vd., 2008, Bilgili vd., 2010a). Bu çalışmada, aralamayı takiben ilk yıllarda meşcere tepe çatısı altında bulunan kesim artıkları üzerinde oldukça yoğun miktarda ibre bulunduğu ve açık alanda bulunan kesim artıklarına kıyasla ibrelerin uzun süre dökülmeden dallar üzerinde kalabildiği anlaşılmıştır.

Örtü yangını davranışında, ölü örtü ile tepe yanıcı maddeleri arasındaki sürekliliği destekleyen merdiven yanıcı maddelerin rolü büyük önem taşır. Özellikle belli türlerde merdiven yanıcı madde oluşumu daha fazla olabilmektedir. Kızılçam, dallanma yapısı ve uzun ibre boyu nedeniyle, dökülen ibrelerin kolaylıkla ağaç üzerinde asılı halde kalabildiği, merdiven yanıcı madde oluşumunun diğer türlere nazaran daha yoğun olduğu bir türdür. Deneme yangını parsellerinde meşcere tepe altı boşluğunda önemli miktarda kuru dal ve bunlar üzerinde asılı halde bulunan döküntü ibre olduğu tespit edilmiştir. Aralama görmemiş parsellerde döküntü ibre miktarının aralama görmüş parsellere nazaran daha yoğun olduğu görülmüştür. Deneme yangını parsellerinde asılı halde bulunan döküntü ibre miktarının, aralamayı takip eden birinci ve ikinci yıllarda birbirinden farklı olduğu ve ikinci yılın sonunda özellikle kapalılığı düşük olan meşcerelerde döküntü ibre miktarının oldukça az olduğu belirlenmiştir. Aralama ile meşcere içi rüzgâr hızının artması, dökülen ibrelerin dallar üzerinde tutunmasını zorlaştırıcı bir unsur olabilir. Ayrıca, meşcere kapalılığının kırıldığı parsellerde, meşcere içerisine daha fazla ışık ve sıcaklık girdiğinden dökülen ibre miktarında bir azalma olabileceği düşünülmektedir.

Aralama sonrasında meydana gelen bir diğer önemli değişim, tepe yanıcı madde özelliklerinde görülür. Aralama ile meşcere tepe kapalılığının kırıldığı, tepedeki yatay yanıcı madde sürekliliği ve tepe yoğunluğunun (kg/m^3) azaldığı görülmüştür. Bununla birlikte, aralama görmüş parsellerin önemli bir kısmında, birim alana düşen tepe yanıcı madde miktarının (kg/m^2), ölü örtü miktarından daha az olduğu anlaşılmıştır. Bazı deneme yangını parsellerinde bu farkın iki katına kadar ulaşabildiği belirlenmiştir (Örneğin, Brg 9, 13, 16 ve Slc 48 deneme yangını parselleri) (Şekil 24 ve Şekil 25).

Sonuç olarak, aralama ile yanıcı madde özellikleri ve meşcere yapısında önemli farklılıklar meydana geldiği görülmüştür. Bu nedenle, meşcere yapısı ve yanıcı madde özelliklerinde meydana gelen değişimlerin, dinamik yanıcı madde modelleri ile zamansal ve konumsal olarak belirlenmesine ihtiyaç duyulmaktadır (Bilgili ve Methven, 1994; Bilgili, 1998a; Bilgili, 2003). Bu çalışmada, aralamanın yangın davranışında oluşturacağı değişimler, aralama görmüş ve görmemiş deneme yangını parsellerinin karşılaştırılması değerlendirilmesi ile belirlenmiş ve aşağıda açıklanmıştır.

- Aralamanın yangın davranışı üzerine etkileri

Gerçekleştirilen deneme yangınlarının yangın davranışını tahmin etmek için regresyon modelleri geliştirilmiştir. Geliştirilen regresyon modelleri yangın yayılma oranı, yanıcı madde tüketimi ve yangın şiddetini, yanıcı madde özellikleri ve hava hallerine bağlı

olarak tahmin eder. Tüm deneme yangınları toplu olarak değerlendirildiğinde, ortalama rüzgâr hızının yangın yayılma oranı üzerinde en etkili faktör olduğu ve aralarında üssel formda bir ilişkinin varlığı belirlenmiştir. Elde edilen bu sonuç, ibreli ormanlarda yapılan diğer çalışmalarla benzerlik göstermektedir (Pagni ve Peterson, 1973; Wolff *vd.*, 1991, Rothermel 1972; Beer 1993, Küçük 2004). Regresyon analizleri sonucunda, rüzgâr hızının tek başına, yangın yayılma oranındaki değişkenliğin %51,7'lik kısmını açıklayabildiği görülmüştür. Ayrıca, kısa zaman dilimi içerisindeki rüzgâr değişimlerinin, yangın yayılma oranında gözle görülür etkiler meydana getirdiği belirlenmiştir. Rüzgâr hızındaki ani yükselmelerin bir göstergesi olarak rüzgâr hamlesi-1 ve rüzgâr hızındaki dalgalanmaların bir göstergesi olarak rüzgâr hamlesi-2 değişkenleri hesaplanmıştır. Her iki değişkenin yangın yayılma oranı ile aralarında kuvvetli bir ilişkinin olduğu anlaşılmıştır. Rüzgâr hamlesinin artmasıyla (rüzgâr hızının istikrarlı olmaması) birlikte yangın yayılma oranının azaldığı belirlenmiştir. Böylece, yangın yayılma oranındaki değişkenliğin açıklanmasında, rüzgâr hızının yanı sıra, rüzgâr hamlesinin birlikte ele alınmasının çok daha sağlıklı ve güvenilir tahminler yapılmasına imkân sağladığı görülmüştür.

Diğer yandan, benzer rüzgâr hızlarında gerçekleştirilen deneme yangınlarında, farklı yayılma oranı sonuçlarının elde edildiği görülmüştür. Bu durum, rüzgârın yanı sıra yanıcı madde özelliklerindeki değişimin de yangın yayılma oranı üzerine etkili bir faktör olduğunu göstermektedir. Yangın yayılma oranı üzerine en etkili yanıcı madde özelliklerinden birisinin, ölü örtü miktarı olduğu anlaşılmıştır. Bunun en önemli nedeni, aralama sonucunda ölü örtü miktarında görülen değişimin, diğer yanıcı madde özelliklerindeki farklılıkların bir göstergesi ve bir sonucu olmasıdır. Diğer yandan, kapalılık, tepe altı yüksekliği, ölü örtü nemi ve ibre nem içeriğinin yangın yayılma oranı üzerinde etkili diğer yanıcı madde özellikleri olduğu belirlenmiştir. Buna karşın, rüzgâr hızının belli bir düzeyin üzerine çıktığı durumlarda, yanıcı madde özelliklerindeki farklılıkların yangın davranışı üzerine olan etkilerinin önemli oranda azaldığı ve rüzgârın tek başına hâkim güç olduğu anlaşılmıştır. Bu sonuç, günümüze kadar yapılan çalışmalarla benzerlik göstermektedir (Bilgili, 1991; Sağlam, 2005; Küçük, 2004; Stocks *vd.*, 2004; Cruz *vd.*, 2008; Cruz ve Alexander, 2013c).

Aralama durumuna göre deneme yangınları incelendiğinde, aralama görmüş parsellerde rüzgâr hızının yangın yayılma oranı üzerindeki hâkim etkisinin belirgin bir biçimde azaldığı belirlenmiştir. Aralama görmemiş parsellerdeki yangınlarda, rüzgâr hızı yayılma oranındaki değişimin önemli bir kısmını tek başına açıklarken ($R^2=0.822$),

aralama görmüş parsellerde yayılma oranındaki değişimin çok az bir kısmı ($R^2=38,7\%$) sadece rüzgâr hızı ile açıklanabilmektedir. Ancak, rüzgâr hızının yaklaşık 30 km/s'in üzerine çıktığı durumlarda aralamanın yangın yayılma oranında belirgin bir farklılığa neden olmadığı anlaşılmıştır. Mrc 27 yangını bu durumu destekler mahiyettedir. Bu sonuç, aralamanın yangın davranışı üzerindeki etkilerinin araştırıldığı diğer çalışmalarla uyum göstermektedir (Cruz vd., 2008, Butler vd., 2013, Mooney, 2013). Ayrıca aralama görmüş meşcerelerdeki yangın yayılma oranının aralama görmemiş parsellere kıyasla, rüzgâr hızındaki dalgalanmalara (Albini 1982a, Taylor vd., 2004) karşı çok daha duyarlı olduğu anlaşılmıştır. Bu durum, aralama sonrasında azalan tepe yoğunluğu ve tepe yanıcı madde sürekliliğinin, tüketilen yanıcı madde miktarını azaltması (Hirsch ve Pengelly, 1999) ve böylece yangın önündeki yanıcı maddelerin tutuşma süresini uzatarak, yangın yayılmasını yavaşlatmasının bir sonucu olduğu düşünülmektedir. Bunun yanı sıra, düşük rüzgâr hızlarında yakılan yangınlarda, rüzgâr hamlesinin daha yüksek olduğu görülmüştür. Özellikle, aralama görmüş parsellerin yangın yayılma oranındaki değişkenliğinin açıklanmasında, rüzgâr hızı ile birlikte rüzgâr hızındaki dalgalanmaların da dikkate alınmasının oldukça yararlı olacağı düşünülmektedir. Yanıcı madde nemi, yangınların başlaması, yayılması ve şiddetinde belirleyici rol oynayan önemli faktörlerden biridir. Bu çalışmada, ölü örtü ve canlı yanıcı madde nem içeriğinin yangın yayılma oranı üzerine etkisi kısmen belirlenebilmiştir. Ölü örtü neminin yayılma oranı üzerinde azaltıcı yönde bir etkisinin olduğu ve bu etkinin güç fonksiyonu olarak (aX^b) açıklanabildiği belirlenmiştir. Elde edilen bu sonuç, ölü örtü neminin yangın yayılma oranı üzerine etkisini laboratuvar ve arazi tabanlı deneme yangınları ile açıklayan çalışma sonuçları ile uyumludur (Catchpole vd., 1998a, Burrows, 1999). Canlı ibre neminin yangın yayılma oranı ve yangın türü üzerine etkili olduğu bir çok çalışma ile vurgulanmıştır (Van Wagner, 1968; Butler vd., 2004). Ancak Van Wagner'ın (1968) iki deneme yangının karşılaştırılmasına dayanan çalışması hariç, ibre nemi ile yangın yayılma oranı arasındaki ilişki, henüz arazi tabanlı deneme yangınları ile kanıtlanamamıştır (Alexander ve Cruz 2013c). Bunun en önemli nedeni, açık alan deneme yangınlarında, yayılma oranı üzerine diğer değişkenlerin etkisini sabit tutabilmenin ve ibre nem içeriğindeki değişkenliği yakalayabilmenin oldukça zor olmasıdır. İbre nem içeriğinin yangın davranışı üzerine etkisinin tam olarak belirlenebilmesi için, benzer yanıcı madde ve hava halleri koşullarında farklı ibre nem içeriğine sahip deneme yangınlarına ve özellikle doğal yangınların gözlemlenmesinden elde edilecek verilere ihtiyaç vardır. Bu çalışmada, canlı ibre nem içeriği ile yangın

yayılma oranı arasında azalan yönde bir ilişki olduğu görülmesine karşın, bu ilişkinin çok zayıf olduğu, ibre neminde meydana gelen değişime karşılık yangın yayılma oranında çok fazla bir değişim meydana gelmediği ve diğer değişkenlerin (örn. rüzgâr hızı) baskılayıcı etkisi sonucunda ibre nem içeriği etkisinin çok azaldığı görülmüştür. Elde edilen bu sonuç, ibre neminin yayılma oranı üzerindeki etkisinin çok az olduğunu (Cruz, 1999; Cruz vd., 2004; Cruz vd., 2006c, Alexander ve Cruz, 2013c) ifade eden çalışmalar ile uyum göstermektedir. Diğer yandan, ibre neminin yayılma oranı üzerindeki etkisinin, özellikle aralama görmemiş meşcerelerde daha belirgin olduğu anlaşılmıştır. Aralama görmemiş meşcereler, aralama görmüş meşcerelere kıyasla daha yüksek tepe yoğunluğuna sahiptir. Böylece aralama görmemiş meşcerelerde tepe yanıcı maddelerinin kuruyup, tutuşma sıcaklığına ulaşabilmesi için daha çok ısı enerjisine ihtiyaç duyulur (Alexander ve Cruz, 2013c). Bu nedenle, aralama görmemiş meşcerelerdeki canlı ibre neminin yayılma oranı üzerine etkisinin daha belirgin olduğu düşünülmektedir. Nitekim, yapılan yangın simülasyon model sonuçları, tepe yoğunluğu ve tepe altı yüksekliği fazla olan meşcerelerde, ibre nem içeriğinin yangın yayılma oranı üzerinde daha etkili olduğunu göstermektedir (Schaaf vd., 2007, Xanthopoulos ve Wakimoto, 1993; Butler vd., 2004, Cruz 1999; Cruz vd., 2004; Cruz vd., 2006c, Alexander ve Cruz 2013c; Finney, 2004b). Yapılan regresyon analizleri ile yanıcı madde tüketimi üzerine etkili olan yanıcı madde özellikleri araştırılmıştır. Toplam yanıcı madde miktarı ile yanıcı madde tüketimi arasında kuvvetli bir ilişkinin varlığı ortaya konulmuştur. Bunun yanında, ölü örtü miktarı, ortalama meşcere boyu, tepe altı yüksekliği, ölü örtü aktif yanıcı madde miktarı, ibre nem içeriği ve kapalılığın yanıcı madde tüketimi üzerinde etkili olduğu anlaşılmıştır. Yapılan deneme yangınlarında, aralamanın yanıcı madde tüketimi üzerindeki etkilerine ilişkin kesin bir yargıya varılamamıştır. Diğer yandan, deneme yangınlarının 48'inde ölçülebilen alev yüksekliğine bağlı olarak yangın şiddetini tahmin eden modelin rüzgâr hızına göre daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. Sadece 48 deneme yangınındaki yangın şiddetini tahmin etmek için, alev yüksekliği, ölü örtü miktarı, rüzgâr hamlesi-2 ve ibre nem içeriği ile birlikte değerlendirilmiş ve en iyi model elde edilmiştir. Ayrıca, merdiven yanıcı madde miktarı, canlı yanıcı madde miktarı, ölü örtü miktarı, kapalılık ve ibre nem içeriği gibi bazı yanıcı madde özellikleri ile yangın şiddeti arasındaki ilişkiler ortaya konulmuştur. Deneme yangınlarında alev uzunluğu ölçülemediğinden yangın şiddeti üzerine etkisi belirlenememiştir. Yangın şiddetindeki değişkenliğin belirlenmesinde, sadece rüzgâr hızının yeterli olmadığı, rüzgâr hamlesi değişkenlerinin birlikte ele alınması gerektiği

anlaşılmiştir. Yapılan deneme yangınlarında aralamanın yangın şiddeti üzerine etkisine ilişkin kesin bir yargıya varılamamıştır. Ancak, aralama görmüş parsellerde, alev yüksekliği ile yangın şiddeti arasında kuvvetli bir ilişki olduğu ve rüzgâr hızının yangın şiddeti üzerindeki hâkim etkisinin aralama görmemiş parsellere nazaran oldukça azaldığı görülmüştür. Aralama görmemiş parsellerde rüzgâr hızının yangın şiddetini arttırıcı yöndeki etkisinin daha kuvvetli olduğu anlaşılmiştir. Bu durum, yangın şiddetinin yangın yayılma oranının bir fonksiyonu olmasının bir sonucu olup, rüzgâr hızının yangın yayılma oranı üzerindeki etkisi ile yakından ilişkilidir. Bununla birlikte, aralama görmüş parsellerdeki yangın şiddetinin rüzgâr hamlesi-2 ile oldukça kuvvetli bir ilişkiye sahip olduğu ve rüzgâr hamlesi-2'nin artması durumunda yangın şiddetinin belirgin bir oranda azaldığı belirlenmiştir. Diğer yandan, aralama görmüş meşcerelerde meşcere kapalılığının artması, yangın şiddetinde üssel formda bir artma ile sonuçlanırken, aralama görmemiş meşcerelerde anlamlı bir ilişki tespit edilememiştir. Bununla birlikte, benzer meşcere kapalılığına sahip aralama görmüş ve görmemiş meşcerelerde yangın şiddeti bakımından herhangi bir artma veya azalma belirlenememiştir. Ancak, meşcere kapalılığı %85 ve üzerinde olan ve yüksek rüzgârlarda yakılan aralama görmüş meşcerelerdeki yangın şiddetinin aralama görmemiş meşcerelere oranla daha yüksek olduğu görülmüştür (örneğin, Brg 1, 2, 3 ve 4 deneme yangınları). Bu durum, aralama sonrasında oluşan yoğun ölü örtü birikiminin şiddetli örtü yangınları ile sonuçlanarak, yanıcı madde tüketimini artırmasının bir sonucu olduğu düşünülmektedir. Nitekim aralama görmüş parsellerdeki deneme yangınlarında, ölü örtü miktarındaki artışın, rüzgâr hızının artmasıyla birlikte yangın şiddetinde gözle görülür bir artışa neden olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle, aralama sonrasında ölü örtü birikiminin yoğun olduğu ($>3 \text{ kg/m}^2$) bölgelerde, yangın şiddetinin düşürülebilmesi için, meşcere kapalılığının %80'nin altında bulundurulmasının faydalı olacağı söylenebilir. Deneme yangınlarında, yangın yayılma oranının sağlıklı olarak tahmin edilmesi parsel ebatları ile yakından ilişkilidir. Bu çalışma kapsamında deneme yangınları, 30x50 m ile 100x220 m ebatlarında değişen parsel boyutlarında gerçekleştirilmiş ve küçük parseller düşük rüzgâr hızlarında, büyük parseller yüksek rüzgâr hızlarında yakılmıştır. Böylece, parsel boyutlarındaki farklılığın etkisi en aza indirilmeye çalışılarak, hat yangınının parsel sonuna kadar devam etmesi sağlanmaya çalışılmıştır. Bunun sonucunda, benzer yanıcı madde ve hava hallerinde gerçekleştirilen küçük ve büyük parsel boyutlarına sahip deneme yangınlarının yayılma oranlarında belirgin bir farklılığın olmadığı görülmüştür. Diğer yandan, bu çalışmada gerçek bir yangının yayılma oranını

ortaya koymaktan ziyade, genç kızılçam ağaçlandırma alanlarında ve benzer meşcerelerde, yanıcı madde ve hava hallerindeki farklılıkların yangın davranışında meydana getirdiği değişimleri ortaya koymak ve bu ilişkiyi sayısal olarak belirlemek amaçlanmıştır. Bu nedenle, deneme yangını parsel boyutlarından kaynaklanabilecek farklılıkların, yangın davranışını etkileyen faktörlerin karşılaştırılması olarak değerlendirilmesine engel teşkil etmediği ve çalışma amacını karşıladığı düşünülmektedir. Bunun yanı sıra, ülkemizin oldukça kırıklı arazi yapısına sahip olması ve benzer yapıda blok orman alanlarının bulunmasının zorluğu, büyük alanlarda hat yangınının korunabildiği deneme yangınlarının gerçekleştirilmesini engellemektedir.

- Aralamanın yangın türü üzerine etkileri

Deneme yangınlarında örtü ve tepe yangını davranışını etkileyen yanıcı madde ve hava halleri belirlenmeye çalışılmıştır. Örtü yangınları, karmaşık doğası gereği modellenmesi oldukça zor yangınlardır. Bu çalışmada örtü yangını olarak gerçekleşen deneme yangını sayısının az oluşu örtü yangını dinamiklerinin anlaşılmasını sınırlandırmıştır. Ayrıca, gerçekleştirilen deneme yangınlarında aralama görmüş parsellerde 7 örtü yangını, aralama görmemiş parsellerde ise 2 örtü yangını meydana geldiğinden, aralamanın örtü yangını davranışı üzerine etkisi ile ilgili kesin bir yargıya varılamamıştır. Ancak, elde edilen verilere dayanarak örtü yangınlarında yayılma oranını tahmin eden regresyon modelleri geliştirilmeye çalışılmıştır. Örtü yangını davranışında meşcere içi rüzgâr hızının oldukça etkili bir faktör olduğu bilinmektedir (Andrews, 2012). Yapılan regresyon analizleri sonucunda, açık alan ve meşcere içi rüzgâr hızı ile örtü yangını yayılma oranı arasında bir ilişki belirlenmemiştir. Buna karşın, rüzgâr hızındaki dalgalanmaların örtü yangını yayılma oranını oldukça etkilediği anlaşılmıştır. Özellikle düşük rüzgâr hızlarında rüzgâr hamlesinin artması bu sonucun daha iyi görülmesine neden olduğu düşünülmektedir. Bununla birlikte, tepe yoğunluğunun tepe altı yüksekliğine bölümünden elde edilen sanal değişkenin, örtü yangını yayılma oranı tahminlerini güçlendirdiği anlaşılmıştır. Bu durum, tepe yoğunluğu ve tepe altı yüksekliğine bağlı olarak meşcere içi rüzgâr hızında bir artma ve yanıcı madde neminde bir azalmanın sonucu olabilir. Tepe yangını olarak gerçekleşen 67 deneme yangını üzerinde gerçekleştirilen regresyon analizleri sonucunda, aktif ve pasif tepe yangını yayılma oranı üzerine etkili olan yanıcı madde ve hava halleri belirlenmeye çalışılmıştır. Buna göre, aktif ve pasif tepe yangınlarının birbirinden oldukça farklı yangın dinamiklerine sahip oldukları anlaşılmıştır. Aktif tepe yangınlarında rüzgâr hızının yayılma oranı ile oldukça kuvvetli bir ilişki

gösterdiği, pasif tepe yangınlarında ise daha zayıf bir ilişkiye sahip olduğu görülmüştür. Bu durum, pasif tepe yangınlarında yanıcı madde özelliklerinin yangın davranışı üzerine etkilerinin aktif tepe yangınlarına kıyasla daha ön plana çıkabildiğini göstermektedir. Her iki yangın türünde yayılma oranı üzerinde, rüzgâr hızı ve rüzgâr hamlesi ile birlikte, tepe yoğunluğu, kapalılık, ölü örtü miktarı, ölü örtü nemi, ibre nemi ve tepe altı yüksekliğinde yer alan döküntü ibre miktarının etkili olduğu belirlenmiştir. Ancak, pasif tepe yangınlarının aktif tepe yangınlarına göre modellenmesinin daha zor olduğu anlaşılmıştır. Bu nedenle, ideal bir tepe yangını yayılma modelinin geliştirilebilmesi, örtü ile tepe yangınları arasındaki geçişi açıklayabilen ve aktif ile pasif tepe yangınları arasında ayrımı gerçekleştirebilen bir model ile sağlanabilir. İdeal bir tepe yangını modelinin geliştirilmesi için örtü ve tepe yangını yayılma oranına ilişkin farklı eşitliklerin bir araya getirilerek, bu iki farklı yangın türü arasındaki geçişleri en iyi şekilde açıklayan modelin “ikili formül” modelleme yaklaşımı ile tesis edilmesi gerekmektedir. Ayrıca, geliştirilecek modelin, yanıcı madde özelliklerindeki değişime karşı duyarlı olması önem taşımaktadır.

Aralamanın tepe yangını türü üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla regresyon modelleri geliştirilmiştir. Aralama görmemiş parsellerdeki pasif tepe yangını sayısının yetersiz oluşu nedeniyle, aralama görmemiş parselde sadece aktif tepe yangınlarına ilişkin regresyon modelleri geliştirilebilmiştir. Buna göre, aralama görmüş ve görmemiş deneme yangınlarında aktif ve pasif tepe yangınlarının yayılma oranındaki değişkenliği, farklı yanıcı madde ve meteorolojik değişkenlerle açıklanabildiği görülmüştür. Aralama görmüş parsellerde rüzgâr hızı, aralama görmemiş parsellere nazaran yayılma oranındaki değişkenliği açıklamada yetersiz kalmıştır. Rüzgâr hızı ile birlikte tepe altı yüksekliği modele eklendiğinde, aralama görmüş parsellerdeki aktif tepe yangınları yayılma oranı çok daha iyi açıklanabilmiştir. Aralama görmüş ve görmemiş meşcerelerdeki deneme yangınları yayılma oranı değişkenliğinin en iyi açıklanabildiği model, rüzgâr hızı, rüzgâr hamlesi-2, ölü örtü miktarı ve meşcere kapalılığı değişkenlerinden oluşan denklem olduğu görülmüştür.

Bu çalışma kapsamında deneme yangını analizlerine ilave olarak, bir tepe yangının pasif veya aktif tepe yangını olacağını tahmin etmek ve aktif tepe yangını üzerinde değişkenlerin etkisini görebilmek amacıyla, lojistik regresyon modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen lojistik regresyon denklemi ile pasif tepe yangınları %82, aktif tepe yangınları %96 ve toplamda %91 oranında doğru sınıflandırma yüzdesi yapılabilmektedir. Elde edilen lojistik regresyon modelinin Nagelkerke R^2 değeri %62,6'dır.

Sonuç olarak, genç kızılçam ağaçlandırma alanlarında yangın davranışına ilişkin gözlemlenen bu sonuçlar, 750-5000 m² büyüklüğündeki düz alanlarda hat yangını olarak ilerleyen yangılara aittir. Bu nedenle ortaya konulan yangın davranış modelleri, benzer şartlardaki meşcereler için kullanılabilir. Statik çalışmaların hiçbiri, kendi çalışma sınırlarının dışındaki şartlarda doğru sonuçlar vermez. Bu çalışma sonuçları, gerek yanıcı madde özellikleri gerekse hava halleri açısından büyük farklılıkların olduğu alanlarda kullanılırken, aynı derecede sağlıklı sonuçlar vermeyebileceği göz önünde bulundurulmalıdır. Farklı hava halleri ve yanıcı madde özelliklerinde yapılacak bu tür çalışmaların sayısının artmasıyla birlikte, elde edilecek başarı oranının artacağı düşünülmektedir. Yangın davranışı üzerine etkili olan hava halleri ve yanıcı madde özelliklerinin karşılaştırmalı etkilerinin ortaya konulması ve kapsamlı modellerin geliştirilmesinde bu çalışmanın oldukça önemli bir boşluğu dolduracağı düşünülmektedir.

- Bazı Yangın davranış modellerinin performansına ilişkin sonuçlar

Bu çalışmada, Van Wagner (1977) ve Alexander'ın (1998) yangın başlama modelleri ile Cruz'un (2004) tepe yangını oluşum modeli, gerçekleştirilen tepe yangınları ile test edilmiştir. Alexander (1998) ve Van Wagner'ın (1977) tepe yangını başlama modelleri, farklı yangın dinamiklerine dayandırılmasına karşın, her iki modelde, örtü yangını şiddeti ve tepe altı yüksekliği tepe yangını başlamasında önemli iki faktördür. Genç kızılçam ağaçlandırma alanlarında tepe altı yüksekliğinin oldukça düşük olması ve örtü yangını şiddetinin yüksek olması bu modellerin başarısını arttırmıştır. Ancak, bu iki tepe yangını modeli, örtü yangını olarak gerçekleşen 9 deneme yangınının yaklaşık yarısını tepe yangını olarak tahmin etmişlerdir. Cruz ve arkadaşlarının (2006) tepe yangını oluşum modeli ise bir lojistik regresyon modeline dayanmaktadır ve tepe yangınlarının neredeyse tamamını doğru tahmin etmiştir. Ancak tüm örtü yangınlarını, tepe yangını olarak tahmin etmiştir. Bu durum, Cruz'un (2006) modelinin aralama vb. yanıcı madde müdahaleleri sonucunda değişen yanıcı madde özelliklerine karşı duyarlı olmadığını göstermektedir.

Van Wagner'ın (1977) tepe yangını modeli aynı zamanda basit bir eşitlik ile (Eşitlik 3) aktif ve pasif tepe yangını ayrımını yapabilmektedir. Tek bir deneme yangını sonucuna dayandırılan, kritik yayılma oranı değeri (3/tepe yoğunluğu), bugüne kadar pek çok yangında test edilmiş ve oldukça başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Ancak, genç kızılçam ağaçlandırma alanlarında kritik yayılma oranının Van Wagner'ın belirlediği değer (3/tepe yoğunluğu), çok altında olduğu (1/tepe yoğunluğu) belirlenmiştir. Elde edilen bu sonucun nedeni, tam olarak izah edilememiştir. Ancak, bu durumun kızılçamın tepe yapısı

özellikleri ve asılı haldeki döküntü ibre miktarından kaynaklandığı düşünülmektedir. Kızılcımda doğal dal budanması sonucu kuruyan dallar uzun yıllar tepe altı boşluğunda kalabilmektedir. Yapılan ölçümlerde, meşcere kapalılığına ve tepe yoğunluğuna bağlı olarak, tepe altı boşluğunda yoğun bir döküntü ibre miktarının asılı halde bulunduğu belirlenmiştir. Kızılcım ibrelerinin karaçam vb. türlere nazaran uzun ve ince yapıda oluşu ve ince dal oranının fazla oluşu bu durumu kolaylaştırmaktadır (Neyişçi, 1989). Ülkemizde yangına hassas bölgelerde yayılış gösteren karaçam ile kıyaslandığında bu türün 0,3 mm kalınlığında ince dal oranının yok denecek kadar az olduğu ve ibrelerin daha kalın ve dallar üzerindeki dizilişinin çok daha yoğun olduğu görülmektedir. Kızılcımda tepe altı boşluğundaki döküntü ibre birikiminin, dikey yanıcı madde sürekliliğini koruyarak, örtü yangınlarının tepe yangınlarına dönüşmesini kolaylaştırdığı düşünülmektedir. Ayrıca, kızılcımda bu çalışma kapsamında ve diğer çalışmalarda (Küçük ve Bilgili, 2008) yapılan biokütle ölçümlerinde ağaç üzerindeki 0,3 mm ile 0,6 mm kalınlıktaki ince dalların yaklaşık olarak ibre miktarına yakın olduğu görülmüştür. Sonuç olarak, kızılcımın diğer türlere göre daha az bir tepe yoğunluğu ve daha düşük yayılma oranı değerlerinde aktif tepe yangını olarak yayılabilmesinin asıl nedenlerinin yapılacak yeni çalışmalarla ortaya konulmasına ihtiyaç vardır. Orman yangınlarında örtü yangınlarının tepe yangınlarına dönüşmesinde asılı halde bulunan döküntü ibre, kuru dal, kabuk ve liken gibi taşıyıcı yanıcı maddelerin etkinliği ve rolünün olduğu bilinmesine karşın, bu etkinliğin sayısal sonuçları henüz tam olarak ortaya konulabilmiş değildir. Bu çalışmada konu ile ilgili bazı sayısal bulgular elde edilmiştir. Ancak merdiven yanıcı maddelerin yangın davranışı üzerindeki, özellikle tepe yangınlarının başlaması üzerindeki etkinliğinin yapılacak çalışmalarla belirlenmesi gerekmektedir. Dünya genelinde yangın amenajman uygulamalarında kullanılan üç farklı aktif tepe yangını yayılma oranı modelinin (Rothermel, 1991; Forestry Canada Fire Danger Group, 1992; Cruz vd., 2005) tahmin kapasiteleri gerçekleştirilen deneme yangınları ile belirlenmiş ve karşılaştırmaları yapılmıştır. Buna göre, Rothermel'in (1991) modeli gözlemlenen sonuçlardan daha düşük tahminler yapmıştır. Rothermel'in tepe yangını yayılma modelinin farklı yanıcı madde özelliklerindeki yangınlar için benzer şekilde düşük tahminler yaptığı bilinmektedir (Cruz vd., 2010, Scott, 2006; Van Wilgen vd., 1985). Gözlemlenen tepe yangınlarının yayılma oranını en iyi tahmin eden modelin Cruz ve arkadaşları tarafından geliştirilen model olduğu belirlenmiştir.

Kanada ormancılık grubu (KYTG) tarafından geliştirilen yangın yayılma modeli

(Forestry Canada Fire Danger Group 1992), Van Wagner (1977) tarafından belirlenen kritik örtü yangını şiddetini dikkate alarak, tüketilen ölü örtü miktarına göre örtü yangını yayılma oranı hesaplar. Yapılan incelemede, Van Wagner tarafından geliştirilen kritik örtü yangını şiddeti modelinin ibre nem içeriğindeki değişimlere karşı oldukça duyarlı olduğu ve modelin Kanada ormanları için (ibre nemi %80-130 arasında değişim gösterir) tasarlanmış olmasının, kızılçam deneme yangınlarında kullanımını sınırlandırdığı sonucuna varılmıştır. Canlı yanıcı madde nemi, vejetasyon dönemi öncesinde en düşük seviyelerdedir ve hava hallerindeki değişimlerden pek etkilenmez. Çalışmanın yapıldığı birbirini izleyen dört yıl boyunca, deneme yangınlarındaki canlı ibre neminin %132 ile %409 arasında oldukça geniş bir yelpazede dağıldığı gözlenmiştir. İbre nem içeriğindeki bu değişimin nedeni; deneme yangınlarının vejetasyon dönemi içerisinde gerçekleştirilmiş olması veya deneme yangını öncesinde canlı ibre neminin belirlenmesi için ağaç üzerinden alınan ibre örneklerinin farklı yaşlarda olması ile ilgili olabilir. Ancak, her iki durumda da genç kızılçam ağaçlandırma alanlarında ibre nem içeriği Kanada ormanları için belirlenen ve çoğunlukla vejetasyon dönemi dışında meydana gelen yangınlar için kullanılan ibre nemi aralığının oldukça üzerindedir. Bu durum, KYTG tarafından geliştirilen yangın yayılma modelinin gerçekleştirilen deneme yangınları için kullanımını zorlaştırmıştır. Bu sorun, tüm yangınlar için ibre nemi %132 alınarak giderilmeye çalışılmıştır. Bir sonraki aşamada hesaplanan tepe yanma oranı (en düşük sıfır değerini alabilir), ölü örtü miktarı fazla olan bazı parsellerde sıfırın altında değerler almıştır. Dolayısıyla, KYTG (1992) modelinin, aralama gibi tepe ve ölü örtü yanıcı maddelerinin yer değiştirmesiyle meydana gelen değişimlere karşı duyarlı olmadığı anlaşılmıştır. Bu durum Kanada Yangın Tehlike Oranları Sisteminde (Hirsch, 1996) sabit yanıcı madde modellerinin kullanılmasından kaynaklanmaktadır. Arazi tabanlı deneme yangınlarında kaçan yangınların meydana gelmemesine azami özen gösterilmelidir Buna karşın deneme yangınlarının doğaya açık olarak gerçekleştirilmesi kontrolü zorlaştırdığından bazı çalışmaların kaçan yangınlarla sonuçlandığı bilinmektedir. Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen deneme yangınlarında bir adet kaçan yangın meydana gelmiş ve 58 hektar ormanlık alanda etkili olmuştur. Bu yangın ülkemizde ilk kaçan deneme yangını olma özelliği ile kayıtlara geçmiştir.

Sonuç olarak elde edilen bulgular, yangın tabiatının daha iyi kavranması ve yayılma oranını etkileyen değişkenlere ilişkin belirsizliklerin giderilmesi ve serbest yayılma eğiliminde olan orman yangınlarında, tepe yangını oluşumu gibi dinamiklerin daha iyi anlaşılabilmesinde oldukça önemli katkılar sağlayacaktır.

5. ÖNERİLER

Aralama görmüş genç kızılçam ağaçlandırma alanlarında yangın davranışını ele alan bu çalışma kapsamında, gerçek arazi koşullarında kızılçam ağaçlandırma alanlarında deneme yangınları gerçekleştirilmiş ve yangın davranış analizleri yapılmıştır.

Günümüzde orman yangınları ile etkin ve ekonomik mücadelenin bir gereği olarak karar destek sistemlerinin kurulması ve kullanılması kaçınılmaz olmuştur. Ülkemizde, bir karar destek sistemi olarak Ulusal Yangın Tehlike Oranları sisteminin kurulmasına ilişkin ilk çalışmalar yaklaşık on yıl önce maki tipi yanıcı maddelerde gerçekleştirilen deneme yangınları ile başlamış ve ardından genç karaçam meşcerelerinde deneme yangınları çalışmalara hız verilmiştir (Küçük vd., 2009b; 2010). Bu çalışma ile kızılçam meşcerelerinde ilk deneme yangınları gerçekleştirilmiş ve yangın davranışının belirlenmesine ilişkin önemli bir veri tabanı elde edilmiştir. Ancak, farklı yanıcı madde tiplerinde, hava halleri ve topoğrafyadaki değişimin yangın davranışındaki etkilerini açıklayan ve yanıcı madde müdahalelerinin sonuçlarını kapsamlı olarak ortaya koyabilen yeni çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

Yangın davranışının arazi tabanlı deneme yangınları ile belirlenmesi güçlü bir organizasyonu gerekli kılar ve gerçekleştirilmesi oldukça zor, zaman alıcı ve masraflıdır. Ayrıca, deneme yangınlarında parsel boyutlarının oransal olarak küçük tutulması ve olağanüstü hava halleri etkilerinin ortaya konulamaması gibi çalışma kısıtlarının bulunması nedeniyle, doğal yangınların izlenmesi ve kayıt altına alınması yangın davranışı tahmin çalışmaları açısından çok büyük önem arz etmektedir. Bu tür yangınlarda olağanüstü hava halleri ve farklı yanıcı madde özellikleri yakalanarak çok önemli bulgular elde edilebilir. Bu amaçla, belli bölgelerde özel yangın ekipleri oluşturularak çıkan yangınların kayıt altına alınması sağlanabilir.

Yapılan çalışmada aralama görmüş ve görmemiş meşcerelerde, yangın davranışı üzerine etkili olan faktörlerin etki derecelerinin farklılık arz ettiği belirlenmiştir. Aralamayı izleyen bir-iki yılda, ölü örtü miktarındaki fazlalık ve kesim artıkları ibre tutma oranının yüksek oluşu örtü yangını şiddetinin artması ile sonuçlanmaktadır. Bu durum, uygun hava hallerinde tepe yangını başlama potansiyelini arttırmaktadır. Özellikle yangın riskinin yüksek olduğu aralama görmüş alanlarda belli bir koruma zonu oluşturularak budama yapılması, tepe yangını oluşumunu azaltacaktır.

Elde edilen verilere göre, genç kızılçam meşcerelerinde tepe yangınlarının başlaması ve yayılması, diğer türlere nazaran (örn. karaçam) daha düşük tepe yanıcı madde miktarı ile gerçekleşebilmektedir. Bu durum, yapılan çalışmadan elde edilen verilerle tam olarak izah edilememiştir. Kızılçamdaki bu özel durumun sebepleriyle birlikte ortaya konulabilmesi için kızılçamın fizyolojik yapısı ve kimyasal özellikleri ile meşcere yapısının diğer türlerle karşılaştırılmalı olarak incelendiği yeni çalışmalara ihtiyaç vardır. Ayrıca, yapılan bu çalışma kapsamında kızılçamda yoğun olarak görülen asılı haldeki döküntü ibre ve ağaç üzerindeki kuru dal miktarının tepe yangınları oluşumu üzerine etkilerinin detaylı olarak ele alınması gerekmektedir.

Gerçekleştirilen deneme yangınlarında aktif ve pasif tepe yangınlarının farklı yangın dinamiklerine sahip oldukları, bu nedenle, “ikili denklem” modelleme mantığı ile ele alınmalarının daha doğru olacağı anlaşılmıştır. Özellikle kapsamlı bir tepe yangını modelinin geliştirilebilmesinde bu tür modelleme yaklaşımının kullanılması gerektirmektedir (Van Wagner 1985). Böylece, yangın yayılma oranındaki değişkenliğin açıklanmasında daha güvenilir tahminler yapılmasına imkân sağlanmış olacaktır. Nihai amacı yanıcı madde özelliklerine müdahale ederek yangın davranışını ve beraberinde yangın rejimini değiştirmek olan yanıcı madde amenajmanı planlamalarında, bu değişkenlerin dikkate alınması önem taşımaktadır. Ayrıca, yanıcı madde özellikleri ve meşcere dinamiklerini değiştiren aralama, budama vb. silvikültürel müdahalelerin zamansal ve konumsal dağılımının yangın davranışı üzerindeki etkilerinin araştırılması (, uygulayıcılara karar verme aşamasında büyük oranda kolaylık sağlayacaktır. Yanıcı madde özelliklerinin değiştirilmesiyle beraber, yayılma oranında ve yangın şiddetinde azalma sağlanabildiğinde, yangınlarla daha etkin, ekolojik ve ekonomik mücadelenin yolu açılmış olacaktır (Reinhardt vd., 2008).

6. KAYNAKLAR

- Agee, J.K. 2007. A simulation study of thinning and fuel treatments on a wildland–urban interface in eastern Oregon, USA. Landscape and Urban Planning. Volume 80, Issue 3, 30 April 2007, Pages 292–300.
- Agee, J.K. ve Lolley M.R., 2006. Thinning and prescribed fire effects on fuels and potential fire behavior in an eastern Cascades forest, Washington, USA. Fire Ecology 2(2): 3-19
- Agee, J.K. ve Skinner, C.N., 2005. Basic principles of forest fuel treatment. Forest Ecology and Management, 211, 83-96.
- Agee, J.K., 1996. The influence of forest structure on fire behaviour. In Proceedings of the 17th Annual Forest Vegetation Management Conference, Redding, California, January 16–18, 1996. pp. 52–67.
- Agee, J.K., Bahro, B., Finney, M.A. Omi, P.N., Sapsis, D.B. Skinner, C.N., Van Wagtendonk J.W. ve Weatherspoon, C.P., 2000. The use of shaded fuel- breaks in landscape fire management. Forest Ecology and Management 127:55–66.
- Agee, J.K., Wright, C.S., Williamson, N. ve Huff, M.H., 2002. Foliar moisture content of Pacific Northwest vegetation and its relation to wildland fire behavior. Forest Ecology and Management. 167: 57-66.
- Albini, F.A. ve Reinhardt, E.D., 1995. Modeling the ignition and burning rate of large woody natural fuels. Intl. J. Wildl. Fire 5(2): 81-92.
- Albini, F.A. ve Robert, G., 1979. Estimating windspeeds for predicting wildland fire behavior. Res. Pap. INT-221. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station. 12 p.
- Albini, F.A., 1979. Spot fire distance from burning trees-a predictive mode l. USDA For. Servo Gen. Tec h. rtepIntermt. For. and Range Exp . Stn., Ogde n, Utah. INT -56, 73 p.
- Albini, F.A., 1981. A model for the wind-blown flame from a line fire. Combust. Flame, 43: 155-174.
- Albini, F.A., 1982. Response of free-burning fires to non-steady wind. Combustion Science and Technology 29, 225–241.
- Albini, F.A., 1983. Potential spotting distance from wind-driven surface fires. USDA Forest Service Research Paper INT-309, April 1983, 27 p.

- Albini, F.A., Alexander M.E., Cruz, M.G., 2012. A mathematical model for predicting the maximum potential spotting distance from a crown fire. International Journal of Wildland Fire 21(5): 609-627.
- Alexander M.E., Mutch R.W., Davis K.M. ve Bucks C.M., 2012. Wildland fires: Dangers and Survival. Chapter 12 (Modified from Cottrell WH: the book of fire, ed, 2, Missoula, Mont, 2004, Mountain Press Publishing Co.)
- Alexander, M.E. ve Cruz M.G., 2006. Evaluating a model for predicting active crown fire rate of spread using wildfire observations. Canadian Journal of Forest Research 36: 3015-3028.
- Alexander, M.E. ve Cruz, M.G., 2011. Crown fire dynamics in conifer forests. In 'Synthesis of Knowledge of Extreme Fire Behavior: Volume 1 for Fire Managers'. USDA Forest Service, Pacific Northwest Research Station, General Technical Report PNW-GTR-854, pp. 107–142.
- Alexander, M.E. ve Cruz, M.G., 2012a. Graphical aids for visualizing Byram's fireline intensity in relation to flame length and crown scorch height. Forestry Chronicle 88: 185-190.
- Alexander, M.E. ve Cruz, M.G., 2012b. Interdependencies between flame length and fireline intensity in predicting crown fire initiation and crown scorch height. International Journal of Wildland Fire 21: 95–113.
- Alexander, M.E. ve Cruz, M.G., 2012c. Modelling the effects of surface and crown fire behaviour on serotinous cone opening in jack pine and lodgepole pine forests. International Journal of Wildland Fire 21: 709 -721.
- Alexander, M.E. ve Cruz, M.G., 2013a. Limitations on the accuracy of model predictions of wildland fire behaviour: A state-of-the-knowledge overview. The Forestry Chronicle Vol. 89/3, p. 3.
- Alexander, M.E. ve Cruz, M.G., 2013b. Are the applications of wildland fire behaviour models getting ahead of their evaluation again? Environmental Modelling and Software 41: 65-71.
- Alexander, M.E. ve Cruz, M.G., 2013c. Assessing the effect of foliar moisture on the spread rate of crown fires. International Journal of Wildland Fire 22: 22: 415-427.
- Alexander, M.E. ve Cruz, M.G., 2014. Chapter 9: Crown fire dynamics in conifer forests. in Synthesis of Knowledge of Extreme Fire Behavior: Volume 2 for Fire Behavior Specialists, Researchers and Meteorologists. USDA For. Serv., Pac. Northwest Res. Stn., Portland, OR. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-891. In press.
- Alexander, M.E. ve De Groot, W.J., 1988. Fire behaviour in jack pine stands as related to the Canadian Forest Fire Weather Index (FWI) System. Canadian Forestry Service, Northern Forestry Centre, Edmonton, AB. Poster with text.
- Alexander, M.E. ve Lanoville, R.A., 1987. Wildfires as a source of fire behaviour data: a case study from Northwest Territories, Canada. In Conference Papers, Ninth

- Conference on Fire and Forest Meteorology. pp. 86–93. American Meteorological Society, Boston, MA.
- Alexander, M.E. ve Lanoville, R.A., 1989. Predicting fire behaviour in the black spruce-lichen woodland fuel type of western and northern Canada. Forestry Canada, Northern Forestry Centre, Edmonton, AB, and Government of Northwest Territories, Department of Renewable Resources, Territorial Forest Fire Centre, Fort Smith, NT. Poster with text.
- Alexander, M.E. ve Quintilio, D., 1990. Perspectives on experimental fires in Canadian forestry research. *Math. Comput. Modeling* 13(12): 17–26.
- Alexander, M.E. ve Thomas, D.A., 2004. Forecasting wildland fire behaviour: aids, guides and knowledge-based protocols. *Fire Management Today*, Volume 64, No. 61 p. 4-11.
- Alexander, M.E., 1982. Calculating and interpreting forest fire intensities. Canadian Journal of Botany 60. 349-357.
- Alexander, M.E., 1988. Help in making crown hazard assessments. In *Protecting People and Homes from Wildfire in the Interior West: Proceedings of Symposium and Workshop*. pp. 147–156. USDA Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station, Ogden UT. General Technical Report INT-251.
- Alexander, M.E., 1998. Crown fire thresholds in exotic pine plantations of Australasia. Australian National University, Canberra, Australia. Ph.D. Thesis. 228 p.
- Alexander, M.E., 2007. Software can assess fuels treatment effectiveness on crown fire behavior. *Fire Management Today*. 67(3): 30.
- Alexander, M.E., Stocks B.J. ve Lawson, B.D., 1991. Fire behavior in Black spruce-lichen woodland: The Porter Lake project. Information Report NOR-X-310. (Edmonton. Alberta) 44 pp.
- Alexander, M.E., Stocks, B.J., Wotton, B.M. ve Lanoville, R.A., 2001. Tracking the spread and intensity of crown fires. *Initial Attack 2001(Fall)*: 8–11.
- Anderson, H.E., 1982. Aids to determining fuel models for estimating fire behavior. USDA For. Serv., Interm. For. Range Exp. Stn., Ogden, UT, Gen. Tech. Rep. INT-122.
- Andrews, P. L., Patricia, L., Rothermel, R.C. ve Richard, C., 1982. Charts for interpreting wildland fire behavior characteristics. Gen. Tech. Rep. INT-131. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station. 21 p.
- Andrews, P.L., 2012. Modeling wind adjustment factor and midflame wind speed for Rothermel's surface fire spread model. USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, General Technical Report RMRS- GTR-266. (Fort Collins, CO).

- Andrews, P.L., Bevins, C.D. ve Seli, R.C., 2008. BehavePlus fire modeling system, version 4.0: user's guide. USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, General Technical Report RMRS-GTR-106WWW Revised. (Fort Collins, CO)
- Appleby, R.W., 1969. Thinning slash and fire control. *Fire Control Notes*. Volume 31:1, pp:8.
- Baxter, G.; Ackerman, M.; Dakin, G. 2013. Survival zones for wildland firefighters: a case study in jack pine. *FP Innovations Wildfire Operations Research*, Hinton, Alberta. 11 p.
- Baysal, İ., 2007. Karaçam Ölü Örtüsünde Yangın Büyüme ve Gelişimi. Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Beck, J.A., Alexander, M.E., Harvey, S.D., Beaver, A.K., 2002. Forecasting diurnal variations in fire intensity to enhance wildland firefighter safety. *International Journal of Wildland Fire* 11: 173-182.
- Beer, T., 1991. Bushfire rate-of-spread forecasting: deterministic and statistical approaches to fire modelling. *Journal of Forecasting* 10. 301-317.
- Bigelow, S.W. ve North, M.P., 2012. Microclimate effects of fuels-reduction and group-selection silviculture: Implications for fire behavior in Sierran mixed-conifer forest. *Forest Ecology and Management* 264. 51-59.
- Bilgili, E. ve Baysal, İ. 2012. Yangın Rejimi ve Ormanlıktaki Önemi. *Orman Mühendisliği Dergisi*: 20-24.
- Bilgili, E. ve Küçük, Ö., 2009. Estimating above-ground fuel biomass in young calabrian pine (*Pinus brutia* Ten.) in Turkey” *Energy and Fuels*, 23, 1797-1800.
- Bilgili, E. ve Methven, I.R., 1990. Analysis of the Simple Ellipse as a Basic Fire Growth Model, In Proc. International Conference on Forest Fire Research, Univ. Coimbra, Coimbra, Portugal, B. 18-1 to 18-14.
- Bilgili, E. ve Methven, I.R., 1994. A dynamic fuel model for use in managed even-aged stands. *Int. J. Wildland Fire* 4(3) 177-185.
- Bilgili, E. ve Sağlam, B., 2003. Fire behavior in maquis in Turkey. *Forest Ecology and Management* 184. 201-207.
- Bilgili, E., 1991. Analysis of the Simple Ellipse as a Basic Fire Growth Model, MsC Thesis, University of New Brunswick, Canada.
- Bilgili, E., 1995. Fuel Characterization and Fire Behavior Prediction in Even-Aged Conifer Stands, PhD. Thesis, University of New Brunswick, Fredericton, Canada.
- Bilgili, E., 1998a. A state dependent model of forest floor development. *Turkish Journal of Forestry and Agriculture* (22) 323-328.

- Bilgili, E., 1998b. Yangın Amenajman Planlamalarında Yanıcı Madde Amenajmanının Rolü, Orman Yangınları Politikası ve Planlama Eğitim Kursu, pp 84.
- Bilgili, E., 1999. The Use of Decision Support Systems in Fire Management Planning. 18–22 Mayıs, Fethiye, Muğla.
- Bilgili, E., 2003. Stand development and fire behavior. Forest Ecology and Management 179. 333-339.
- Bilgili, E., Baysal İ., Dinc Durmaz, B., Sağlam, B., Kucuk, Ö., 2010a. Rate of fire spread in young calabrian pine slash . VI. International Conference on Forest Fire Research, 15-18 November, Coimbra, Portugal.
- Bilgili, E.; Durmaz, B.D.; Alexander, M.E.; Sağlam, B.; Kucuk, O.; Baysal, I. 2010b. The effect of pruning on crown fire behavior in a calabrian pine plantation, northeastern Turkey. Page 36 In: Viegas, D.X. (editor). Abstracts of the VI International Conference on Forest Fire Research, 15-18 November, Coimbra, Portugal. ADAI/CEIF, University of Coimbra, Coimbra, Portugal.
- Bilgili, E., Küçük, Ö. ve Sağlam, B., 2002. Yangın Davranışının Tahmini ve Yangınlarla Mücadeledeki Önemi, GÜ. Orman Fakültesi Dergisi 2(2), Kastamonu.
- Bilgili, E.; Durmaz, B.D.; Sağlam, B.; Kucuk, O.; Baysal, I. 2006. Fire behaviour in immature calabrian pine plantations. In: Viegas, D.X. (editor). Proceedings of 5th International Conference on Forest Fire Research, 27-30 November 2006, Figueira da Foz, Portugal. Elsevier BV, Amsterdam, The Netherlands. CD-ROM. 11 p.
- Billing, P., 1979. Using Fire to Reduce Fuel Accumulations after First Thinning in Radiata Pine Plantations. Fire Research Branch Report No. 4. Forests Commission of Victoria, Melbourne, 14 pp.
- Billing, P., 1980. Some Aspects of the Behaviour of the Caroline Fire of February 1979. Fire Research Branch Report No. 7. Forests Commission of Victoria, Melbourne, 11 pp.
- Billing, P., 1983 Otways Fire No. 22- 1982/83 -A Case Study of Plantation Protection. Fire Research Branch Report No. 21. Forests Commission of Victoria, Melbourne, 11 pp.
- Bircan, H., 2004. Lojistik Regresyon Analizi. Kocaeli Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 2: 185-208.
- Brose, P. ve Wade, D. 2002. Potential fire behavior in pine flatwood forests following three different fuels reduction techniques. Forest Ecology and Management. 163: 71–84.
- Brown, A.A. ve Davis, K.P., 1973. Forest fire: control and use. 2nd ed. McGraw-Hill, New York, NY.
- Burrows, N.D., 1980. Quantifying Pinus radiata slash fuels. Forests Department of Western Australia, Research Paper 60.

- Burrows, N.D., 1999. Fire behaviour in jarrah forest fuels: 2. Field experiments. Calm Science 3, 57–84.
- Butler, B.W., Cohen, J., Latham, D.J., Schuette, R. D., Sopko, P., Shannon, K.S., Jimenez, D. ve Bradshaw, L.S., 2004. Measurements of radiant emissive power and temperatures in crown fires. Can. J. For. Res. 34.
- Butler, B.W.; Ottmar, R.D.; Rupp, T.S.; Miller, E.; Howard, K.; Schmoll, R.; Theisen, S.; Vihnanek, R.E.; Jimenez, D. 2013. Quantifying the effect of fuel reduction treatments on fire behavior in boreal forests. Canadian Journal of Forest Research 43: 97-102.
- Byram, G.M., 1954. Atmospheric conditions related to blowup fires. USDA Forest Service, Southeastern Forest Experiment Station. Station Paper 35. Asheville, NC. 30 p.
- Byram, G.M., 1959. Forest Fuels. Pages 61-89 in Davis, K.P. (ed) Forest Fire: Control and Use Mc Graw-Hill, New York.
- Çanakçıoğlu, H., 1993, Orman Koruma, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi, Üniversite Yayın No: 3624, Fak. Yay.No: 41.1, İstanbul.
- Carey, H., ve Schuman, M., 2003. Modifying wildfire behavior – the effectiveness of fuel treatments: the status of our knowledge. National Community Forestry Center, Southwest Region Working Paper.
- Carlton, D.W. ve Pickford, S.G., 1982. Fuelbed changes with aging of slash from ponderosa pine thinnings. Journal of Forestry.
- Catchpole, E.A. ve De Mestre, N., 1986. Physical models for a spreading line fire. Aust. For. 49: 102–111.
- Catchpole, E.A., Catchpole, W.R, Viney, N.R, McCaw W.L. ve Marsden-Smedley, J.B., 2001. Estimating fuel response time and predicting fuel moisture content from field data. International Journal of Wildland Fire 10, 215–222.
- Catchpole, W.R., Catchpole, E.A., Butler, B.W., Rothermel, R.C., Morris, G.A. ve Latham, D.J., 1998. Rate of spread of free-burning fires in woody fuels in a wind tunnel. Combustion Science and Technology 131, 1–37.
- Chandler, C., Cheney, P., Thomas, P., Trabaud, L. ve Williams, D., 1991. Fire in Forestry, Volume I, Chapter 3, 55-89.
- Cheney, N.P. ve Gould, J.S., 1995. Fire growth in grassland fuels. Int. J. Wildland Fire 5 (4), 237-247.
- Cheney, N.P., 1981. Fire behaviour. In: Gill, A.M., Groves, R.H., Noble, I.R. (Eds.), Fire and the Australia Biota. Australian Academy of Science, Canberra, ACT, pp. 101–127.

- Cheney, N.P., Gould, J.S., 1997. Fire growth and acceleration. *Int. J. Wildland Fire* 7 (1), 1-5. Marsden-Smedley, J.B., Catchpole, W.R., 1995. Fire behaviour modelling in Tasmanian buttongrass moorlands II. Fire behaviour. *Int. J. Wildland Fire* 5 (4), 215-228.
- Cheney, N.P., Gould, J.S., Catchpole, W.R., 1998. Prediction of fire spread in grasslands. *International Journal of Wildland Fire* 8, 1–13.
- Cheney, N.P., Gould, J.S., McCaw, W.L., Anderson, W.R., 2012. Predicting fire behaviour in dry eucalypt forest in southern Australia. *Forest Ecology and Management* 280, 120-131.
- Cochrane, M.A., Moran, C.J., Wimberly, M.C., Baer, A.D., Finney, M.A. ve Beckendorf, K.L., 2012. Estimation of wildfire size and risk changes due to fuel treatments. *International Journal of Wildland Fire*, 21, 357–367.
- Collins, B.M., Stephens, S.L., Moghaddas, J.J., ve Battles, J., 2010. Challenges and approaches in planning fuel treatments across fire-excluded forested land- scapes. *Journal of Forestry*, 108, 24–31.
- Cook, D. 2008. Binary response and logistic regression analysis. NSF/ ILI grant DUE 975:16-44.
- Countryman, C.M., 1966. The Concept of Fire Environment, *Fire Control Notes* 27(4) [Fall 1966]: 8–10.
- Countryman, C.M., 1971. This Humidity Business. U.S. For. Serv. Pacific Southwest Forest and Range Exp. Sta., Berkeley, Cal., Unnumbered report.
- Countryman, C.M., 1972. The fire environment concept. USDA Forest Service, Pacific Southwest Forest and Range Experiment Station, Berkeley, CA. 12 p.
- Cox, D.R. ve Snell, E.J., 1989. The analysis of binary data. 2nd edition. Chapman and Hall, London. 240 s.
- Cron, R.H., 1969. Thinning as an aid to fire control. *Fire Control Notes*. 30(1).
- Cruz, M.G., 1999. Modeling the initiation and spread of crown fires. University of Montana, Missoula, MT. M.Sc. Thesis. 162 s.
- Cruz, M.G., 2004. Ignitions of crown fuels above a spreading surface fire. University of Montana, Missoula, MT. PhD. Thesis. 188 s.
- Cruz, M.G., 2010. Monte Carlo-based ensemble method for prediction of grassland fire spread. *International Journal of Wildland Fire* 19, 521-530.
- Cruz, M.G. ve Alexander, M.E., 2010. Assessing crown fire potential in coniferous forests of western North America: a critique of current approaches and recent simulation studies. *International Journal of Wildland Fire* 19: 377–398.

- Cruz, M.G. ve Alexander, M.E., 2012. Evaluating regression model estimates of canopy fuel stratum characteristics in four crown fire-prone fuel types in western North America. International Journal of Wildland Fire 21: 168–179.
- Cruz, M.G.; Alexander, M.E. 2013a. Uncertainty associated with model predictions of surface and crown fire rates of spread. Environmental Modelling and Software 47: 16-28.
- Cruz, M.G.; Alexander, M.E. 2013b. Using modeled surface and crown fire behavior characteristics to evaluate fuel treatment effectiveness: a caution. *Northern Journal of Applied Forestry*. Under review for publication.
- Cruz, M.G. ve Fernandes, P.A., 2008 Development of fuel models for fire behaviour prediction in maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.) stands. International Journal of Wildland Fire 17, 194–204.
- Cruz, M.G. ve Plucinski, M.P., 2007. Billo Road Fire – Report on fire behaviour phenomena and suppression activities; Bushfire Research Group, Ensis-CSIRO.
- Cruz, M.G., Alexander, M.E. ve Wakimoto, R.H., 2002. Predicting crown fire behavior to support forest fire management decision making. In *Forest Fire Research & Wildland Fire Safety. Proceedings of the IV International Conference on Forest Fire Research, 2002 Wildland Fire Safety Summit, 18–23 November 2002, Luso and Coimbra, Portugal*. Edited by D.X. Viegas. Millpress Scientific Publications, Rotterdam, Netherlands. [CD-ROM].
- Cruz, M.G., Alexander, M.E. ve Fernandes, P., 2008. Development of a model system to predict wildfire behaviour in pine plantations. Australian Forestry 71(2):113-121.
- Cruz, M.G., Alexander, M.E. ve Wakimoto, R.H., 2003a. Assessing canopy fuel stratum characteristics in crown fire prone fuel types in western North America. International Journal of Wildland Fire 12: 39-50.
- Cruz, M.G., Alexander, M.E. ve Wakimoto, R.H., 2003b. Assessing the probability of crown fire initiation based on fire danger indices. Forestry Chronicle 79: 976-983.
- Cruz, M.G., Alexander, M.E. ve Wakimoto, R.H., 2003c. Definition of a fire behavior model evaluation protocol: a case study application to crown fire behavior models. Pages 49-67 in Omi, P.N.; Joyce, L.A. (tech. eds.). *Fire, Fuel Treatments and Ecological Restoration: Conference Proceedings* (Apr. 16-18, 2002, Fort Collins, CO). USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Fort Collins, CO. Proceedings.RMRS-P-29.
- Cruz, M.G., Alexander, M.E. ve Wakimoto, R.H., 2004. Modeling the likelihood of crown fire occurrence in conifer forest stands. For. Sci. 50: 640–658.
- Cruz, M.G., Alexander, M.E. ve Wakimoto, R.H., 2005. Development and testing of models for predicting crown fire rate of spread in conifer forest stands. Canadian Journal of Forest Research 35: 1626-1639.

- Cruz, M.G., Butler, B.W., Alexander, M.E., Forthofer, J.M. ve Wakimoto, R.H., 2006a. Predicting the ignition of crown fuels above a spreading surface fire. Part I: Model idealization. International Journal of Wildland Fire 15, 47–60.
- Cruz, M.G., Butler, B.W. ve Alexander, M.E., 2006b. Predicting the ignition of crown fuels above a spreading surface fire. Part II: Model behavior and evaluation. International Journal of Wildland Fire 15, 61–72.
- Cruz, M.G., Butler, B.W., Alexander, M.E. ve Viegas, D.X., 2006c. Development and evaluation of a semi-physical crown fire initiation model. In: Viegas, D.X. (ed.) Proceedings of 5th International Conference on Forest Fire Research. 27–30 November 2006, Figueira da Foz, Portugal. Elsevier B.V., Amsterdam, The Netherlands, CD-ROM, 17 pp.
- Cruz, M.G., Sullivan, A.L., Gould, J.S., Sims, N.C., Bannister, A.J., Hollis, J.J. ve Hurley, R.J., 2012. Anatomy of a catastrophic wildfire: The Black Saturday Kilmore East fire in Victoria, Australia. Forest Ecology and Management. 284:269–285.
- Cruz, M.G., McCaw, W.L., Anderson, W.R. ve Gould, J.S., 2013. Fire behaviour modelling in semi-arid mallee-heath shrublands of southern Australia. Environmental Modelling and Software 40, 21-34.
- Curry, J. R. ve Fons, W.L., 1940. Forest fire behavior studies. Mech. Engng. N.Y. 219-25.
- Curry, J.R. ve Fons, W.L., 1938. Rate of spread of surface fires in the ponderosa pine type of California. J. Agr. Res. 57:239-267.
- De Groot, W.J., 1993. Examples of fuel types in the Canadian Forest Fire Behaviour Prediction (FBP) System. Forestry Canada, Northern Forestry Centre, Edmonton, AB. Poster with text.
- De Mestre, N.J., Catchpole, E.A., Anderson, D.H. ve Rothermel, R.C., 1989. Uniform propagation of a planar fire front without wind. Combust. Sci. Tech. 65: 231–244.
- Deeming, J.E., Burgan, R.E. ve Cohen, J.D., 1977. The National Fire-Danger Rating System--1978. Gen. Tech. Rep. INT-39. Ogden, UT: Intermountain Forest and Range Experiment Station, Forest Service, U.S. Department of Agriculture; 63 p.
- Della S., Dominick A., Olson, D.M., ve Barth, S.E., 1995. Forest health: moving beyond rhetoric to restore healthy landscapes in the inland Northwest. Wildlife Society Bulletin. 23(3): 346-356.
- Dieterich, J.H., 1979. Recovery potential of fire-damaged Southwestern ponderosa pine. USDA For. Serv. Res. Note RM-379.
- Dinç Durmaz, B.; Bilgili, E.; Saglam, B.; Kucuk, O.; Baysal, I. 2010. Fire behavior in thinned (1 year after thinning) and unthinned young calabrian pine stands. Page 77 In: Viegas, D.X. (editor). Abstracts of the VI International Conference on Forest Fire Research, 15-18 November, Coimbra, Portugal. ADAI/CEIF, University of Coimbra, Coimbra, Portugal.

- Douglas D.R., 1964. Some characteristics of major fires in coniferous plantations. Aust. For. 28:119-124.
- Douglas, D.R., 1967. Fires in pine plantations. South Australia Emergency Fire Service, Adelaide, E.F.S. Manual 1967, 60, 62.
- Drysdale, D., 1985. An introduction to fire dynamics. John Wiley and Sons, New York.
- Dupuy, J.L. ve Morvan, D., 2005. Numerical simulation of a crown fire spreading toward a fuel break using a multiphase formulation. International Journal of Wildland Fire 14, 141–151.
- Dyrness, C.T. ve Norum, R.A., 1983. The effects of experimental fires on black spruce forest floors in interior Alaska. Can. J. For. Res. 13: 879–893.
- Fernandes, P.M. ve Cruz, M.G. 2012. Plant flammability experiments offer limited insight into vegetation - fire dynamics interactions. New Phytologist, 606–609.
- Fernandes, P.M., 2001. Fire spread prediction in shrub fuels in Portugal. For. Ecol. Manage. 144: 67–74.
- 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.
- Fernandes, P.M., Catchpole, W.R., ve Rego, F.C., 2000. Shrubland fire behavior modelling with microplot data. Can. J. For. Res. 30: 889–899.
- Fernandes, P.M., Loureiro, C. ve Botelho, H.S., 2004. Fire behaviour and severity in a maritime pine stand under differing fuel conditions. Annals of Forest Science 61, 537-544.
- Field, A., 2005. Discovering statistics using SPSS (2nd ed.). London: Sage.
- Finney, M.A 2004a. FARSITE: fire area simulator — model development and evaluation. USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Research Paper RMRS-RP-4 Revised. (Fort Collins, CO)
- Finney, M.A., 2004b. Landscape fire simulation and fuel treatment optimization. In: Hayes, J., Ager, A., Barbour, J. (Eds.), Methods for integrated modeling of landscape change. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-610. U.S. Department of Agriculture, Forest Service. Pacific Northwest Forest and Range Experiment Station, Portland OR, pp. 117–131.
- Finney, M.A, Britain, S. ve Seli, R. C., 2006. FlamMap Version 3.0 Beta. Computer program available at www.fire.org. Last updated February 16, 2006.
- Finney, M.A., 1998. FARSITE: Fire area simulator – Model development and evaluation. USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Ogden, UT. Research Paper RMRS-RP-4. 47 p.

- Fischer, W.C. ve Hardy, C. E., 1972. Fire-weather observers' handbook. USDA For. Ser. Agric. Handb. 494, 152 p. Washington, D.C.
- Fons, W.L., 1946. Analysis of fire spread in light forest fuels. *J. Agric. Res.* 72(3):93-121.
- Forestry Canada Fire Danger Group., 1992. Development and structure of the Canadian Forest Fire Behaviour Prediction System. Forestry Canada, Science and Sustainable Development Directorate, Ottawa, ON. Information Report ST-X-3. 65 p.
- Fosberg, M.A. ve Deeming, J.E., 1971. Derivation of the 1- and 10-hour timelag fuel moisture calculations for fire-danger rating. USDA Forest Service Research Note RM-207, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station, Fort Collins, CO. 8 p.
- French, J.R.J. ve Keirle, R.M., 1969. Studies in fire-damaged Radiata Pine plantations. *Aust. Forest.* 33, 175-180.
- Fulé, P.Z., Mchugh, C., Heinlein, T.A. ve Convigton, W.W., 2001. Potential fire behavior is reduced following forest restoration treatments. In Ponderosa pine ecosystems restoration and conservation: steps toward stewardship: Conference proceedings; 2000 25–27 April; Flagstaff, AZ. Proceedings RMRS- P-22, Vance, R.K., C.B. Edminster, W.W. Covington, and J.A. BLAKE (comps.). Flagstaff, AZ: USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 188 p.
- Gardiner, B.A., 2004. Airflow Over Forests and Forest Gaps. BWEA Tree Workshop, March 2004. Forestry Commission.
- Gardiner, B.A., 1994. Wind and wind related forces in a plantation Spruce Forest, *Boundary Layer Meteorology*, 67, pp161-186.
- Geddes, D.J. ve Pfeiffer, E.R., 1981 The Caroline Forest Fire - 2nd February, 1979. Woods and Forests Department, South Australia, Bulletin 26.
- George, D. ve Mallery, P., 2000. SPSS for Windows step-by-step: A simple guide and reference (2nd ed). Boston: Allyn and Bacon.
- Gisborne, H.T., 1923. Importance of duff moisture content in the forest fire problem. *Journal of Forestry* 21: 807-809.
- Gould, J.S., McCaw, W.L., Cheney, N.P., Ellis, P.F., Knight, I.K. ve Sullivan, A.L., 2007. 'Project Vesta. Fire in Dry Eucalypt Forest: Fuel Structure, Fuel Dynamics and Fire Behaviour.' (Ensis–CSIRO: Canberra, ACT, and Department of Environment and Conservation: Perth, WA).
- Graham, R.T., Harvey, A.E., Jain T., B. ve Tonn. J.R., 1999. The effects of thinning and similar stand treatments on fire behaviour in western forests. USDA Forest Service, Pacific Northwest Research Station, Portland, OR. General Technical Report PNW-GTR-463. 27 p.

- Graham, R.T., McCaffrey, S. ve Jain, T. B., 2004. Science basis for changing forest structure to modify wildfire behavior and severity. Gen. Tech. Rep. RMRS–GTR–120. Fort Collins, CO: USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station.
- Hirsch, K., Kafka, V. ve Todd, B., 2004. Using forest management techniques to alter forest fuels and reduce wildfire size: an exploratory analysis. In R. T. Engstrom, K. E. M. Galley & W. J. de Groot (Eds.). Proceedings of the 22nd Tall Timbers Fire Ecology Conference: Fire in Temperate, Boreal, and Montane Ecosystems (Pages 175-184). Tallahassee, FL: Tall Timbers Research Station.
- Hirsch, K.G. ve Pengelly, I., 1999. Fuel reduction in lodgepole pine stands in Banff National Park. In Neuenschwander, L .F.; Ryan, K. C., eds. Proceedings of joint fire science conference and workshop; 1999 June 15-17; Boise, ID. Boise: University of Idaho and International Association of Wildland Fire: 251-256.
- Hirsch, K.G., 1996. Canadian Forest Fire Behavior Prediction (FBP) System: user's guide. Nat. Resour. Can., Can For. Serv., North. For. Cent., Edmonton, AB, Spec. Rep. 7.
- Hosmer, D.W. ve Lemeshow, S., 2000. Applied logistic regression. 2nd edition. John Wiley & Sons, New York. 375 p.
- Kalabokidis, K.D. ve Omi, P.N., 1998. Reduction of fire hazard through thinning/ residue disposal in the urban interface. International Journal of Wildland Fire. 8(1): 29-35.
- Keyes, C.R. ve O'Hara, K.L., 2002. Quantifying stand targets for silvicultural prevention of crown fires. Western Journal of Applied Forestry. 17(2): 101–109.
- Keyes, C.R. ve Varner, J.M., 2006. Pitfalls in the silvicultural treatment of canopy fuels. Fire Manage. Today 66, 46–50.
- Keyes, C.R., 2006. Role of foliar moisture content in the silvicultural management of forest fuels. Western Journal of Applied Forestry. 21(4): 228–231.
- Keyser, T.L.; Smith, F.W. 2010. Influence of crown biomass estimators and distribution on canopy fuel characteristics in ponderosa pine stands of the Black Hills. Forest Science 56: 156–165.
- Küçük, Ö., 2004. Kızılçamda Yanıcı Madde Tiplerinin Belirlenmesi, Haritalanması ve Karaçamda Yangın Davranışının Tahmini. Doktora Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 136 Sayfa.
- Küçük, Ö. ve Sağlam, B. 2004. Orman Yangınları ve Hava Halleri, Kastamonu Orman Fakültesi Dergisi, 4(2), 220-231.
- Küçük, Ö., Sağlam, B. ve 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. ve 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., Dinç Durmaz, B., Sağlam, B. ve Baysal, İ. 2009a. Örtü yangınının tepe yangınına geçişinde etkili olan faktörler. Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 9(2).
- Küçük, O., Bilgili, E., Sağlam, B., Dinc Durmaz, B., Baysal, İ., Dogan, N., Kol, M., 2009b. Experimental Forest Fire Behaviour Studies In Turkey. Forest Fire Management Conference, 18-20 June Sidney, Avustralya.
- Küçük, Ö., Bilgili, E., Sağlam, B., Dinç Durmaz, B. ve Baysal, İ., 2010. Türkiye’de yangın davranışının belirlenmesine yönelik yapılan deneme yangınları. III. Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi, 20-22 Mayıs, Artvin.
- Küçük, Ö., Bilgili, E., ve Sağlam, B. 2008. Estimating Crown Fuel Loading for Calabrian Pine and Anatolian Black Pine, International Journal of Wildland Fire, 17(1), 147-154.
- Küçükosmanoğlu, A., 1985 Türkiye Ormanlarında Çıkan Yangınların Sınıflandırılması ile Büyük Yangınların Çıkma ve Gelişme Nedenleri. Doktora Tezi. İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. 244 Sayfa
- Lawson, B.D. ve Dalrymple, G.N., 1996. Probabilities of sustained ignition in lodgepole pine, interior Douglas-fir, and white spruce-subalpine fir forest types. Canadian Forest Service, Pacific Forestry Centre, Victoria, BC. FRDA Handbook 12 Supplement 1.17p.
- Lindenmuth, A.W., And, J.R. ve Davis J.R., 1973. Predicting fire spread in Arizona's oak chaparral. USDA For. Serv. Res. Pap. RM-101. 11 p. M.P. 2007 Billo Road Fire Report on Fire Behaviour Phenomena and Suppression Activities. Report No. A.07.02. Bushfire Cooperative Research Centre, East Melbourne, 96 pp.
- Linn, R., Reisner, J., Colman, J.J. ve Winterkamp, J., 2002. Studying wildfire behavior using FIRETEC. International Journal of Wildland Fire 11, 233–246.
- Ma, S., Concilio, A., Oakley, B., North, M. ve Chen, J., 2010. Spatial variability in microclimate in a mixed-conifer forest before and after thinning and burning treatments. Forest Ecol. Manage. 259, 904–915.
- Marsden-Smedley, J.B., Catchpole, W.R. ve Pryke, A. 2001. Fire modelling in Tasmanian buttongrass moorlands. IV Sustaining versus non-sustaining fire. International Journal of Wildland Fire 10, 255–262.
- Marsden-Smedley, J.B., Catchpole, W.R., 1995. Fire modelling in Tasmanian buttongrass moorlands II. Fire behaviour. International Journal of Wildland Fire 5, 215–228.
- McArthur, A.G., 1965. Fire Behaviour Characteristics of the Longford Fire, 17 November 1962. Forestry and Timber Bureau, Leaflet No.91.
- McArthur, A.G., 1966. Weather and grassland fire behaviour. Dep. of Nat. Dev., For. and Timber Bur. Leaf. No. 100. Canberra, Australia. 23 p.

- McArthur, A.G., 1967. Fire behaviour in eucalypt forests. Dep. of Nat. Dev., For. and Timber Bur. Leaflet No. 107. Canberra, Australia. 36 p. PAGNI, P.J., AND T.G. Peterson. 1973. Flame spread through porous fuels. P. 1099-1107 in Proc. of 14th Symp. (Internat.) on combustion. The Combust. Inst., Pittsburgh, PA.
- 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. 25-48.
- McCaw, W.L., Gould, J.S., Cheney, N.P., Ellis P.F.M. ve Anderson, W.R., 2012. Changes in behaviour of fire in dry eucalypt forest as fuels increase with age. Forest Ecology and Management 271, pp. 170–181.
- McRae, D. I., Alexander, M.E. ve Stocks B.J., 1979. Measurement and description of fuels and fire behavior on prescribed burns: a handbook. Can. For. Servo Rep. O-X-287.
- Moghaddas, J.J., Collins, B. M., Menning, K., Moghaddas, E.E.Y. ve Stephens, S.L., 2010. Fuel treatment effects on modeled landscape-level fire behavior in the northern Sierra Nevada. Can. J. Forest Res. 40, 1751–1765.
- Molina, J.R., Rodriguez Y., Silva F. ve Herrera, M.,A. 2011. Potential crown fire behaviour in Pinus pinea stands following different fuel treatments. Forest Systems 2011 20(2), 266-277.
- Mooney, C. 2013. Can light stand thinning weaken an advancing crown fire? A case study in black spruce (Picea mariana). FP Innovations Wildfire Operations Research, Hinton, Alberta. 10 p.
- Moreira, F., Viedma, O., Arianoutsou, M., Curt, T., Koutsias, N., Rigolot, E., Barbati, A., Corona, P., Vaz, P., Xanthopoulos, G., Mouillot, F. ve Bilgili, E., 2011. Landscape-Wildfire Interactions in Southern Europe: Implications for Landscape Management. Journal of Environmental Management, 92, 2389-2402.
- Morris, G.A., 1987. A simple method for computing spotting distances from wind-driven surface fires. USDA For. Servo Res. Note INT-374.
- Myers, R.H., 1990. Classical and modern regression with applications. 2nd ed. PWS-Kent Publishing Co., Boston, Mass.
- Nagelkerke, N.J.D., 1991. A note on a general definition of the coefficient of determination. Biometrika 78: 691–692.
- Nelson, R. M.Jr., 1980. Flame characteristics for fires in southern fuels. USDA For. Serv. Southeast. For. Exp. Stn. Res. Pap. SE-205.
- Nelson, R. M.Jr., ve Adkins C.W., 1988. A dimensionless correlation for the spread of wind-driven fires. Can. J. For. Res. 18:391-397.
- Nelson, R.M.Jr., 1993. Byram's energy criterion for wildland fires: units and equations. USDA Forest Service; Res Note INT-415.

- Nelson, R.M.Jr., Butler, B.W. ve Weise, D.R., 2012. Entrainment regimes and flame characteristics of wildland fires. International Journal of Wildland Fire 21, 127e140.
- Nelson, R.M.Jr., ve Adkins, C.W., 1986. Flame characteristics of wind-driven surface fires. Can. J. For. Res. 16: 1293- 1300.
- Neyişçi, T., 1985. Antalya Doyran Yöresi Kızılcım (Pinus brutia Ten.) Ormanlarında Yangınların Tarihsel etkileri, Ormancılık Araştırma Enstitüsü Yayınları Teknik Raporlar Serisi No: 29.
- Neyişçi, T., 1986. Kızılcım Orman Ekosistemlerinde Denetimli Yakmanın Toprak Kimyasal Özellikleri ve Fidan Gelişimi Üzerine Etkileri, Ormancılık Araştırma Enstitüsü Yayınları Teknik Bülten Serisi No: 205.
- Neyişçi, T., 1988. Orman Yangınlarına Ekolojik Yaklaşım, Orman Mühendisliği Dergisi, Şubat, 26-29.
- Neyişçi, T., 1989. Kızılcım Orman Ekosistemlerinde Denetimli Yakmanın Toprak Kimyasal Özelliklerive Fidan Gelişimi Üzerine Etkileri. Ormancılık Araştırma Enstitüsü, Teknik Bülten No: 205.
- North, M., Innes, J. ve Zald, H., 2007. Comparison of thinning and prescribed fire restoration treatments to Sierran mixed-conifer historic conditions. Can. J. Forest Res. 37, 331–342.
- Omi, P.N. ve Martinson, E. 2002. Effect of fuels treatment on wildfire severity. Final report submitted to the Joint Fire Science Program Governing Board.
- Pastor, E., Zarate L., Planas, E. ve Arnaldos, J., 2003. Mathematical models and calculation systems for the study of wildland fire behavior. Progress in Energy and Combustion Science 29, 139–153.
- Pausas, J.G., Alessio, G.A., Moreira, B. ve Corcobado, G., 2012. Fires enhance flammability in *Ulex parviflorus*. New Phytologist 193: 18-23.
- Pickett, B.M., 2008. Effects of moisture on combustion of live wildland forest fuels. PhD thesis, Brigham Young University, USA.
- Pickett, B.M., Isackson, C., Wunder, R., Fletcher, T.H., Butler, B.W. ve Weise, D.R., 2010. Experimental measurements during combustion of moist individual foliage samples. Int. J. Wildland Fire 19, 153–162.
- Plucinski, M.P., Anderson, W.R., 2008. Laboratory determination of factors influencing successful point ignition in the litter layer of shrubland vegetation. International Journal of Wildland Fire 17: 628–637.
- Pollet, J. ve Omi, P.N., 2002. Effect of thinning and prescribed burn- ing on crownfire severity in ponderosa pine forests. International Journal of Wildland Fire 11:1–10.

- Press, S.J. ve Wilson, S. 1978. Choosing Between Logistic Regression and Discriminant Analysis, Journal of American Statistical Association, 73, 364, 699-705.
- Pyne, S.J., Andrews, P.L., ve Laven, R.D., 1996. Introduction to wildland fire. 2nd edition. John Wiley & Sons Inc., New York. 769 p.
- Reiner, A.L., Vaillant, N.M., Fites-Kaufman, J., Dailey, S.N., 2009. Mastication and 738 prescribed fire impacts on fuels in a 25-year old ponderosa pine plantation. Setting the Scene for Post-Fire Management. Post-Fire Management and Restoration of Southern European Forests Managing Forest Ecosystems Volume 24, 2012, pp 1-19
- Reinhardt, E., R., Kean, D., Calkin ve Cohen, J., 2008. Objectives and considerations for wildland fuel treatment in forested ecosystems of the interior western United States. Forest Ecology and Management, 256, 1997-2006.
- Reinhardt, E.D., Crookston, N.L., 2003. The fire and fuels extension to the forest vegetation simulator. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-116. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 218 s.
- Rothermel, R.C. ve Anderson, H.E., 1966. Fire spread characteristics determined in the laboratory. USDA For. Serv. Res. Pap. INT-30. 34 p.
- Rothermel, R.C., 1972. A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels. USDA For. Serv. Res. Pap. INT-115. 10. 2002 Millpress, Rotterdam, ISBN 90-77017-72-0
- Rothermel, R.C., 1983. How to predict the spread and intensity of forest and range fires. General Technical Report INT-143. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station. 161 p.
- Rothermel, R.C., 1991. Predicting behavior and size of crown fires in the Northern Rocky Mountains. USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. INT-438.
- Sağlam, B., 2005. Meteorolojik Faktörlere Bağlı Yanıcı Madde Nem İçerikleri ve Maki Tipi Yanıcı Maddelerde Yangın Davranışı, Doktora Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 120 Sayfa.
- Sağlam, B, Bilgili, E., Küçük, Ö., Dinç Durmaz, B. ve Baysal, I., 2007. Preliminary results of fire behavior in maquis fuels under varying weather and slope conditions in Turkey. In 'The Fire Environment – Innovations, Management, and Policy: Conference Proceedings', 26–30 March 2007, Destin, FL. (Eds BW Butler, W Cook) USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Proceedings RMRS-P-46CD, pp. 249–254. (Fort Collins, CO)
- Sağlam, B., Bilgili, E., Küçük, Ö. ve Dinç Durmaz, B., 2008. Fire behavior in Mediterranean shrub species (maquis). African Journal of Biotechnology 7, 4122–4129.

- Sağlam, B., Küçük, O., Bilgili, E., Dinc Durmaz, B., Baysal, İ., 2010. Influence of weather and slope on Spread Rate of Fire in Maquis Fuels in Turkey VI. International Conference on Forest Fire Research, 15-18 November, 2010, Coimbra, Portugal.
- Schaaf, M.D., Sandberg, D.V., Schreuder, M.D. ve Riccardi, C.L., 2007. A conceptual framework for ranking crown fire potential in wildland fuelbeds. Canadian Journal of Forest Research 37, 2464e2478.
- Schmidt, W., Wakimoto C. ve Ronald H., 1988. Cultural practices that can reduce fire hazards to homes in the interior West. In: Fischer, William C.; Arno, Stephen F., comps. Protecting people and homes from wildfire in the interior West: Proceedings of the symposium and workshop; 1987 October 6-8; Missoula, MT. Gen. Tech. Rep. INT-251. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station: 131-141.
- Schroeder, Dave. 2010. Fire behaviour in thinned jack pine: two case studies of FireSmart treatments in Canada's Northwest Territories. FPInnovations Advantage Report. Volume 12. No.7. October 2010. 11p.
- Scott, J. H. ve Reinhardt, E.D. 2001. Assessing crown fire potential by linking models of surface and crown fire behavior. Res. Pap. RMRS-RP-29. Fort Collins, CO: USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station.
- Scott, J.H., 1998a. Fuel reduction in residential and scenic forests: A comparison of three treatments in a western Montana ponderosa pine stand. Res. Pap. RMRS-RP-5. Ogden, UT: USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station.
- Scott, J.H., 1999. NEXUS: A system for assessing crown fire hazard. Fire Management Notes. 59(2): 20-24.
- Simard, A.J., 1991. Fire severity, changing scales, and how things hang together. International Journal of Wildland Fire. 1 (1): 23-34.
- Stephens, S.L., 1998. Evaluation of the effects of silvicultural and fuels treatments on potential fire behavior in Sierra Nevada mixed-conifer forests. Forest Ecology and Management. 105: 21-35.
- Stocks, B.J., Alexander, M.E. ve Lanoville, R.A., 2004a. Overview of the International Crown Fire Modelling Experiment (ICFME). Can. J. For. Res. 34: 1543-1547.
- Stocks, B.J., Alexander, M.E. ve Wotton, B.M., 2004b. Crown fire behaviour in a northern jack pine-black spruce forest. Can. J. For. Res. 34: 1548-1560.
- Stratton, R.D., 2004. Assessing the effectiveness of landscape fuel treatments on fire growth and behavior. Journal of Forestry 102(7), 32-40.
- Taylor, SW.; Wotton, B.M.; Alexander, M.E.; Dalrymple, G.N. 2004. Variation in wind and crown fire behaviour in a northern jack pine – black spruce forest. Canadian Journal of Forest Research 34: 1561-1576.

- Thomas, P.H. ve Simms, D.L., 1964. The study of fire spread in forest fires. In Report on Forest Research for Year Ended March, 1963. Forestry Commission, London, UK. pp. 108–112.
- Thomas, P.H., 1971. Rates of spread of some wind-driven fires. *Forestry*, 44: 155–175.
- Turner, J.A. and Lawson, B.D., 1978. Weather in the Canadian forest fire danger rating system. A user guide to national standards and practices. Fisheries and Environment Canada, Canadian Forest Service, Pacific Forest Research Centre, Victoria, BC. Information Report BC-X-177. 40 p.
- URL-1, 2014. <http://www.mgm.gov.tr>, Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Resmi istatistikler, 11 Mart 2014.
- Vaillant, N.M., Fites-Kaufman, J., Reiner, A.L., Noonan-Wright, E.K. ve Dailey, S.N., 2009. Effect of fuel treatments on fuels and potential fire behavior in California National Forests. *Fire Ecology* 5 (2), 14–29.
- Van Wagner, C.E. 1964. History of a small crown fire. *For. Chron.* 40: 202–205, 208–209.
- Van Wagner, C.E. 1967a. Flammability of Christmas trees. Revised edition. Can. Dep. For. Rural Develop, For. Branch, Ottawa, ON. Dep. Publ. 1034. 27 p.
- Van Wagner, C.E., 1961. Moisture content and inflammability in spruce, fir, and scots pine Christmas trees. Can. Dep. For., For. Res. Branch, Ottawa, ON, Tech. Note 109.
- Van Wagner, C.E., 1963. Prescribed Burning Experiments Red and White Pine, Can., For. Res. Br., Dept. For. Publ. No: 1020.
- Van Wagner, C.E., 1967b. Seasonal variation in moisture content of eastern Canadian tree foliage and possible effect on crown fires. Canada Department of Forestry and Rural Development, Forestry Branch, Ottawa, ON. Departmental Publication No. 1204. 15 p.
- Van Wagner, C.E., 1968. Fire behaviour mechanisms in a red pine plantation: field and laboratory evidence. Can. Dep. For. Rural Dev. For. Branch Dep. Publ. 1229.
- Van Wagner, C.E., 1971. Two solitudes in forest fire research. Can. For. Serv. Inf. Rep. PS-X-29. 7 p.
- Van Wagner, C.E., 1973. Height of crown scorch in forest fires. *Can. J. For. Res.* 3 (3), 373-378.
- Van Wagner, C.E., 1974a. Structure of the Canadian Forest Fire Weather Index. Canadian Forestry Service, Ottawa, ON. Departmental Publication 1333. 44 p.
- Van Wagner, C.E., 1974b. A spread index for crown fires in spring. Canadian Forestry Service, Petawawa Forest Experiment Station, Chalk River, ON. Information Report PS-X-55. 12 p.

- Van Wagner, C.E., 1977. Conditions for the start and spread of crown fire. Canadian Journal of Forest Research. 7: 23–34.
- Van Wagner, C.E., 1977b. Effect of slope on fire spread rate. *Can. For. Serv. Bimon. Res. Notes* 33: 7–8.
- Van Wagner, C.E., 1985. Fire behavior modeling — how to blend art and science. In *Proceedings of the Eighth Conference on Fire and Forest Meteorology*, 29 April – 2 May 1985, Detroit, Mich. Edited by L.R. Donoghue and R.E. Martin. Society of American Foresters, Bethesda, Md. SAF Publ. 85-04. pp. 3–5.
- Van Wagner, C.E., 1989. Prediction of crown fire behavior in conifer stands. Pages 207–212 In: *Proceedings of the 10th Conference on Fire and Forest Meteorology*, 17-21 April 1989, Ottawa, ON (Eds. D.C. MacIver, H. Auld, R. Whitewood). *For. Can. and Environ. Can.*, Ottawa, ON.
- Van Wagner, C.E., 1993. Prediction of crown fire behaviour in two stands of jack pine. Can. J. For. Res. 23: 442–449.
- Van Wagner, C.E., 1998. Modelling logic and the Canadian Forest Fire Behavior Prediction System. For. Chron. 74: 50-52.
- Van Wagendonk, J.W., 1996. Use of a deterministic fire growth model to test fuel treatments. Sierra Nevada Ecosystem Project, final report to Congress. Vol. II: Assessments and scientific basis for management options. *Water Res. Rep.* 37. Davis, CA: University of California–Davis, Center for Water and Wildland Resources. N
- Van Wilgen, B.W., Le Maitre, D.C., Kruger, F.J., 1985. Fire behaviour in South African fynbos (macchia) vegetation and predictions from Rothermel's fire model. Journal of Applied Ecology 22, 207–216.
- Vega, J.A., Cuinas, P.T., Fonturbel, P., Perez, G. ve C. Fernandez, P.M., 1998. Predicting fire behaviour in Galician (NW Spain) shrubland fuel complexes. In D.X. Viegas (ed.). *Proceedings of 3rd International Conference on Forest Fire Research/14th Conference on Fire and Forest Meteorology*, Volume II. pp. 713–728. Univ. Coimbra, Coimbra, Portugal.
- Venkatesh, S., Saito, K., Rothermel, R.C., 2000. Maximum spotting distance in wind-driven crown fires. Nensho no Kagaku to Gijutsu 7, 221–233
- Vezina, P.E., 1962. Crown Width-d.b.h. Relationships for Open-Grow Balsam Fir and White Spruce in Quebec. For. Chron. 38, 4: 463-473.
- Walker, S.H., ve Duncan, D.B., 1967. Estimation of the probability of an event as a function of several independent variables. Biometrika 54:167–179.
- Weatherspoon, C.P. ve Skinner, C.N., 1995. An assessment of factors associated with damage to tree crowns from the 1987 wildfires in northern California. Forest Science. 41(3): 123-129.

- Weatherspoon, C.P., 1996. Fire–silviculture relationships in Sierra forests. Sierra Nevada Ecosystem Project: Final Report to Congress, vol. II. University of California Centers for Water and Wildland Resources, Davis, CA, pp. 1167–1176.
- Weber, R.O. ve De Mestre, N.J., 1990. Flame spread measurements on single ponderosa pine needles: effects of sample orientation and concurrent external flow. Combustion Science and Technology 70, 132.
- Weise, D.R. ve Biging G.S., 1997. A Qualitative Comparison of Fire Spread Models Incorporating Wind and Slope Effects. Forest Science 43(2)1997. pp.170-180
- Weise, D.R., Hartford, R.A., ve Mahaffey, L. 1998. Assessing live fuel moisture for fire management applications. In Fire in Eco-system Management: Shifting the Paradigm from Suppression to Prescription. Proceedings from the 20th Florida Tall Timbers Fire Ecology Conference, 7–10 May 1996, Boise, Idaho. Edited by T.L. Pruden and L.A. Brennan. Tall Timbers Research Station, Tallahassee, Fla. pp. 49–55.
- Werth, P.A., Potter, B.E., Clements, C.B., Finney, M.A., Goodrick, S.L., Alexander, M.E., Cruz, M.G., Forthofer, J. A. ve McAllister, S.S., 2011. Synthesis of knowledge of extreme fire behavior: volume I for fire managers. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-854. Portland, OR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station. 144 p.
- Whelan, R.J., 1995. *The Ecology of Fire*, 346 pp., Cambridge Univ. Press, New York.
- Whitehead R.J., Russo, G. L., Hawkes, B.C. Taylor, S.W., Brown, B.N, Armitage, Barclay, H.J. ve Benton R.A., 2008. Effect of commercial thinning on within-stand microclimate and fine fuel moisture conditions in a mature lodgepole pine stand in southeastern British Columbia, Natural Resources Canada Canadian Forest Service Canadian Wood Fibre Centre Information Report FI-X-004.
- Whitehead, R.J., Russo, G.L., Hawkes, B.C., Taylor, S.W., Brown, B.N. Barclay, H.J. ve Benton, R.A., 2006. Effect of a Spaced Thinning in Mature Lodgepole Pine on Within-Stand Microclimate and Fine Fuel Moisture Content, USDA Forest Service Proceedings RMRS-P-41.
- Williams, D.F., 1978. Fuel properties before and after thinning in young radiata pine plantations. Fire Research Branch Report No 3, Forests Commission of Victoria, Melbourne, 17 pp.
- Willmott, C.J., 1982. Some comments on the evaluation of model performance. Bull. Am. Meteorol. Soc. 63, 1309–1312.
- Wilson, R.A., 1985. Observations of extinction and marginal burning states in free burning porous fuel beds. Combustion Science and Technology, v. 44, no. 3/4, p. 179-193.
- Wilson, R.A., 1987. A theoretical basis for modeling probability distributions of fire behavior. Research Paper INT-382. Ogden, UT, USDA Forest Service, Intermountain Research Station.

- Wolff, M.F., Carrier, G.F., ve Fendell, F.E. 1991. Wind-aided firespread across arrays of discrete fuel elements. 11. Experiments. *Combustion Science and Technology* 75: 261-289.
- Xanthopoulos, G. ve Wakimoto, R.H, 1993. A time to ignition-temperature- moisture relationship for branches of three western conifers. *Canadian Journal of Forest Research* 23, 253–258. doi:10.1139/X93-034
- Xanthopoulos, G., 1990. Development of a wildland crown fire initiation model. PhD thesis, University of Montana, Missoula, MT.

ÖZGEÇMİŞ

3 Eylül 1977 yılında Trabzon/Akçaabat'ta doğdu. İlköğretim eğitimini Denizli'de, ortaöğretim ve lise eğitimini Trabzon'da tamamladı. 1995 yılında KTÜ Orman Fakültesi Orman Mühendisliği Bölümünü kazandı ve 1999 yılında mezun oldu. 2000 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı. 2001 yılında Ankara Üniversitesi Çankırı Orman Fakültesi Orman Entomolojisi ve Koruma Anabilim Dalı'na Araştırma Görevlisi olarak atandı. 2001 Yılında 2547 sayılı YÖK'ün 35. maddesi gereğince KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsüne geçici olarak görevlendirildi. Yüksek lisans eğitimini 2001-2004 yılları arasında tamamladı. 2004 yılında KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Mühendisliği Anabilim Dalı'nda doktora programına başladı. Evli ve bir çocuk annesi olup, İngilizce bilmektedir.