

**KASTAMONU ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**YAŞLI KIZILÇAM MEŞCERELERİ ÖLÜ ÖRTÜSÜNDE
ÖRTÜ YANGINI GELİŞİMİ**

Serkan BULUT

ORMAN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**KASTAMONU
2011**

Her hakkı saklıdır

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	4
2.1 Ölü Örtü Tabakası Özellikleri ve Yangın Gelişimi.....	5
3. METERYAL VE YÖNTEM.....	12
3.1 Meteryal.....	12
3.1.1 Çalışma alanının konumu.....	12
3.1.2 İklimi.....	12
3.1.3 Meşcere yapısı.....	13
3.2 Yöntem.....	15
3.2.1 Arazi çalışmaları	15
3.2.2 Yangın öncesi ölçümler.....	15
3.2.2.1 Yanıcı madde miktarının belirlenmesi ve deneme alanlarının hazırlanması	15
3.2.2.2 Yangın öncesi yanıcı madde nem içeriklerinin belirlenmesi	18
3.2.2.3 Hava halleri ölçümleri	18

3.2.3 Hat ve nokta yangınları sırasında yapılan ölçümler	18
3.2.4 Yangınlar sonrası yapılan ölçümler.....	22
3.2.5 En/boy oranı.....	22
3.2.6 İstatistik yöntemler	23
4. BULGULAR.....	24
4.1 Kızılcam Ölü Örtüsünde Hat Yangınlarının Gelişimi	24
4.2 Kızılcam Ölü Örtüsünde Nokta Yangınlarının Gelişimi.....	30
5. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	39
5.1 Hat Yangınları.....	39
5.2 Nokta Yangınları	42

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KIZILÇAM MEŞCERELERİ ÖLÜ ÖRTÜSÜNDE ÖRTÜ YANGINI GELİŞİMİ

Serkan BULUT

Kastamonu Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü

Orman Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Ömer KÜÇÜK

Orman yangınları genellikle ölü örtü tabakasından başlar. Örtü yangınlarının yayılması, örtüdeki yanıcı madde özellikleri ile diğer çevresel koşullara bağlıdır. Yangının büyümesi ve gelişmesi hakkındaki bilgiler yangın amenajmanı ile ilgili kararlarda ve kontrollü yakmaların planlanmasında oldukça kullanışlıdır. Bu çalışmada, kızılçam plantasyon meşcerelerinde hat ve nokta yangınlarının gelişimi araştırılmıştır. Kızılçam meşcerelerinde çeşitli hava halleri, topografya ve yanıcı madde koşulları altında 35 adet hat yangını ve 11 adet nokta yangını yapılmıştır. Ayrıca, nokta yangınlarının yayılma oranları zamana bağlı olarak (1 dk, 3dk, 5dk, 10 dk ve 15 dk) incelenmiştir.

Yayılma oranı ile yanıcı madde, hava halleri ve topoğrafik koşullar arasındaki ilişkiler regresyon ve korelasyon analizleri ile belirlenmiştir. Hat yangınlarındaki yayılma oranı değerleri 0,3-3,4 m/dk arasında değişmiştir. Nokta yangınlarında 1dk, 3dk, 5dk, 10dk ve 15 dakikadaki yayılma oranı değerleri sırası ile 0,6-2,6 m/dk, 0,9-2 m/dk, 0,8 – 2,02 m/dk, 0,9-2,1 m/ dk ve 0,7 – 1,6 m/dk arasında değişmiştir. Örtüdeki yanıcı madde miktarı hat yangınları için 0,190-0,690 kg /m² , nokta yangınları için 0,300 – 0,472 kg/m² arasında değişmiştir.

Sonuçlar, hat ve nokta yangınlarında yayılma oranı ile rüzgar arasında kuvvetli bir ilişki olduğunu göstermiştir. Bu çalışma, bu yanıcı madde tipinde örtü yangını karakteristiklerinin değişikliğinin karakterize edilmesinde önemli veriler sağlamaktadır. Bu çalışmanın sonuçları yangın davranış tahmin sistemine kontrollü yakmaların planlanmasına ve yangın tehlikesinin azaltılmasına önemli katkılar yapacaktır.

2011, 67 Sayfa

Anahtar Kelimeler : Örtü yangınları, Yayılma Oranı, Hat Yangınları, Nokta Yangınları, Kızılçam

ABSTRACT

Msc. Thesis

FIRE DEVELOPMENT IN SURFACE FUELS OF CALABRIAN PINE (*Pinus brutia* Ten.) STANDS

Serkan BULUT

Kastamonu University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Forestry Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Ömer KÜÇÜK

Forest fires generally start in the surface fuels. Spread of surface fire depends on the surface fuel conditions and other environmental conditions. Knowledge of fire growth and development is extremely useful in developing fire management decisions concerning presuppression and suppression planning and prescribed burning. The main objective of this study was to investigate line and point surface fire development in calabrian pine (*Pinus brutia* Ten.) plantation stand. A total of thirty five line and eleven point-source fires were burned under varying weather, topography and fuel loading conditions in calabrian pine (*Pinus brutia* Ten.). It was also investigated rates of point source fire spread depend on time (1 min, 3 min, 5 min, 10 min and 15 min.)

Relationships between rate of fire spread, and fuel, weather and topographical conditions were determined with correlation and regression analyses. Rate of fire spread ranged from 0.3 to 3.4 m min⁻¹ in line fires. In 1 min, 3 min, 5 min, 10 min and 15 min of point-source fires, rate of fire spread ranged from 0.6 to 2.6 m min⁻¹, from 0.9 to 2.0 m min⁻¹, from 0.8 to 2.02 m min⁻¹, from 0.9 to 2.1 m min⁻¹ and from 0.7 to 1.6 m min⁻¹ respectively. Surface fuel loading ranged from 0.190 to 0.690 kg m⁻² for line fire and from 0.300 to 0.472 kg m⁻² for point-source fire.

Results showed that rate of fire spread was closely related to the wind speed for line and point-source fires. This study provides useful data to characterize the variation in surface fire characteristics in this fuel type. The results of this study will make important contributions to fire behavior prediction system, planning of prescribed burning and decreasing of fire hazard.

2011, 67 Pages

Key Words: Surface fires, fire spread, line fire, point fire, calabrian pine

TEŞEKKÜR

“Yaşlı Kızılçam Meşcereleri Ölü Örtüsünde Örtü Yangın Gelişimi” isimli bu çalışma Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır. Çalışma boyunca destek ve yardımlarını esirgemeyen tez danışmanım sayın hocam Doç Dr. Ömer KÜÇÜK’e teşekkürü bir borç bilirim. Arazi çalışmalarında yardımcı olan başta Boyabat Orman İşletme Müdürü Kamuran BİRİNCİ olmak üzere Boyabat Orman İşletme Müdürlüğü personeline de teşekkür ederim. Çalışmalara bizzat eşlik eden sevgili arkadaşlarım Gökhan ÇAKMAK, Erdoğan KARAOĞLU ve Rıfat ÜZÜMCÜ ye teşekkür ederim. Bugünlere gelmemde çok büyük emekleri geçen, hayatım boyunca bana her türlü konuda destek olan çok sevgili aileme teşekkür ederim. Bu çalışmanın orman yangınlarıyla ilgilenen herkese faydalı olması ve yapılacak yeni araştırmalara katkı sağlaması en büyük dileğimdir.

Serkan BULUT
Kastamonu, Mart 2011

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	4
2.1 Ölü Örtü Tabakası Özellikleri ve Yangın Gelişimi.....	5
3. METERYAL VE YÖNTEM.....	12
3.1 Meteryal.....	12
3.1.1 Çalışma alanının konumu.....	12
3.1.2 İklimi.....	12
3.1.3 Meşcere yapısı.....	13
3.2 Yöntem.....	15
3.2.1 Arazi çalışmaları	15
3.2.2 Yangın öncesi ölçümler.....	15
3.2.2.1 Yanıcı madde miktarının belirlenmesi ve deneme alanlarının hazırlanması	15
3.2.2.2 Yangın öncesi yanıcı madde nem içeriklerinin belirlenmesi	18
3.2.2.3 Hava halleri ölçümleri	18

3.2.3 Hat ve nokta yangınları sırasında yapılan ölçümler	18
3.2.4 Yangınlar sonrası yapılan ölçümler.....	22
3.2.5 En/boy oranı.....	22
3.2.6 İstatistik yöntemler	23
4. BULGULAR.....	24
4.1 Kızılcam Ölü Örtüsünde Hat Yangınlarının Gelişimi	24
4.2 Kızılcam Ölü Örtüsünde Nokta Yangınlarının Gelişimi.....	30
5. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	39
5.1 Hat Yangınları.....	39
5.2 Nokta Yangınları	42

SİMGELER DİZİNİ

YM	Yanıcı madde
YO	Yayıma oranı
YŞ	Yangın şiddeti
ÖYMN	Ölü yanıcı madde nemi
DA	Deneme alanı
HN	Hava nemi
E	Eğim
ÖYMM	Ölü yanıcı madde miktarı
HG	Hat genişliği
S	Sıcaklık
BN	Bağıl nem
R	Rüzgar
AB	Alev boyu

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 Basit elips yangın gelişimi.....	8
Şekil 2.2 Değişik çevre koşulları için hızlanma eğrileri grupları.....	10
Şekil 3.1 Çalışma alanının genel konumu.....	12
Şekil 3.2 Deneme yangınlarının yapıldığı meşcerede alt tabakanın görünümü.....	14
Şekil 3.3 Deneme yangınlarının yapıldığı meşçerenin uzaktan görünümü.....	14
Şekil 3.4 a Yanıcı madde neminin belirlenmesi için alınan yanıcı madde Örnekleri.....	16
Şekil 3.4 b Yanıcı madde neminin belirlenmesi için alınan yanıcı madde Örnekleri.....	16
Şekil 3.5 a Yanıcı madde parsellerinin oluşturulması.....	17
Şekil 3.5 b Hazırlanan parsellerin görünümü.....	17
Şekil 3.6 Nokta ve hat deneme yangınları sırasında kullanılan aletler.....	19
Şekil 3.7 Yangınlarda soğutma çalışmaları.....	20
Şekil 3.8 Hat şeklinde tutuşturulan deneme yangınlarından görüntüler.....	20
Şekil 3.9 Hat şeklinde tutuşturulan deneme yangınlarından görüntüler.....	21
Şekil 3.10 Düşük rüzgar hızlarında dairesel şekil alan bir nokta yangınına ait Görüntüler.....	22
Şekil 4.1. Hesaplanan yayılma oranı ile tahmin edilen yayılma oranı arasındaki İlişki.....	28
Şekil 4.2 Hesaplanan yayılma oranı değerleri ile rüzgara bağlı olarak tahmin edilen değerler arasındaki logaritmik ilişki.....	28
Şekil 4.3. Hesaplanan yangın şiddeti ile tahmin edilen yangın şiddeti arasındaki İlişki.....	29
Şekil 4.4. Hesaplanan yangın şiddeti ile tahmin edilen yangın şiddeti arasındaki logaritmik ilişki.....	30
Şekil 4.5. Nokta yangınları yayılma oranı değerlerinin zamana bağlı değişimi.....	32
Şekil 4.6 Nokta yangınlarının ilk dakikası yayılma oranı değerleri ile rüzgar arasındaki ilişki.....	33

Şekil 4.7 Nokta yangınlarının üçüncü dakikasında yayılma oranı değerleri ile rüzgar arasındaki ilişki.....	34
Şekil 4.8 Nokta yangınlarının beşinci dakikasında yayılma oranı değerleri ile rüzgar arasındaki ilişki.....	35
Şekil 4.9 Nokta yangınlarının onuncu dakikasında yayılma oranı değerleri ile rüzgar arasındaki ilişki.....	36
Şekil 4.10 Nokta yangınlarının onuncu dakikasında yayılma oranı değerleri ile rüzgar arasındaki ilişki.....	37
Şekil 4.11 Zamana bağlı e/b oranı değişimi.....	44
Şekil 4.12 1 nolu yangının zamana bağlı olarak e/b oranı değişimi.....	45
Şekil 4.13 2 nolu yangının zamana bağlı olarak e/b oranı değişimi.....	45
Şekil 4.14 3 nolu yangının zamana bağlı olarak e/b oranı değişimi.....	46
Şekil 4.15 4 nolu yangının zamana bağlı olarak e/b oranı değişimi.....	46
Şekil 4.16 5 nolu yangının zamana bağlı olarak e/b oranı değişimi.....	47
Şekil 4.17 6 nolu yangının zamana bağlı olarak e/b oranı değişimi.....	47
Şekil 4.18 7 nolu yangının zamana bağlı olarak e/b oranı değişimi.....	48
Şekil 4.19 8 nolu yangının zamana bağlı olarak e/b oranı değişimi.....	48
Şekil 4.20 9 nolu yangının zamana bağlı olarak e/b oranı değişimi.....	49
Şekil 4.21 10 nolu yangının zamana bağlı olarak e/b oranı değişimi.....	49
Şekil 4.22 11 nolu yangının zamana bağlı olarak e/b oranı değişimi.....	50

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 4.1 Hat yangınlarının yapıldığı parsellerin bazı özellikleri.....	25
Çizelge 4.2 Hat yangınları sırasında meteorolojik koşullar.....	26
Çizelge 4.3 Yanıcı madde, meteorolojik parametreler ve eğimle yangın davranışı arasındaki korelasyon.....	27
Çizelge 4.4 Kızılçam ölü örtüsünde yangın yayılma oranını tahmin eden model.....	29
Çizelge 4.5 Kızılçam ölü örtüsünde yangın şiddetini tahmin eden modeller.....	30
Çizelge 4.6 Nokta yangınlarına ait veriler.....	31
Çizelge 4.7 Nokta yangınlarının ilk dakikasında ölçülen rüzgar ve yayılma oranı değerleri.....	32
Çizelge 4.8 Nokta yangınlarının başlangıcından üçüncü dakikaya kadar ölçülen rüzgar ve yayılma oranı değerleri.....	33
Çizelge 4.9 Nokta yangınlarının başlangıcından beşinci dakikaya kadar ölçülen rüzgar ve yayılma oranı değerleri.....	34
Çizelge 4.10 Nokta yangınlarının başlangıcından onuncu dakikaya kadar ölçülen rüzgar ve yayılma oranı değerleri.....	35
Çizelge 4.11 Nokta yangınlarının başlangıcından onbeşinci dakikaya kadar ölçülen rüzgar ve yayılma oranı değerleri.....	36
Çizelge 4.12 Nokta yangınlarında zamana bağlı e/b değerleri.....	38

1. GİRİŞ

Orman yangınları, her yıl binlerce orman alanının yanıp kül olmasına neden olan mücadelesi güç ve yüksek maliyetli yangınlardır. Orman yangınları, yangına bağımlı ekosistemlerde sistemin vazgeçilmez bir parçası olmasına ve ormanların sürekliliği ile ekolojik dengenin sağlanmasında en önemli öğelerden birini oluşturmasına rağmen, her yıl binlerce hektar verimli orman alanının yanmasına ve ormana dayalı bir çok değerden yeterince yararlanamamıza da neden olmaktadır (Bilgili 1996).

Türkiye orman varlığı 21.188.747 hektar olup, ülke genelinin %27.2'sini kaplar (OGM 2007). Ormanlarımızın yaklaşık % 35'i birinci derece, % 23'ü ikinci derece, % 22'si üçüncü derece, % 15'i dördüncü derece ve % 5'i ise beşinci derecede yangına hassas bölgelerde yer almaktadır. Özellikle, yazları sıcak ve kurak geçen bir iklime sahip olan Ege ve Akdeniz bölgesi, yangına birinci derecede hassas alanların en fazla olduğu bölgelerdir. Ormanlarımızın toplam % 58'i yangınlar açısından riskli bölgelerdedir. Yangın istatistiklerinin tutulmaya başlandığı 1937 yılından 2009 yılı sonuna kadar meydana gelen 86769 adet orman yangını ile toplam 1 617 701 hektar, yıllık ortalama olarak da 22770 hektar ormanlık alan yanmıştır. Bu dönem içerisindeki yıllık ortalama yangın sayısı 1189 adet olup, bir yangın başına düşen yanan alan miktarı 18.64 hektardır. Son 10 yıllık periyottaki orman yangınlarının incelenmesi neticesinde 20938 adet orman yangınının çıktığı ve toplamda 110 456 ha orman alanının yandığı gözlemlenmektedir (OGM 2009).

Orman yangınları ile mücadelede en önemli faktör ilk müdahaledir. Yangının başlama ve gelişme aşamasını içine alan bu süre, yangınların kolaylıkla kontrol altına alınabileceği zaman olup, yangınlarla mücadelede son derece önem arz etmektedir. İlk müdahalede geç kalındığında, yangın mevcut hava hallerine, yanıcı madde durumuna ve arazi yapısına göre bir davranış gösterecektir. Bu durumda yangına karşı uygulanacak söndürme çalışmalarında etkili kararlar verebilmek için yayılma oranı (YO), yangının şiddeti (YŞ) ve yanıcı madde tüketimi (YMT) gibi yangın davranışı (YD) özelliklerinin önceden tahmin edilebilmesi son derece önemlidir. Bu özellikler, yangına müdahale şekline, kullanılacak ekip, araç ve gereçlerin belirlenmesi ve konuşlandırılmasıyla ilgili karar vermede yardımcı olmaktadır (Sağlam 2002, Küçük 2004).

Ülkemizde meydana gelen büyük yangınların bir çoğu, ilk müdahalede gecikildiği veya ekstrem meteorolojik koşulların etkisiyle büyüyen yangınlardır. Bu şekilde kontrolden çıkıp büyüyen yangınların davranış özellikleri önceden tahmin edilemediğinden yangın söndürme araçları ile yangın işçilerinin sevk ve idaresi etkili bir şekilde yapılamamaktadır. Yangın davranışının belirlenebilmesi durumunda etkin söndürme planlarıyla, kaynaklar daha isabetli sevk ve idare edilerek yangınların daha kısa sürede, daha az emek ve para harcanarak söndürülmesi mümkün olacaktır (Sağlam 2002).

Yangın davranışı veya gelişimi ile ilgili olarak yapılan araştırmalar genel olarak tepe yangınlarını incelemekle birlikte (Rothermel 1991, Forestry Canada 1992, Cruz et al. 2003, Alexander et al. 2004, Stocks et al. 2004) örtü yangını gelişimi üzerinde deneysel çalışma daha (Rothermel 1972) azdır. Tepe yangınları, uzak mesafelerde nokta yangınları oluşturmaları, yangın hattını genişleterek büyük alev zonu meydana getirebilmeleri ve yangın söndürme çalışmalarında doğrudan müdahaleyi imkansız kılmaları nedeniyle, yangınla mücadele açısından oldukça zor ve masraflı yangınlardır (Butler and Cohen 1998). Bu yüzden tepe yangınları, yangın yöneticileri tarafından her zaman büyük ilgi görmüştür. Bunun önemli sebeplerinden birisi de çoğunlukla örtü yangınlarındaki daha yüksek yayılma oranlarına ve daha fazla alan kayıplarına neden olmalarıdır. (Küçük Vd. 2009)

Örtüden tepeye geçen yangının yayılma oranının iki veya üç kat artması için geçen zaman periyodunda yanan alan miktarı, aynı periyotta örtü yangını ile yanan alandan en az 4 ile 9 kat daha fazla olabilmektedir (Alexander 1988). Bu yüzden tepe yangınının başlama potansiyelinin tahmin edilmesi ki, örtü yangınından tepe yangınına geçiş durumlarının incelenmesi, yangından korunma ve söndürme çalışmalarının planlanması için önemli olmaktadır (Scott and Reinhardt, 2001, Dimitrakopoulos et al. 2007). Yangın çıkmadan önce yanıcı maddeler üzerinde yapılacak bazı düzenlemeler ile (meşcerenin tekniğine uygun seyreltilmesi, tepe altının budama ile yükseltilmesi, ara ve alt tabakadaki yanıcı maddelerin ortamdaki uzaklaştırılması, vb.) örtü yangınının tepe yangınına geçişi zorlaşabilmekte ve daha uzun zaman gerektirebilmektedir. Bu konuda örtü yangınının tepeye geçişi için gerekli olan kritik örtü yangın şiddetini ve tepe altı yüksekliğini belirten bazı çalışmalar yapılmıştır (Alexander 1998). Ülkemizde en önemli yanıcı madde tipi olan kızılçam plantasyon sahalarında tepe altı yüksekliğinin 2 m'ye çıkartılması ve meşcerenin seyreltilmesi durumunda, 20 km/sa altındaki rüzgarlarda örtü yangınının tepeye geçişinin çok zor olduğu gözlenmektedir (Küçük vd. 2009).

Orman yangınları genellikle ölü örtü tabakasından başlar ve gelişir. Uygun yanıcı madde ve hava halleri koşulları altında tepe yangınına dönüşür. Örtü yangınının tepe yangınına dönüşmesi orman zeminindeki ara ve alt tabakadaki yanıcı maddenin durumu (miktarı, dağılımı, yatay ve dikey sürekliliği, nem içeriği), tepedeki, yanıcı madde miktarı, nem içeriği, tepe altı yüksekliği eğim ve rüzgara bağlıdır (Küçük 2009). Orman yangınları çıkış itibariyle ölü örtüde başlamakta, örtü yangını olarak devam etmekte ve tepe yangınına dönüşmek suretiyle önüne geçilmesi zor yangınlar halini almaktadır. Orman yangınları ile mücadelede çıkış anında, örtüdeki yangını pasifize etmek yangının önlenmesinde en önemli faktördür. Bu yüzden yangının çıkış anından itibaren tepe yangınına dönüşmesi sürecinde, yangının örtü tabakasındaki gelişiminin bilinmesi ilk müdahale için hayati önem sahiptir.

Bu konuda ülkemizde karaçam yanıcı madde tipinde yapılan bir çalışma (Baysal 2007) dışında herhangi bir çalışma yapılmamıştır. Kızılçamın, ülkemizde en fazla yayılış alanına sahip olması (5.4 milyon ha), orman yangınlarının en fazla görüldüğü tür olması ve de bugüne kadar bu türde böyle bir çalışmanın yapılmamış olması, yanıcı madde tipi olarak seçilmesinin en önemli sebebi olmuştur. Çam türlerinin ölü örtü tabakasındaki yanıcı maddelerin kuru olması ve tutuşabilirliğinin yüksek olması, bu yanıcı madde tipinin ölü örtüsündeki yangının gelişiminin bilinmesini önemli kılmaktadır. Bu çalışmada, farklı yanıcı madde özellikleri ve farklı meteorolojik koşullar altında kızılçam ölü örtüsünde deneysel olarak yapılan hat ve nokta yangınlarının gelişimi incelenmiş ve davranış modelleri geliştirilmiştir. Bu modeller, bu tür kızılçam meşcereleri ölü örtüsünde yangının nasıl bir davranış göstereceğinin tahmin edilmesinde kullanılabilir olup, ilk müdahale ekiplerinin yönlendirilmesinde önemli katkılar sağlayacaktır. Diğer taraftan, yanıcı madde miktarının azaltılmasında, diğer bir ifade ile kontrollü yangınların planlanmasında altlık olarak kullanılabilir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Yangının yayılması, ekolojik etkileri ve kontrolünün zorluğu çoğunlukla yangın davranışına bağlıdır. Bu yüzden, yangın araştırmacıları tarafından yangın davranış karakteristiklerini tahmin etmek veya tanımlamak için modeller geliştirilmiş ve yangın karar destek sistemlerine entegre edilmiştir (Finney 1998). Örtü (Rothermel 1983) ve tepe yangını davranışını tahmin edebilen (Rothermel 1991, Forestry Canada 1992, Cruz et al. 2003, Alexander et al. 2004, Stocks et al. 2004) modeller olmasına rağmen, örtü yangınının tepe yangınına geçişini tahmin edebilen az sayıda çalışma vardır (Van Wagner 1993, Alexander 1998). Orman yangını, yeterli miktarda

yanmaya elverişli ölü örtü tabakası bulunmadığı durumlarda tepe yangınına dönüşmez. Dolayısıyla, örtü yangınlarının izlenmesi orman yangınları ile mücadelede hayli önem arz etmektedir. Yangınların başlaması için gerekli olan şartlar, orman zemininde bulunan bu tür ince yanıcı maddeler ve humus tabakası nemiyle yakından ilişkilidir. Yanıcı maddelerin nem içerikleri yağış, hava sıcaklığı, bağıl nem ve buharlaşmaya bağlı olarak farklılıklar göstermektedir. Hava hallerindeki değişimler en fazla ince ölü yanıcı maddelerin nemini etkilemektedir (Küçük 2009).

Yangın davranış modelleri deneysel, yarı deneysel ya da teorik tabanlı olarak oluşturulmaktadır. Bu durum ise, çözümlemesi gereken çeşitli soruların üzerine odaklanılması gerektiğini ortaya çıkarmıştır. Fiziksel modeller, temel olarak yangın davranışını belirleyen değişkenler arasındaki etkileşim ve ilişkiler ile ilgilidir. Yarı deneysel modeller ise, fazla sayıdaki deneme yangınları veya doğal yangın verileri üzerine dayandırılarak yangın amenajmanı karar destek sistemlerinde kullanılmak üzere yangın davranış karakteristiklerinin tahmini için geliştirilmiştir. Fiziksel modeller, tutuşma karakteristikleri, alev karakteristikleri, ısı transferi mekanizmaları ve yanmamış yanıcı maddeler gibi çeşitli konularda bazı eksikliklere sahiptirler (Cruz et al. 2004).

Yarı deneysel model yaklaşımında ise, kullanılabilirlik bakımından fiziksel ve deneysel gözlemleri kombine ettiği için daha uygundur (Van Wagner 1977, Xanthopoulos 1990, Alexander 1998). Van Wagner (1977)'in geliştirdiği tepe yangını başlama modeli, belirli bir yükseklikte, doğrusal ısı kaynağından maksimum sıcaklığa eriştiği yükseklikle ilgilidir. Van Wagner (1977) 'in modeli, tüm dünyada özellikle yangın davranış tahmin sistemlerinde tepe yangınının başlayışını tahmin etmek için yaygın olarak kullanılmaktadır (Van Wagner 1989, Forestry Canada 1992, Scott and Reinhardt 2001). Modelin geliştirilmesi ve simülasyonunun desteklenmesi için yol gösterici rehber çalışmalar da yapılmıştır (Alexander 1988, Cruz et al. 2003, Cruz et al. 2004). Van Wagner (1977)'in geliştirdiği model, maksimum sıcaklık formülizasyonu ile ilgilidir. Başlangıç tutuşmasında yanıcı maddenin nem içeriğinin oldukça önemli bir parametre olduğu, sıcaklık ve zaman profili eğrisine entegre edilmesinin uygun olacağı, çünkü tepe yangını başlaması için sıcaklığın kurutucu etki yaparak yanmayı kolaylaştırdığı belirtilmektedir (de Mestre et al. 1989).

Van Wagner (1977) modelindeki bazı sınırlamaların üstesinden gelebilmek için Xanthopoulos (1990) tepe yangını başlama modelinin geliştirilmesi için bazı yaklaşımlarda bulunmuştur.

Bunlar; bir yangında farklı yüksekliklerde zaman-sıcaklık profillerinin tahmini ve farklı ibreli türlerin ibrelerinin tutuşma zamanının tahminidir.

2.1 Ölü Örtü Tabakası Özellikleri ve Yangın Gelişimi

Ölü örtü tabakasındaki yanıcı madde özellikleri ile hava hallerinin bu tabakadaki yanıcı madde özellikleri üzerindeki etkisi, bu tabakada yangının başlaması ve yayılması ile doğrudan ilişkilidir.

Yanıcı madde boyutu yanıcı maddelerin yanma hızını belirleyen bir faktördür. İnce ve kalın yanıcı maddeler olmak üzere genelde iki grupta incelenirler. Özellikle, ölü ibre, ince dal (<0.6 cm), kabuk ve çayır gibi ince yanıcı maddeler çok hızlı nem alma ve verme özelliğine sahip olmalarından dolayı, kısa sürede kuruyarak tutuşmaya elverişli hal almaktadırlar. Kalın yanıcı maddeler incelene oranla daha büyük ebatlara sahip kök, devrilmiş gövdeler ve kalın çaplı kesim artıklarından oluşmaktadır. Bu tip kalın yanıcı maddeler nemi daha yavaş alıp daha geç bırakırlar. Tutuşmaları uzun zaman alır (Bilgili 1998).

Yanıcı madde boyutu, potansiyel yanıcı madde ağırlığının tahmin edilmesinde yeterli olmaktadır. Bununla birlikte, ulaşılabilir (tüketilebilir) yanıcı madde miktarını tahmin etmek için, bazen hem canlı hem de ölü materyallerin dağılımının büyüklükleri ve hacimleri bilinmelidir. 1-2 cm'den daha kalın çaplara sahip olan ölü yanıcı maddeler, yangının yayılması üzerinde hemen hemen hiçbir etkiye sahip olamazken, oransal olarak reaksiyon şiddetine katkıda bulunurlar (Chandler vd. 1991).

Yanıcı madde düzeni, yanıcı maddelerin yatay ve dikey konumdaki dizilimlerini ifade eder. Yanıcı madde sürekliliği ise, tüm yanıcı maddelerin yatay ve dikey konumdaki sürekliliğini ifade eder. Yanıcı madde düzeni yanmayı, yangın şiddetini, yayılma oranını, havalanmayı dolayısıyla yanıcı madde nem kaybı oranını büyük ölçüde etkiler. Ölü örtüdeki ibre gözenekliliğinin az olması veya sıkışık bir istiflenme göstermesi, bu yapıdaki ölü örtüde yangının çok yavaş ilerlemesine neden olmaktadır. Özellikle, gevşek ve havalanmayı artıracak şekilde istiflenme gösteren çam meşcerelerinin ölü örtü tabakasında, yangın daha hızlı ilerleyebilmektedir. Yangının ilerleyebilmesi, yangının ilerlediği yöndeki yanıcı maddenin sürekliliği ile doğrudan ilişkilidir. Ölü örtü tabakasındaki bir kesinti yangının daha ileriye geçişini engellemekte ya da zorlaştırmaktadır (Bilgili 1998).

Yanıcı madde özelliklerinde meydana gelen değişimler yalnız mekan içerisinde değil, zamana bağlı olarak da ortaya çıkmaktadır. Özellikle, zaman içerisinde meydana gelen iklim değişimleri yanıcı madde özelliklerini dolayısıyla, yangın davranışını değiştirmektedir (Bessie and Johnson 1995).

Yangının başlaması ve gelişmesinde etkili olan diğer bir faktör hava halleridir. Hava hallerindeki değişim, özellikle nem, sıcaklık ve rüzgar durumunda meydana gelen farklılıklar; bir yangının, yakabileceği yanıcı madde miktarının ve yangın şiddetinin bir göstergesi olarak değerlendirilir. Hava hallerinde kısa süreli değişimler, ince yanıcı maddelerin (ince dallar, ibreler vb.) nem durumunu ve tutuşabilirliğini belirler (Albini 1976, Stocks vd. 1989, Pääatalo 1998).

Shroder ve Buck (1970), Blackmarr (1972), Chandler vd. (1991)'nin yaptıkları çalışmada; yanıcı madde nemi, mevcut hava koşullarının farklılığına göre, yangının başlaması ve yayılması için sınırlayıcı bir faktördür. Yanıcı madde nemi yüksek olduğu zaman tutuşma zayıf, yayılma oranı düşük, yanıcı madde neminin düşük olması durumunda ise tutuşma kolay olup, yayılma oranı yüksektir.

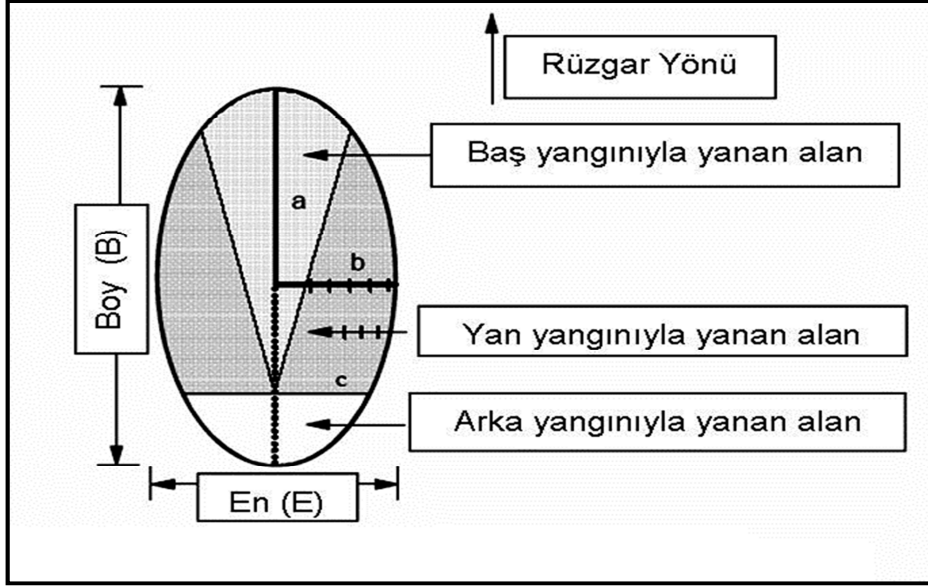
Yanıcı madde nem içeriği % 5'in altına düştüğünde ince ve kalın yanıcı maddelerde yangın aynı oranda yayılma eğilimindedir. Yangının başlayabilmesi ve gelişebilmesi için, yanıcı madde neminin belirli bir düzeyin altında olması gereklidir. Genel olarak %30'luk nem oranı yangının başlayıp gelişebilmesi için üst sınır olarak kabul edilmektedir. (Bilgili vd. 2002). Yanıcı madde nemi bu değer üzerinde çıktığı durumlarda tutuşma ve yayılma güçleşmektedir.

Örtü yangınların başlamasında etkili olan ve yanıcı madde nem içeriğini de etkileyen faktörlerden olan sıcaklık, özellikle ölü ince yanıcı maddelerin sahip oldukları ısıyı değiştirdiklerinden orman yangınlarının nasıl başlayıp nasıl yayılacağına belirlenmesindeki anahtar faktörlerden birisidir. Yanıcı maddenin tutuşması için gerekli olan ısı miktarı (320 °C, 608 F), tutuşma kolaylığını etkilemekte olup, yanıcı maddenin başlangıçta sahip olduğu sıcaklığa bağlıdır (Burgan and Rothermel 1984).

Yangınların yayılmasında en etkili parametre rüzgardır. Rüzgar şeklini belirlediği gibi, yangınlar sırasında açığa çıkan ısıyı ve gazları yanmamış yanıcı maddelere taşıma görevi

görür (Küçük ve Sağlam 2004). Rüzgar, zamansal ve konumsal olarak yangın davranışına yaptığı etki bakımından, yangın davranış modellerinin içerisine sayısal veri olarak entegre edilen en zor değişkenlerden birisidir. Rüzgarın yayılma oranı üzerindeki etkisinin belirlenmesi için belli bir yükseklikte yapılan rüzgar ölçüm değerleri kullanılmaktadır. Standart olarak rüzgâr ölçümünün yapıldığı yükseklik, 10 m'dir. Ancak ölü örtü tabakasında yapılan deneysel çalışmalarında rüzgar hızı değerlerinin ölçüldüğü yükseklik 1.5-2 m'dir. Rüzgarın arazi koşullarında çok değişkenlik göstermesinden dolayı, bu değişkenliği modellere yansıtılabilmek için belirli aralıklarla ölçülen rüzgar değerleri kullanılmaktadır (Küçük vd. 2009). Bir noktadan başlayan yangının gelişimi büyük oranda rüzgarın ani ve sert esişine, yöresel rüzgar yön değiştirmelerine ve arazi şartlarındaki şiddetli rüzgar değişikliklerine bağlıdır (Baysal 2007). Orman yangınları başlangıçta dairesel bir gelişme göstermelerine rağmen, daha sonra rüzgar, eğim ve diğer çevresel faktörlerin etkisiyle elips veya başka bir şekil alırlar (Bilgili 1991, Bilgili vd. 2002). Rüzgar, hızının belli bir düzeyin üzerine çıkması durumunda, yanıcı madde özelliklerindeki farklılıkların yangın davranışı üzerine olan etkileri ortadan kalkmakta, özellikle yangın yayılma oranını belirleyen tek faktör durumuna geçebilmektedir. Dolayısıyla, rüzgar yangın davranışındaki kararsızlığı ve düzensizliği etkilemektedir (NWCG 1981).

Rüzgarın şekillendirdiği nokta kaynaklı yangınlarda nispeten belirli bir yönde sabit esen rüzgarda gelişen yangının genel şekli elips olma eğilimindedir (Şekil 2.1). Elips yangın gelişim şekline göre, yayılma oranı ve yangın şiddeti baş yangınında en yüksek olup yan yangınından arka yangınına doğru gittikçe azalma eğilimindedir.. Elips biçiminde gelişim gösteren yangının alanı ve çevresi, baş ve arka yangını hızı; rüzgar hızı ve tutuşmadan sonra geçen zaman esas alınarak hesaplanabilir (Baysal 2007).

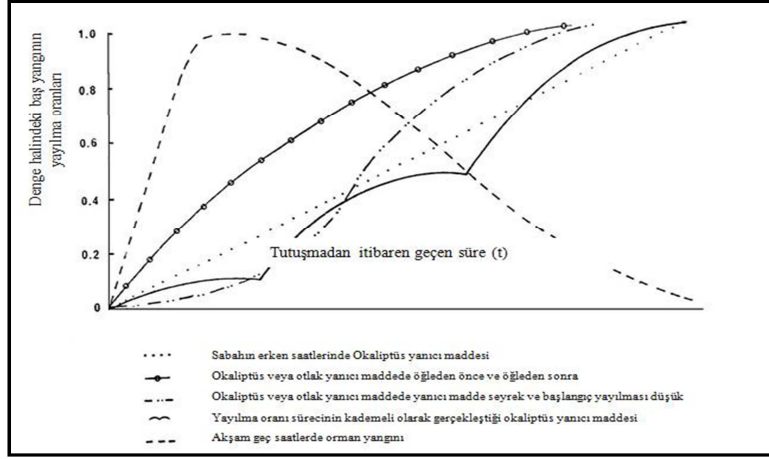


Şekil 2.1 Basit elips yangın gelişimi

Yayıma oranı baş yangının gelişme oranını tanımlamak için kullanılır. Yangın davranışında; ön, yan ve arka yangın yayılma oranlarının bir fonksiyonu olarak yangının çevresinin artma veya büyüme oranı, diğer faktörlerin dahilindedir. Kanada sisteminde yangın yayılma oranı; ölü örtüdeki yanıcı madde durumu, nem içeriği, eğim ve rüzgara dayandırılmıştır (Bilgili 1995). Yangının yayılış hızını tahmin etmek için, doğal olarak gerçekleşmiş çok sayıda orman yangınlarından elde edilen veriler ile, kontrollü yangınlardan elde edilen verilere dayalı modeller geliştirilmiştir. Geliştirilen modellerde rüzgar ve yanıcı madde özellikleri oldukça önemli olmaktadır (Anderson 1969, Rothermel 1972, Van Wagner 1973, Van Wagner 1989).

Hızlanma oranını tahmin eden teoriler mevcut olmasına rağmen, konuyu matematiksel açıdan ifade edememektedirler. Luke ve McArthur (1986) yaptıkları çalışmada hızlanma oranına etki eden 8 faktör tespit etmişlerdir:

1. 6 mm.'den küçük çaptaki ölü yanıcı maddelerin nem içerikleri
2. Canlı vejetasyonun ve kalın ölü örtü tabakasının nem içeriği
3. Zemindeki yanıcı madde yüzey alanı ve dağılımı
4. Yanma oranı ve yanıcı maddelerin tamamen yanması için geçen zaman
5. Yüzeideki rüzgar hızı
6. Atmosferik değişiklikler
7. Eğim
8. Nokta yangınları oluşturma süreci



Şekil 2.2 Değişik çevre koşulları için hızlanma eğrileri grupları (Luke and Mc Arthur 1986)

Yanıcı madde ağırlığı, yanıcı madde derinliği (kalınlığı), yanıcı madde parçacıklarının yüzey/hacim oranı, parçacık yoğunluğu, nem içeriği, mineral içeriği (hem toplam hem de serbest silis), rüzgar hızı, eğim ve açığa çıkan nem değerlerinin ölçümünden yangın yayılma oranının ve yangın şiddetinin önceden tahmin edilebileceği eşitliklerin oluşturulabilmesi için tüm veriler bir araya getirilmektedir. Açığa çıkan nem miktarı ile mineral içeriği dışında modelin girdisi olan tüm değişkenler arazide ölçülebildiğinden, bu eşitlikler dünyanın her tarafında önemli kabul edilmektedir. Bu eşitlikler de, uygun değişkenler kullanılarak belirli yerlerde yangının yayılışı ve şiddeti tahmin edilebilmektedir (Baysal 2007).

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

Catchpole ve arkadaşları (1992) laboratuvar koşullarında rüzgar tüneline farklı yanıcı madde boyutu, yanıcı madde derinliği, yanıcı madde yükü, yanıcı madde nem içeriği ve farklı rüzgar hızlarında 357 adet deneme yangını gerçekleştirmişlerdir. Sonuçta, yayılma oranının yanıcı madde tipi ve çapına bağlı olarak yanıcı madde nem içeriğiyle azaldığını, yanıcı madde

derinliğinin yayılma oranı üzerine düşük derecede etkisinin olduğunu ve yayılma oranı ile rüzgar hızı arasındaki ilişkinin doğrusal bir ilişki olduğunu ortaya koymuşlardır.

Yangın şiddeti, yangının açığa çıkardığı enerjinin oranını gösterir ve genellikle ısı (kalori) veya güç (watt) birimleri ile ifade edilir (Küçük 2004). Yangın şiddeti, her yangın için, yangın esnasında veya sonrasında olumsuz etki ve zararların belirleyicisidir. Yangın şiddeti, vejetasyon yangınlarının kontrol edilme güçlüğünü belirleyen ana belirleyicilerden bir tanesidir. En çok kullanılan şekli ise yangın hattı şiddetidir (Byram 1959). Yangın şiddeti, yangın yayılma oranı, yanma sonucunda açığa çıkabilecek potansiyel ısı ve yanan madde miktarı dikkate alınarak hesaplanır:

$$I = H \times W \times R \quad (2.1)$$

I: yangın hattı şiddeti (kw/m), H: yanma ısısı (Cal/gr) = 18000 (kj/kg)

W: yanıcı madde miktarı (ton/ha), (kg/m²), R: yangın yayılma oranı (m/dak),(km/sa)

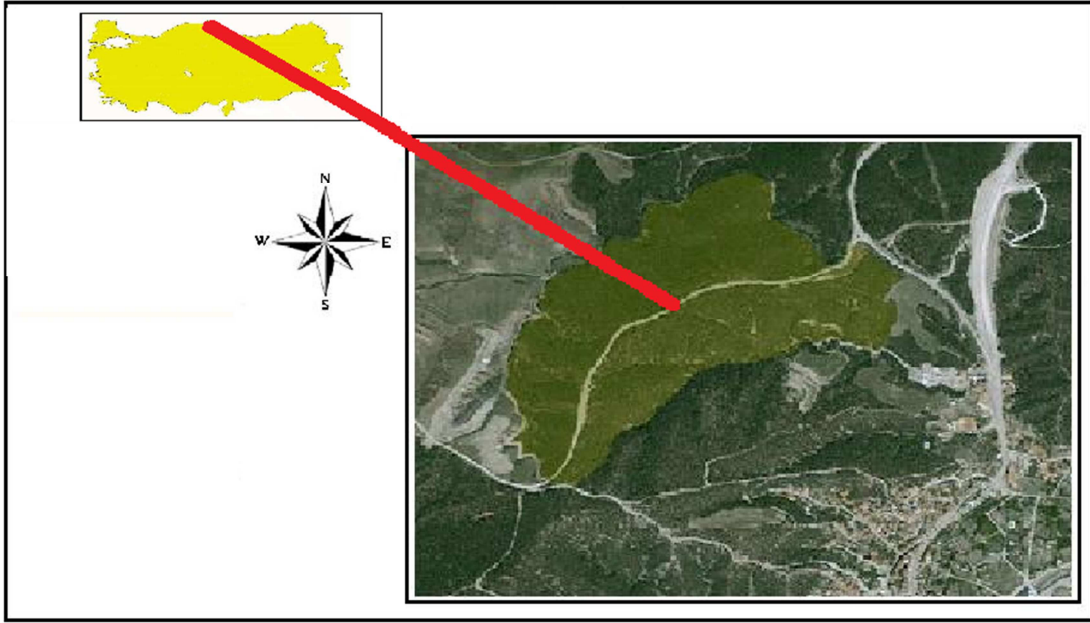
Serbest tutuşmadaki yangında, yangın şiddeti oranının ölçülmesinde geniş oranda kabul görmüş olan Byram (1959)'ın formülü kullanılmaktadır. Yangın başladığında her zaman, potansiyel şiddeti 10 kW/m'yi aşabilir. Yangın şiddeti, her yangın için yangın esnasında veya sonrasında olumsuz etki ve zararların belirleyicisidir Yangın şiddeti, yangınlarla mücadelenin zorluk derecesini ortaya koyan bir göstergedir (Küçük 2004).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Materyal

3.1.1 Çalışma alanının konumu

Çalışma alanı, Türkiye'nin kuzeybatısında, 41° 28' 43'' kuzey enlemleri ile 34° 45' 31'' doğu boylamları arasında yer almaktadır. Sinop ili Merkez ilçesi sınırları içinde yer alan çalışma alanı, Boyabat Orman İşletme Müdürlüğü, Boyabat Orman İşletme Şefliği sınırları içerisinde bulunmaktadır. Denizden yükseklik yaklaşık 350 metredir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 Çalışma alanının genel konumu

3.1.2 İklimi

Sinop İli ve Batı Karadeniz iklim özelliklerinin iç içe geçtiği bir yörededir. Sinop ilinde mevsimler arası sıcaklık farkları pek büyük değildir. Yıl boyunca esen sürekli rüzgârlar, etkili olmaktadır. Yazın birkaç gün dışında, bütün yıl nemli ve yağışlı geçer. Sinop'un kuzey kesiminde Karadeniz iklim tipi egemendir. İlin güney kesimlerinde ise kıyıya koşut olarak uzanan dağlar nedeniyle, Karadeniz ikliminin etkisi giderek azalmaktadır. Bu bölgede yağışlar azalır, sıcaklık düşer, bozkır ikliminin etkileri görülmeye başlar.

İlde başlıca iki iklim karakteri hakimdir. Sahil kuşağında yer alan Merkez, Dikmen, Gerze, Erfelek, Ayancık ve Türkeli ilçelerinde iklim mutedildir. Yılın her mevsiminde yağış görülür. Dağların kıyıya paralel olması nedeniyle deniz iklimi içlerlere pek giremez. Bu nedenle

Boyabat, Durağan ve Saraydüzü İlçelerinde Karadeniz iklimi ile İç Anadolu'nun karasal iklimi arasında bir geçit bölgesi iklimi hakimdir. Deneme alanlarının alındığı nokta Boyabat ilçesi sınırları içerisinde bulunması sebebiyle iç kısımların iklim özellikleri çalışma için ön plandadır. İç kesimlerde ise ortalama yağış 388-473 mm., yağışlı gün sayısı 66-87 gün arasındadır. En yüksek sıcaklık 41 derece, en düşük sıcaklık -10.5 derecedir. Boyabat'ta 388,7 mm yıllık ortalama yağış bulunmaktadır. Sinop, kuzey rüzgârlarına açık olduğundan, sürekli rüzgâr alır. İlin konumu, kuzey (yıldız) rüzgârlarının zaman zaman çok şiddetli esmesine yol açar. Bu rüzgârın hızı saniyede 20-25 metreye dek ulaşabilir. Sinop ilindeki bitki örtüsü, çok çeşitli ağaç türlerinden oluşmuştur. Sinop-Gerze ormanları kıyından iç kesimlere gidildikçe iklim kuraklaşmaya başlar. Bu nedenle, bu kesimde kuzeydeki gür bitki örtüsünün yerini bozkır bitkileri alır. Ancak vadiler aracılığıyla denizsel etkinin taşınmasından kaynaklı sıcaklık artışı bulunan yerlerde kızılçam ve ardıç türleri yoğun olarak yer almıştır. Karasal ikliminde etkisiyle bozuk olarak yetişmiştir. Bu durum deneme yangınlarının yapıldığı Boyabat'ta açıkça görülmektedir.

3.1.3 Meşcere yapısı

Çalışma alanı, saf Kızılçam (*P.brutia* Ten.) plantasyon meşceresi olup, %0-%25 eğime sahiptir. Meşcere Çzbc3 çağında, %80-85 kapalılıkta ve ortalama 30 yaşlarındadır. Meşcere ortalama boyu 8-10 m, tepe altı yüksekliği 2.5 m, ortalama tepe çapı 3-4 m'dir. Ortalama göğüs yüksekliğindeki gövde çapı ($d_{1.3}$) 18 cm'dir. Meşcerenin alt tabakasında diri örtü bulunmamakta ve saf ölü örtüden oluşmaktadır (Şekil 3.2). Hektardaki ortalama ağaç sayısı 1000-1200'dir (Şekil 3.3). Ölü örtü içerisinde çoğunluğunu ibre oluşturmakla birlikte dal, kabuk ve nadiren de kozalak bulunmaktadır. Ölü örtü tabakasının kalınlığı 2-4 cm arasında değişmiştir.



Şekil 3.2 Deneme yangınlarının yapıldığı meşcerede alt tabakanın görünümü



Şekil 3.3 Deneme yangınlarının yapıldığı meşcerenin uzaktan görünümü

3.2 Yöntem

Bu çalışma; arazi, laboratuvar, ve istatistik analiz olmak üzere 3 aşamadan oluşmaktadır.

3.2.1 Arazi çalışmaları

Arazi çalışmaları 2009 yılı yaz döneminde başlamış olup deneme yangınları 2009 yılı Eylül ayı içerisinde gerçekleştirilmiştir. Çalışma sırasında 34 adet hat ve 11 adet nokta olmak üzere toplam 46 adet deneme yangını gerçekleştirilmiştir.

3.2.2 Yangın öncesi ölçümler

Deneme yangınları yapılmadan önce yanıcı madde özelliklerinden olan yanıcı madde miktarı ve yanıcı madde nem içeriğinin belirlenmesi ile ilgili ölçümler yapılmıştır.

3.2.2.1 Yanıcı madde miktarının belirlenmesi ve deneme alanlarının hazırlanması

Yanıcı Madde (YM) miktarını belirlemek için, hat ve nokta yangınlarında yanıcı madde parsellerindeki yapıyı temsil eden deneme yangının yapılacağı alanın bitişiğinden, basit rasgele olarak 30×30 cm ebatlarında parseller alınmıştır. Örnek alan içerisindeki tüm ibre, dal ve humus tabakası kısımlarına ayrılıp (ibre ve dal (çapı 0.6 cm'den ince, 0.6-2.5 cm ve 2.5 cm'den daha kalın çaplı dallar) poşetlenerek arazide hassas terazi ile tartılarak yaş ağırlıkları belirlenmiştir (Şekil 3.4 a, b). Alınan örnekler daha sonra laboratuvarda 24 saat süre ile 105 °C' de kurutma fırınlarında fırın kurusu hale getirilerek hassas (1/100 gr) terazide tartılmıştır. Arazide yanıcı madde üzerinde yapılan ölçümler ve laboratuvar çalışmaları sonucunda elde edilen fırın kurusu ağırlıklarına ait veriler, analiz edilmek ve değerlendirilmek üzere bilgisayar ortamına aktarılmıştır.



Şekil 3.4a Yanıcı madde neminin belirlenmesi için alınan yanıcı madde örnekleri



Şekil 3.4b Yanıcı madde neminin belirlenmesi için alınan yanıcı madde örnekleri

Yanıcı madde miktarı belirlendikten sonra deneme yangınları için farklı yanıcı madde parselleri oluşturulmuştur. Bunun için farklı parsel genişlikleri diğer bir ifade ile tutuşturma

genişlikleri kullanılmıştır. Çalışma kapsamında 1×1, 1.5×2, 2×2, 3×3 ve 5×5 m parsel genişliği kullanılmıştır (Şekil3.5 a, b). Böylece, tutuşturma genişliğinin yangın yayılma oranı üzerinde etkisinin olup olmadığı belirlenmesi amaçlanmıştır. Diğer taraftan yapay olarak yanıcı madde miktarı artırılarak (normal ölü örtü miktarı 2 katına çıkarılarak) yanıcı madde miktarının yayılma oranı üzerindeki etkisi de araştırılmıştır.



Şekil 3.5a Yanıcı madde parsellerinin oluşturulması



Şekil3.5b Hazırlanan parsellerin görünümü

3.2.2.2 Yangın öncesi yanıcı madde nem içeriklerinin belirlenmesi

Deneme yangınlarında ölü örtü ve humus materyalinin olduğu katmanlarda yanıcı maddenin yanma koşulları ile ilgili olarak sahip oldukları nem içerikleri belirlenmiştir. Yanıcı maddenin

nem içeriğini belirlemek için, deneme yangınları yapılmadan hemen önce ölü ve humus yanıcı madde örnekleri alınıp hassas terazide tartılarak bunların yaş ağırlıkları belirlenmiştir. Bu örnekler laboratuvarında kurutma fırınlarında 105 C⁰ de 24 saat süre kurutulduktan sonra tartılarak fırın kurusu ağırlıkları belirlenmiştir. Yaş ağırlıkları ile fırın kurusu ağırlıklarının oranlanması sonucunda yanıcı maddelerin yangın anındaki nem içerikleri belirlenmiştir.

3.2.2.3 Hava halleri ölçümleri

Deneme yangınlarının yapıldığı süreç içerisindeki hava halleri meteoroloji genel müdürlüğünden alınmakla beraber, deneme yangınları sırasında rüzgar, sıcaklık ve nem bilgileri mobil meteorolojik el aleti olan Kestrel 4500 (Kestrel 4500, Pocket Weather Tracker) ile ölçülmüştür. Sıcaklık ve nem değerleri her bir deneme yangının başlangıcında ölçülürken, rüzgar ölçümleri her bir yangında hat yangınlarında her 5 saniyede bir nokta yangınlarında her 15 saniyede bir kayıt edilmiştir. Rüzgar ölçümleri için 1.5 m yükseklikte değerler dikkate alınmıştır. Arazide ölçülen bu veriler, daha sonraki analizlerde yangın davranışı ile ilişkiye getirilmek amacıyla kullanılmıştır.

3.2.3 Hat ve nokta yangınları sırasında yapılan ölçümler

Hat kaynaklı yangınlarda yayılma oranı çok kısa bir süre içerisinde sabitlenmektedir. Nokta kaynaklı yangınlarda ise sabit yayılma değerine belirli bir süre geçtikten sonra ulaşılmaktadır. Arazide örtü yangınlarının ulaşabileceği en yüksek yayılma oranı değerlerini belirleyebilmek için hat deneme yangınlarında tutuşturmalar alev ibriği ile rüzgar yönüne dik olarak hat şeklinde gerçekleştirilmiştir.

Deneme yangınlarının yapıldığı yerde parsellerin konumlarını belirlemeden önce hakim rüzgar yönü tespit edilmiştir. Hat yangınlarının yapıldığı parsellerin uzun kenarları, rüzgar yönüne paralel olarak 3 metre uzunluğunda ve 1 metre genişliğinde bazı parsellerse rüzgar yönüne 5 metre uzunluğunda ve 5 metre genişliğinde hazırlanmıştır. Yangının yayılma oranı değerlerinin belirlenmesi için parsellerin başlangıcından sonuna kadar ulaşması beklenmiş ve 5 saniye aralıklarla rüzgar hızları ölçülmüş ve kaydedilmiştir. Elde edilen bu değerler, yangın yayılma oranı hesaplamalarında kullanılmıştır. Nokta yangınlarında 1.dk 3.dk 5.dk 10.dk ve 15. dakikaya kadar ölçümler yapılmıştır. Nokta yangınlarının yayılma oranlarının belirlenmesinde ilk dakikadan itibaren belirtilen dakikalara kadar ölçümler kümülatif olarak yapılmıştır. Diğer bir ifade ile, 1. dakika ölçümü yapıldıktan sonra 3. dakika ölçümü yapılmış olup 3. dakika sonundaki yayılma oranının hesaplanmasında 1. dakikadan itibaren 3. dakikaya kadar olan tüm rüzgar değerleri ve mesafe değerleri kullanılmıştır. Diğer zamanlar için de

yayılma oranları bu şekilde hesaplanmıştır. Tutuşturmalar hat yangınlarında, rüzgar yönünde ve alev ibriği ile, nokta yangınlarında ise kibrit ile gerçekleştirilmiştir. Yangınlar sırasındaki meteorolojik ölçümleri yapabilmek (sıcaklık, bağıl nem, rüzgar) için Kestrel 4500 kullanılmıştır (Şekil 3.6).



Şekil 3.6 Nokta ve hat deneme yangınları sırasında kullanılan aletler

Deneme yangınlarının yapıldığı süre boyunca, yangın sonrası soğutma çalışmalarında, yangının diğer alanlara sıçramasını önlemek ve gerektiğinde söndürmek için 1 arozöz ve 1 yangın ekibi hazır bulundurulmuştur (Şekil 3.7).



Şekil 3.7 Yangınlarda soğutma çalışmaları



Şekil 3.8 Hat şeklinde tutuşturulan deneme yangınlarından görüntüler



Şekil 3.9 Hat şeklinde tutuşturulan deneme yangınlarından görüntüler



Şekil 3.10 Düşük rüzgar hızlarında dairesel şekil alan bir nokta yangınına ait görüntüler

3.2.4 Yangınlar sonrası yapılan ölçümler

Nokta deneme yangınlarından sonra çelik çubuklar kullanılarak işaretlenen noktalar çelik şerit metre yardımıyla ölçülmüş ve çelik çubuklar arasındaki mesafeler ölçülerek kaydedilmiştir.

3.2.5 En/boy oranı

Anderson (1983) tarafından uzunluk-genişlik, Alexander (1985) tarafından en-boy (E/B) olarak tanımlanan ve genel şekli elips biçiminde olan yangınlarda baş yangınıyla geri yangını arasındaki mesafenin yan yangınları mesafesine oranını göstermektedir. 2 değeri yangının boyunun eninin 2 katı kadar bir değerde olduğunu ifade etmektedir (McAlpine 1988). Nokta deneme yangınlarında en/boy oranının belirlenmesi için yan yangınları mesafesi ile baş yangını ve geri yangını mesafeleri kullanılmıştır.

3.2.6 İstatistik yöntemler

Arazi ve laboratuarda yapılan çalışmaların sonucunda elde edilen veriler bilgisayarda istatistik yöntemlerle değerlendirilmiştir. İstatistik analizler SPSS 13.0 paket programı kullanılarak

yapılmıştır. Yangın davranış özellikleri ile hava halleri, yanıcı madde özellikleri ve topoğrafik özellikler arasındaki ilişkiler korelasyon ve regresyon analizleri ile ortaya konulmuştur. Regresyon analizlerinde yanıcı madde özellikleri, meteorolojik parametreler ve topoğrafik özellikler bağımsız değişken, yangın davranış parametreleri (yayılma oranı ve yangın şiddeti) ise bağımlı değişken olarak kullanılmıştır. Bağımsız değişkenlere göre hat ve nokta deneme yangınları için regresyon analizleri sonucunda yayılma oranı ve yangın şiddetini tahmin eden doğrusal ve doğrusal olmayan modeller geliştirilmiştir.

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

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

Y = Bağımlı değişken,

X, X_i = bağımsız değişkenler,

a = modelin sabit katsayısı

b, n = regresyon katsayıları

Geliştirilen regresyon modelleri içerisinde belirtme katsayısı en yüksek olanlar ve pratikte kolay uygulanabilir olanlar seçilmiştir. İstatistiksel sonuçlar $\alpha = 0.05$ önem düzeyine göre değerlendirilmiştir.

4. BULGULAR

Kızılçam ölü örtüsünde yangın gelişimini belirlemek için yapılan bu çalışmada hat ve nokta yangını verileri ve analizleri ayrı ayrı olarak değerlendirilmiştir.

4.1 Kızılçam Ölü Örtüsünde Hat Yangınlarının Gelişimi

Kızılçam ölü örtüsünde hat yangınlarının gelişimini belirlemek için toplam 35 adet hat deneme yangını yapılmıştır. Deneme yangınlarının yapıldığı alan plantasyon sahası olduğu için yanıcı madde miktarı nispeten değişiklik göstermemiştir. Bununla birlikte yanıcı madde miktarındaki farklılığın yangın gelişimine etkisinin olup olmadığı ortaya koymak için yapay olarak oluşturulan yanıcı madde parsellerinde farklı yanıcı madde miktarları kullanılmıştır. Hat yangınları için hazırlanan parsellerde ölü örtüdeki yanıcı madde miktarı 0.190 kg/m^2 ile 0.690 kg/m^2 arasında değişiklik göstermiştir. Ölü örtüdeki ince yanıcı madde nem içeriği %3 ile %12 arasında değişiklik gösterirken, humus nem içeriği ise, %5.5 ile %36.6 arasında değişiklik göstermiştir. Yanıcı madde parsellerinin bulunduğu yerde eğim %0 -%25 arasında değişim göstermiştir. Deneme yangınlarının yapıldığı parsellerde tutuşturma hat genişliği 1m ile 5m arasında olup, Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Hat yangınlarının yapıldığı parsellerin bazı özellikleri

DA	ÖYMN (%)	HN (%)	E (%)	THG (m)	ÖYMM (kg m^{-2})
1	6.60	5.7	0	1.0	0.300
2	7.00	6.0	0	1.0	0.300
3	14.00	22.0	3	2.0	0.302

4	12.40	22.1	3	1,5	0.302
5	12.00	22.0	10	1.0	0.302
6	12.00	22.0	10	1.0	0.302
7	12.00	22.0	10	3.0	0.472
8	5.39	18.6	10	3.0	0.472
9	5.00	19.0	10	3.0	0.472
10	6.40	17.0	10	1.5	0.676
11	6.40	17.5	25	1.5	0.676
12	6.40	17.0	10	3.0	0.476
13	6.40	17.0	10	3.0	0.476
14	6.40	17.0	10	3.0	0.476
15	6.40	17.0	10	3.0	0.476
16	6.40	17.0	10	1.0	0.190
17	3.00	6.3	10	1.0	0.190
18	3.00	6.3	10	1.0	0.190
19	3.00	6.3	0	1.0	0.550
20	11.40	36.6	5	5.0	0.550
21	11.40	36.6	5	5.0	0.550
22	11.40	36.6	8	5.0	0.620
23	4.80	6.8	10	5.0	0.620
24	4.80	6.8	5	5.0	0.620
25	4.80	6.8	10	5.0	0.620
26	4.80	6.8	12	5.0	0.620
27	4.80	6.8	25	5.0	0.591
28	8.50	24.5	17	5.0	0.591
29	8.50	24.5	20	5.0	0.591
30	8.50	24.5	5	5.0	0.591
31	8.50	24.5	7	5.0	0.591
32	8.50	24.5	8	5.0	0.591
33	8.50	24.5	2	5.0	0.591
34	8.50	24.5	2	5.0	0.591
35	8.50	24.5	3	5.0	0.591

* (ÖYMN, ölü yanıcı madde nemi (%); HN, humus nemi (%); Eğim, (%); THG, Tutuşturma hattı genişliği (m); ÖYMM, ölü yanıcı madde miktarı (kg/m²).

Deneme yangınları sırasında sıcaklık 18 °C ile 27.8 °C arasında, bağıl nem %21 ile %52 arasında, rüzgar ise 0.48 km/saat ile 2.96 km/saat arasında değişmiştir. Yayılma oranı 0.30 m/dak ile 3.40 m/dak arasında değişmiştir. Yangın şiddetini pratikte bir göstergesi olan alev boyu 5 cm ile 50 cm arasında değişirken, yangın şiddeti değerleri ise, 89 kW/m ile 2250 kW/m arasında değişmiştir. Hat yangınlarına ait veriler Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2 Hat yangınları sırasında meteorolojik koşullar

Y No	S (°C)	BN (%)	R (km/saat)	ÖYMN (%)	HN (%)	ÖYMM (kg/m ²)	AB (cm)	E (%)	THG (m)	YO (m/dak)	YŞ (kW/m)
1	21.0	52.0	0.48	6.6	5.7	0.300	10	0	1.0	0.56	169
2	18.0	51.0	1.42	7.0	6.0	0.300	10	0	1.0	0.52	155
3	20.0	48.0	0.81	14.0	22.0	0.302	20	3	2.0	0.56	167
4	18.5	47.0	0.73	12.4	22.1	0.302	5	3	1.5	0.30	89
5	21.3	45.0	1.20	12.0	22.0	0.302	15	10	1.0	0.57	170

6	21.2	46.6	2.12	12.0	22.0	0.302	15	10	1.0	0.98	293
7	26.3	42.0	2.27	12.0	22.0	0.472	25	10	3.0	2.31	692
8	26.3	42.0	2.20	5.3	18.6	0.472	20	10	3.0	2.12	635
9	23.5	41.0	1.92	5.0	19.0	0.472	40	10	3.0	0.56	167
10	25.2	38.0	1.91	6.4	17.0	0.676	25	10	1.5	1.71	1029
11	25.2	38.0	3.02	6.4	17.5	0.676	25	25	1.5	3.40	2038
12	22.8	37.0	1.44	6.4	17.0	0.476	20	10	3.0	1.05	628
13	22.0	42.0	1.85	6.4	17.0	0.476	35	10	3.0	0.86	517
14	22.0	42.0	1.28	6.4	17.0	0.476	35	10	3.0	0.95	568
15	26.0	37.0	1.24	6.4	17.0	0.476	20	10	3.0	0.54	325
16	25.0	36.0	1.63	6.4	17.0	0.190	30	10	1.0	0.63	378
17	24.7	35.0	0.79	3.0	6.3	0.190	10	10	1.0	0.38	228
18	22.8	35.0	0.58	3.0	6.3	0.190	15	10	1.0	0.36	213
19	26.0	35.0	0.47	3.0	6.3	0.550	25	0	1.0	0.45	270
20	21.5	33.0	1.88	11.4	36.6	0.550	40	5	5.0	1.27	759
21	24.8	28.0	1.15	11.4	36.6	0.550	30	5	5.0	0.93	560
22	24.1	28.0	2.44	11.4	36.6	0.620	45	8	5.0	2.31	1385
23	24.2	27.0	2.17	4.8	6.8	0.620	50	10	5.0	1.76	1059
24	23.4	24.0	2.42	4.8	6.8	0.620	50	5	5.0	2.48	1488
25	24.2	24.0	2.18	4.8	6.8	0.620	40	10	5.0	0.83	497
26	26.0	23.0	1.40	4.8	6.8	0.620	30	12	5.0	1.22	735
27	26.0	24.0	2.72	4.8	6.8	0.591	50	25	5.0	3.75	2250
28	27.0	22.0	1.90	8.5	24.5	0.591	45	17	5.0	1.76	1059
29	26.3	24.0	2.90	8.5	24.5	0.591	55	20	5.0	2.68	1607
30	27.6	24.0	2.92	8.5	24.5	0.591	35	5	5.0	1.88	1125
31	25.6	25.0	2.96	8.5	24.5	0.591	40	7	5.0	2.40	1440
32	26.9	24.0	1.20	8.5	24.5	0.591	25	8	5.0	1.67	1000
33	27.0	22.0	2.20	8.5	24.5	0.591	25	2	5.0	2.16	1295
34	27.0	22.0	2.48	8.5	24.5	0.591	35	2	5.0	2.29	1374
35	27.8	21.0	1.70	8.5	24.5	0.591	20	3	5.0	1.59	954

*ölü örtü yanıcı madde karakteristikleri ve eğim değerleri ile yangın davranış parametrelerinden olan yayılma oranı ve yangın şiddeti değerleri (S, sıcaklık (°C); BN, bağıl nem (%); ÖYMN, ölü yanıcı madde nemi (%); HN, humus nemi (%); AB, alev boyu, (cm); E, Eğim, (%); THG, Tutuşturma hattı genişliği (m); YO, yayılma oranı (m/dak); YŞ, yangın şiddeti (kW/m); ÖYMM, ölü yanıcı madde miktarı (kg/m²); R, rüzgar hızı (km/saat)

Yayılma oranı ve yangın şiddeti ile yanıcı madde özellikleri, hava halleri ve topoğrafik özellikler arasında ilişkiyi belirlemek için korelasyon analizi yapılmıştır. Çizelge 4.3.'de bağımlı değişken ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişki ve korelasyon katsayıları verilmiştir.

Çizelge 4.3 Yanıcı madde, meteorolojik parametreler ve eğimle yangın davranışı arasındaki korelasyon

	S	BN	ÖYMN	HN	AB	E	THG	YO	YŞ	ÖYMM	R
S	1										
BN	0.752 ^(**)	1									
ÖYMN	-0.257	0.186	1								
HN	0.149	-0.175	0.765 ^(**)	1							
AB	0.396 ^(*)	-0.642 ^(**)	-0.125	0.158	1						
E	0.284	-0.190	-0.210	-0.084	0.398 ^(*)	1					
THG	0.540 ^(**)	-0.834 ^(**)	0.085	0.374 ^(*)	0.731 ^(**)	0.103	1				
YO	0.547 ^(**)	-0.531 ^(**)	0.019	0.192	0.580 ^(**)	0.519 ^(**)	0.554 ^(**)	1			
YŞ	0.556 ^(**)	-0.657 ^(**)	-0.060	0.174	0.649 ^(**)	0.515 ^(**)	0.613 ^(**)	0.956 ^(**)	1		
ÖYMM	0.589 ^(**)	-0.675 ^(**)	-0.070	0.238	0.658 ^(**)	0.239	0.749 ^(**)	0.680 ^(**)	0.733 ^(**)	1	

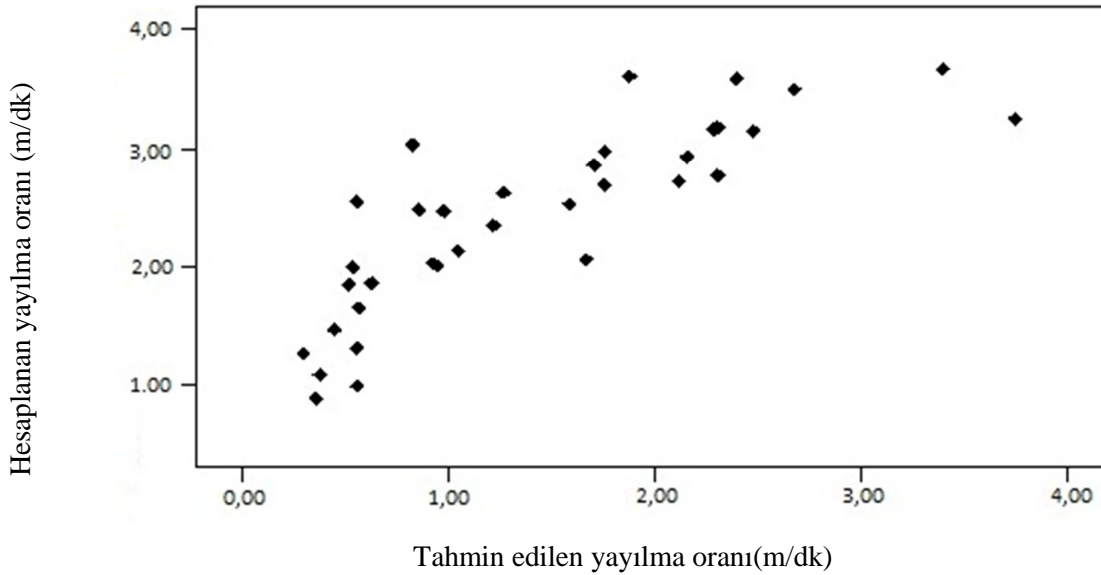
R	0.443	-0.474 ^(**)	0.064	0.269	0.657 ^(**)	0.454 ^(**)	0.553 ^(**)	0.830 ^(**)	0.789 ^(**)	0.620 ^(**)	1
----------	-------	------------------------	-------	-------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	---

** 0.01 güven düzeyinde anlamlı.

* 0.05 güven düzeyinde anlamlı.

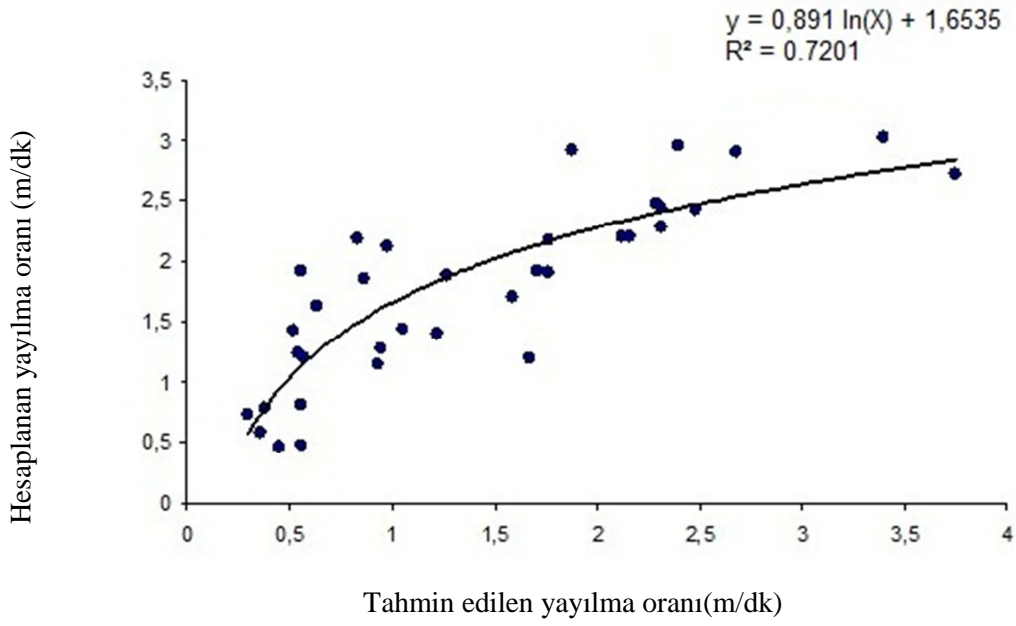
Korelasyon analizi sonucunda Yayılma Oranı (YO) ile rüzgar ($r = 0.830$; $P < 0.01$), eğim ($r = 0.519$; $P < 0.01$), tutuşturma hattı genişliği ($r = 0.554$; $P < 0.01$), sıcaklık ($r = 0.547$; $P < 0.01$) ve ölü yanıcı madde miktarı ($r = 0.680$; $P < 0.01$) arasında kuvvetli bir ilişki çıkmıştır. Benzer şekilde Yangın Şiddeti ile de (YŞ) rüzgar ($r = 0.789$; $P < 0.01$), sıcaklık ($r = 0.556$; $P < 0.01$), alev boyu ($r = 0.649$; $P < 0.01$), eğim ($r = 0.515$; $P < 0.01$) ile tutuşturma hattı genişliği arasında kuvvetli bir ilişki çıkmıştır ($r = 0.613$; $P < 0.01$).

Bağımlı değişkenler ile bağımsız değişkenler arasındaki ilişkinin derecesini ortaya koymak için regresyon analizleri yapılmıştır. Yayılma oranının tahmin edilmesi için yapılan analizde dağılımın homojen olmadığı, logaritmik bir dağılım gösterdiği görülmektedir (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Hesaplanan yayılma oranı ile tahmin edilen yayılma oranı arasındaki ilişki

Bunun üzerine, bu değerlere logaritmik dönüşüm uygulanarak doğal logaritmaları alınmıştır. Bu şekilde elde edilen yeni değerlerle yapılan analizlerde dağılımın normal olduğu görülmektedir. Logaritmik dönüşüm yapılarak yapılan analizlerde yayılma oranındaki değişkenliğin %72'si ($R^2 = 0.7201$; $P < 0.01$) tek başına rüzgar tarafından açıklanmaktadır. Bunun yanında üstel fonksiyon olarak geliştirilen başka bir YO modelinde rüzgar değişkenliğin %67'sini açıklamaktadır (Şekil 4.2), (Çizelge 4.4).

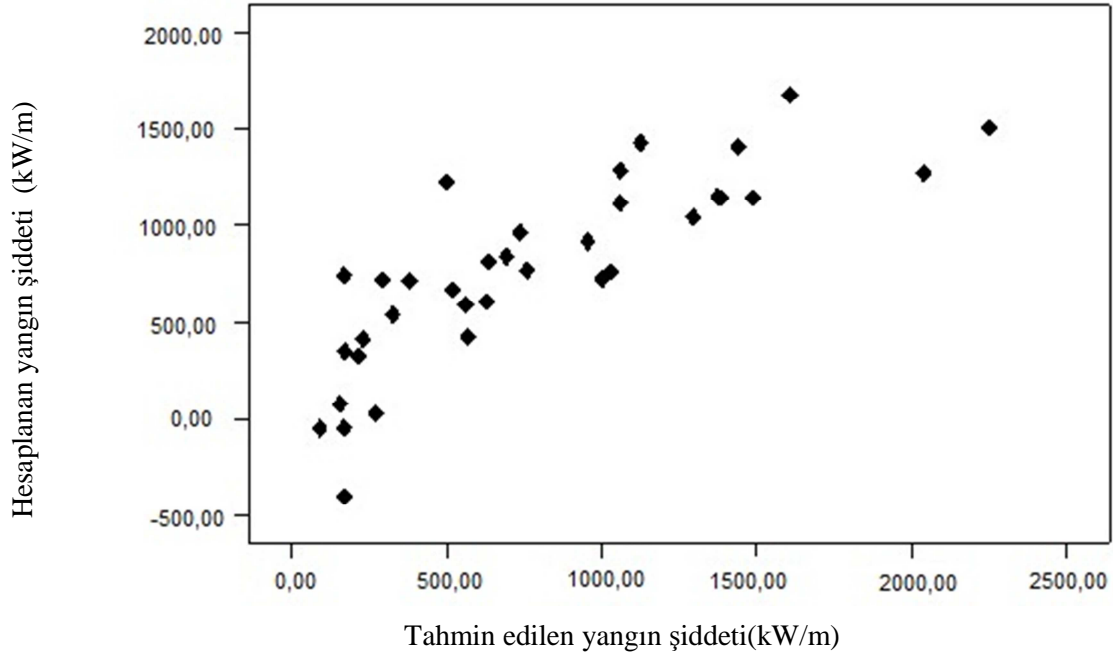


Şekil 4.2 Hesaplanan yayılma oranı değerleri ile rüzgara bağlı olarak tahmin edilen değerler arasındaki logaritmik ilişki

Çizelge 4.4. Kızılçam ölü örtüsünde yangın yayılma oranını tahmin eden model

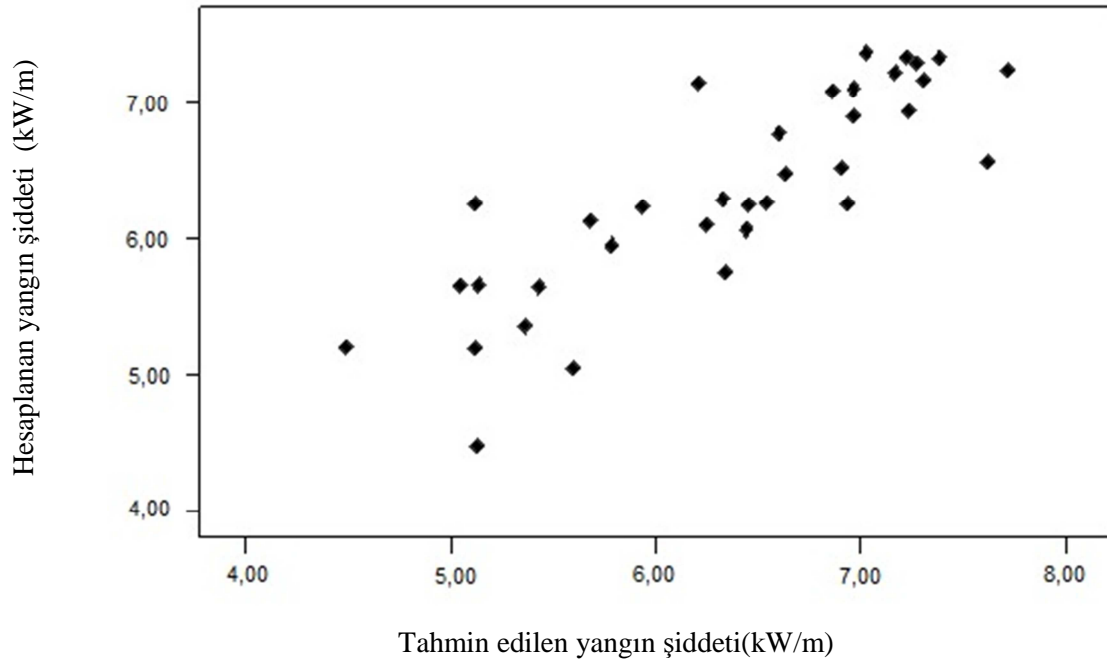
<i>Model formu</i>	<i>Sabit</i>	<i>Regresyon katsayısı</i>	R^2
	a	b	
$YO = a+b(\ln R)$	1.6535	0.8941	0.7201
$YO = a(b)^R$	1.467	0.5994	0.671

Yangın şiddetinin tahmin edilmesi için yapılan analizlerde de yayılma oranında olduğu gibi verilerin dağılımının homojen olmadığı görülmektedir (Şekil 4.3).



Şekil 4.3. Hesaplanan yangın şiddeti ile tahmin edilen yangın şiddeti arasındaki ilişki

Bunun üzerine bu değerlere logaritmik dönüşüm uygulanarak doğal logaritmaları alınmıştır. Bu şekilde elde edilen yeni değerlerle yapılan analizlerde dağılımın normal olduğu görülmektedir (Şekil 4.4).



Şekil 4.4. Hesaplanan yangın şiddeti ile tahmin edilen yangın şiddeti arasındaki logaritmik ilişki

Yangın şiddeti ile ilgili regresyon modellerinin yer aldığı Çizelge 4.5'e bakıldığında rüzgarın tek başına yangın şiddetindeki değişkenliğin %57'sini ($R^2 = 0.568$; $P < 0.01$) açıkladığı; Rüzgar ile birlikte analize bağıl nem, analize ikinci bir bağımsız değişken olarak dahil edildiğinde, yangın şiddetindeki değişkenliğin açıklanan kısmının %76'ya ($R^2=0.760$; $P < 0.01$) yükseldiği görülmektedir. (Şekil 4.4).

Çizelge 4.5. Kızılçam ölü örtüsünde yangın şiddetini tahmin eden modeller

Model formu	Sabit		Regresyon katsayıları		R^2	SH
	a	b	c			
$\ln Y\dot{S} = a+b(\ln R)$	5.766	1.233			0.568	0.576
$Y\dot{S} = a \times b^{(R)}$	1.4658	0.6008			0.671	
$\ln Y = a+b(\ln R)+c(\ln BN)$	11.084	0.881	-1.477		0.760	0.436

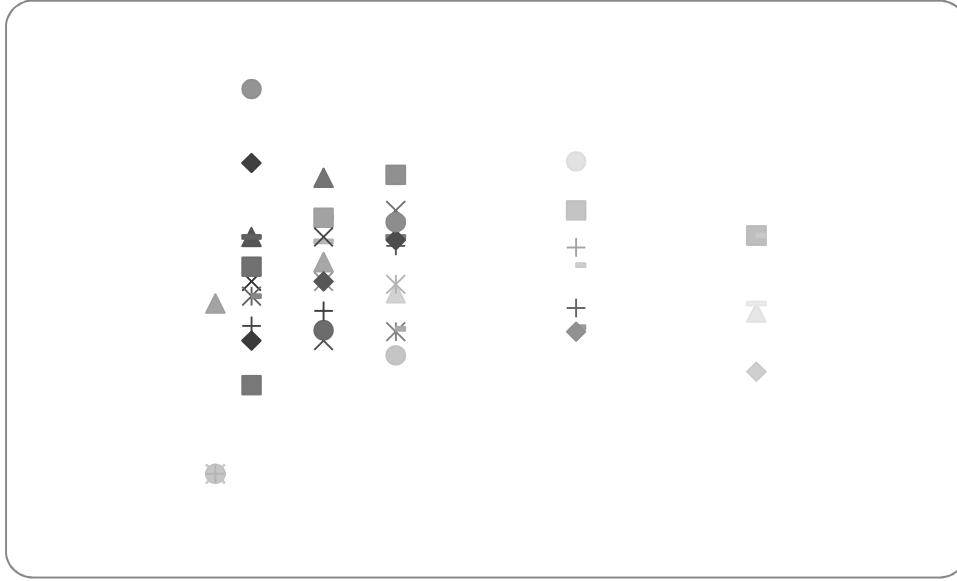
4.2 Kızılçam Ölü Örtüsünde Nokta Yangınlarının Gelişimi

Kızılçam ölü örtüsünde nokta yangınlarının gelişimini belirlemek için toplam 11 adet nokta deneme yangını yapılmıştır. Nokta yangınlarında ölü örtü miktarı üzerinde yapay olarak herhangi bir değişiklik yapılmamıştır. Deneme yangınlarının yapıldığı alan plantasyon sahası olduğu için, ölü yanıcı madde miktarı nispeten homojen bir yapı göstermektedir. Nokta yangınlarının yapıldığı alanlarda ölü örtüdeki yanıcı madde miktarı 0.300 kg/m^2 ile 0.472 kg/m^2 arasında değişiklik göstermiştir. Ölü örtüdeki ince yanıcı madde nem içeriği %4 ile %12 arasında değişiklik gösterirken, humus nem içeriği ise, %24 ile %34 arasında değişiklik göstermiştir. Nokta kaynaklı deneme yangınlarının yapıldığı yerde eğim %0 -%25 arasında değişim göstermiştir (Çizelge 4.6).

Çizelge 4.6 Nokta yangınlarına ait veriler

DA	ÖYMN (%)	HN (%)	E (%)	ÖYMM (kg m^{-2})
1	6	27	15	0.302
2	4	30	3	0.302
3	7	30	30	0.302
4	9	27	3	0.302
5	4	27	10	0.472
6	5	24	25	0.472
7	5	24	10	0.472
8	6	24	5	0.472
9	5	24	10	0.472
10	6	24	10	0.472

Nokta deneme yangınları sırasında sıcaklık 25.1 °C ile 30 °C arasında, bağıl nem %17 ile %36 arasında, rüzgar ise 1.8 km/saat ile 7.13 km/saat arasında değişmiştir. Yayılma oranı değerleri 1dk, 3.dk,5.dk, 10.dk ve 15. dk için ayrı ayrı olarak hesaplanmıştır. Bu değerlendirmelere göre yayılma oranı değerleri ilk dakika içerisinde, yani tutuşma aşamasında 0.6 m/dak ile 2.6 m/dak arasında değişirken aynı zaman dilimi içerisinde rüzgar değerleri 1.8 km/sa ile 5.96 km/sa arasında değişiklik göstermiştir (Çizelge 4.6). Nokta deneme yangınlarının tüm evrelerinin zamana bağlı yayılma oranı değerlerinin dağılımı Şekil 4.5’de gösterilmektedir.



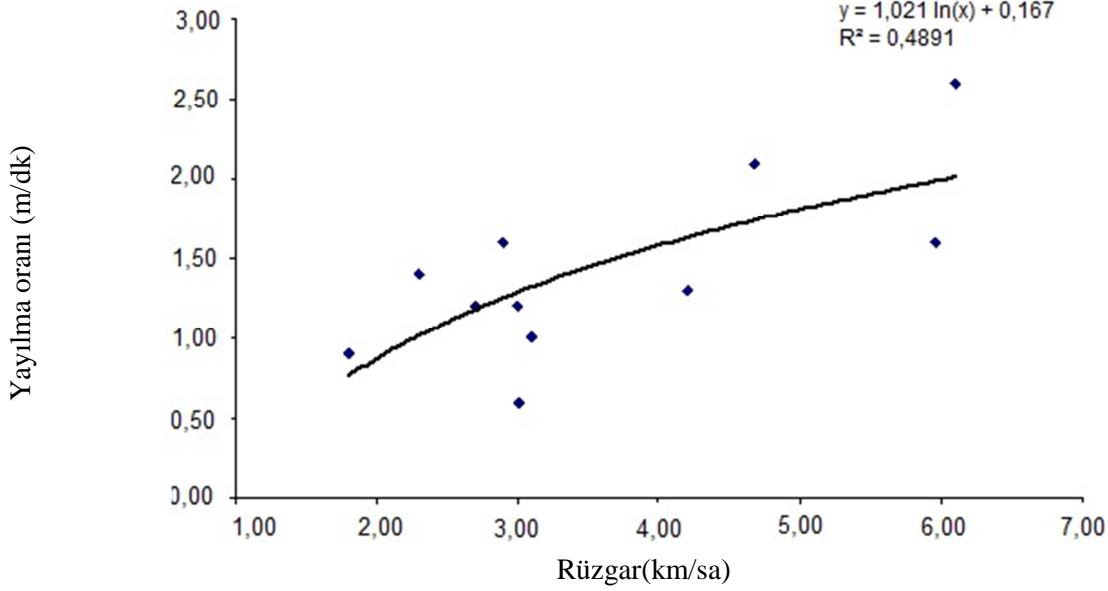
Şekil 4.5. Nokta yangınları yayılma oranı değerlerinin zamana bağlı değişimi

Nokta yangınlarının tutuşma aşamasında rüzgar ile yayılma oranı arasında logaritmik bir ilişki olduğu görülmektedir. Nokta yangınlarının ilk dakikasındaki yayılma oranındaki değişkenliğin %49’u ($R^2 = 0.4891$; $P < 0.01$) tek başına rüzgar tarafından açıklanmaktadır (Şekil 4.6), (Çizelge 4.7).

Çizelge 4.7 Nokta yangınlarının ilk dakikasında ölçülen rüzgar ve yayılma oranı değerleri

Yangın no	Sıcaklık (°C)	Bağıl nem (%)	Eğim (%)	1.dk Rüzgar (km/sa)	1.dk YO (m/dk)	1.dk (e/b)
1	30.0	17	15	4.68	2.10	0.95
2	25.8	36	3	3.01	0.60	0.96
3	27.6	29	30	5.96	1.60	0.75
4	25.1	34	3	4.20	1.30	0.69
5	29.6	27	10	2.70	1.20	0.91
6	26.0	31	25	6.10	2.60	0.50
7	28.5	27	10	3.10	1.00	0.60

8	26.2	31	5	3.00	1.20	0.58
9	26.4	31	10	2.90	1.60	0.75
10	27.5	29	10	1.80	0.90	1.00
11	26,4	28	15	2.30	1.40	0.71



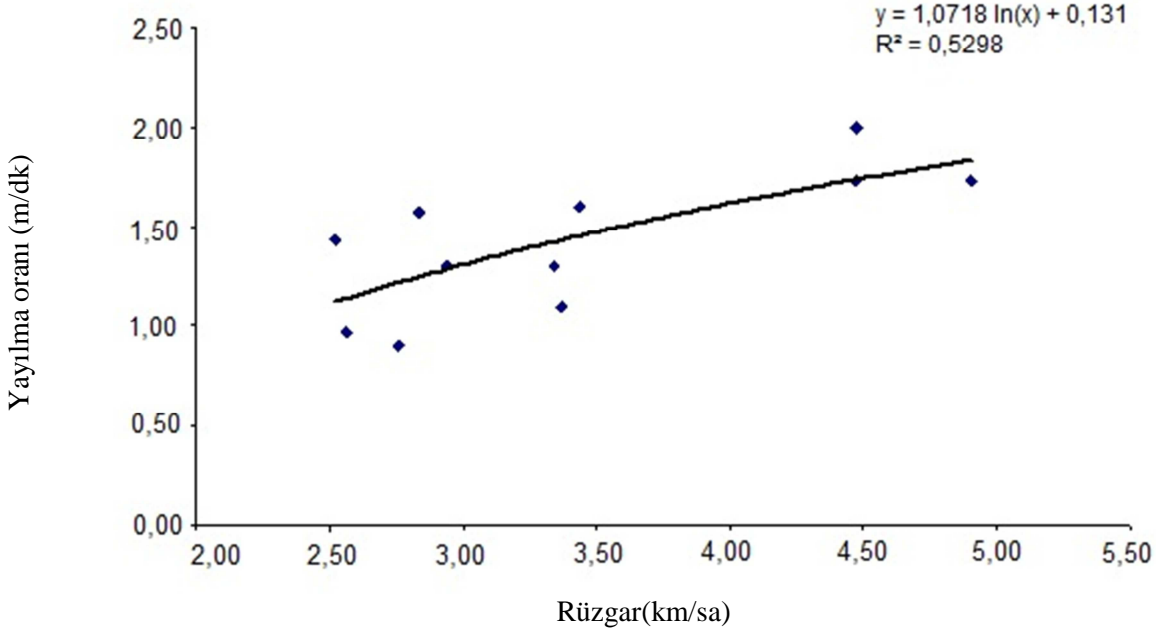
Şekil 4.6 Nokta yangınlarının ilk dakikasındaki yayılma oranı değerleri ile rüzgar arasındaki ilişki

Yayılma oranı değerleri ilk 3 dakikalık zaman diliminde 0.9 m/dak ile 2.0 m/dak arasında değişirken aynı zaman dilimi içerisinde rüzgar değerleri 2.52 km/sa ile 4.90 km/sa arasında değişiklik göstermiştir (Çizelge 4.8). Nokta yangınlarının 3.dk rüzgar değerleri ile yayılma oranı değerleri arasında logaritmik bir ilişki olduğu görülmüştür. Nokta yangınlarının başlangıcından üçüncü dakikasına kadar geçen sürede yayılma oranındaki değişkenliğin %53'u ($R^2 = 0.5298$; $P < 0.01$) tek başına rüzgar tarafından açıklanmaktadır (Şekil 4.7).

Çizelge 4.8 Nokta yangınlarının başlangıcından üçüncü dakikaya kadar ölçülen rüzgar ve yayılma oranı değerleri

Yangın no	Sıcaklık (°C)	Bağıl nem (%)	Eğim (%)	3.dk Rüzgar (km/sa)	3.dk YO (m/dk)	3.dk (e/b)
1	30.0	17	15	2.52	1.43	0.83
2	25.8	36	3	2.76	0.90	0.44
3	27.6	29	30	2.94	1.30	0.69
4	25.1	34	3	2.56	0.97	0.59
5	29.6	27	10	3.37	1.10	1.00
6	26.0	31	25	4.47	1.73	0.56
7	28.5	27	10	2.83	1.57	0.51
8	26.2	31	5	3.34	1.30	0.64
9	26.4	31	10	4.90	1.73	0.79
10	27,5	29	10	4.47	2.00	0.92

11	26.4	28	15	3.44	1.60	0.46
----	------	----	----	------	------	------

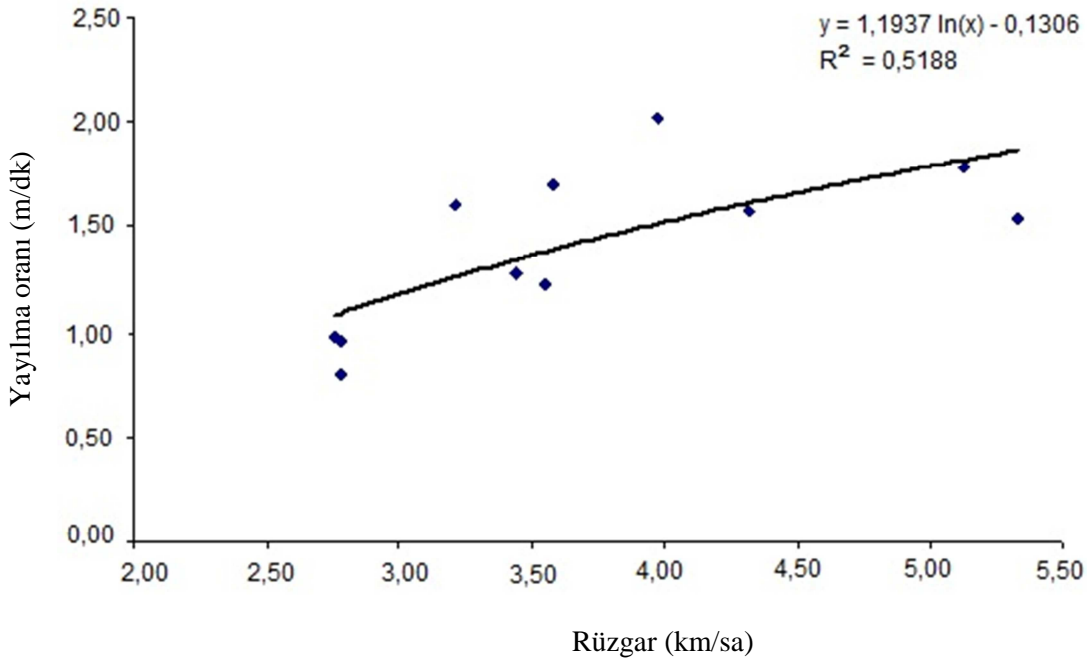


Şekil 4.7 Nokta yangınlarının üçüncü dakikasında yayılma oranı değerleri ile rüzgar arasındaki ilişki

Yayılma oranı değerleri nokta yangınlarının başlangıcından 5. dakikasına kadar geçen sürede 0.80 m/dak ile 2.02 m/dak arasında değişirken aynı zaman dilimi içerisinde rüzgar değerleri 2.76 km/sa ile 5.33 km/sa arasında değişiklik göstermiştir (Çizelge 4.9). Nokta yangınlarının 3.dk rüzgar ve yayılma oranı değerleri 5.dk rüzgar ve yayılma oranı değerleri arasında benzerlik görülmektedir. Bu durum nokta yangınlarının tutuşma aşamasından itibaren 5. dakikasına kadar geçen sürede gelişme aşamasında olduğunu göstermektedir. Nokta yangınlarının başlangıcından beşinci dakikasına kadar geçen sürede yayılma oranındaki değişkenliğin %52'si ($R^2 = 0.5188$; $P < 0.01$) tek başına rüzgar tarafından açıklanmaktadır (Şekil 4.8).

Çizelge 4.9 Nokta yangınlarının başlangıcından beşinci dakikaya kadar ölçülen rüzgar ve yayılma oranı değerleri

Yangın no	Sıcaklık (°C)	Bağıl nem (%)	Eğim (%)	5.dk Rüzgar (km/sa)	5.dk YO (m/dk)	5.dk (e/b)
1	30.0	17	15	2.78	0.96	0.72
2	25.8	36	3	2.78	0.80	0.48
3	27.6	29	30	5.33	1.54	0.52
4	25.1	34	3	2.76	0.98	0.63
5	29.6	27	10	3.21	1.60	0.93
6	26.0	31	25	4.32	1.58	0.62
7	28.5	27	10	3.97	2.02	0.53
8	26.2	31	5	3.55	1.22	0.72
9	26.4	31	10	5.13	1.78	0.49
10	27.5	29	10	3.44	1.28	0.92
11	26.4	28	15	3.58	1.70	0.72



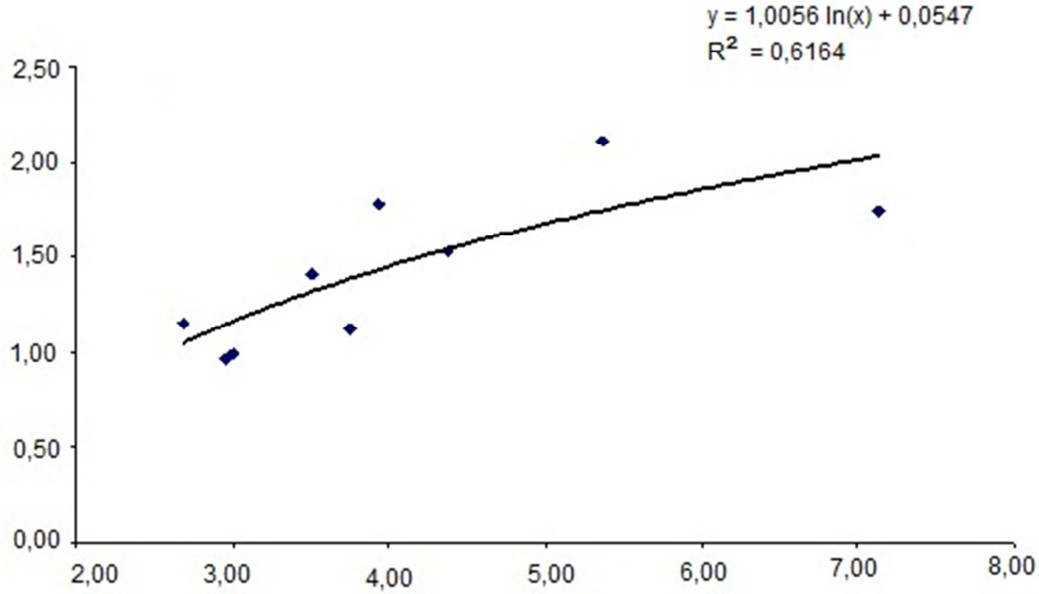
Şekil 4.8 Nokta yangınlarının beşinci dakikasında yayılma oranı değerleri ile rüzgar arasındaki ilişki

Nokta yangınlarından sadece 9 tanesi 10 dakika boyunca izlenmiştir. Yayımla oranı değerleri nokta yangınlarının başlangıcından 10. dakikasına kadar geçen sürede 0.96 m/dak ile 2.11 m/dak arasında değişirken aynı zaman dilimi içerisinde rüzgar değerleri 2.68 km/sa ile 7.13 km/sa arasında değişiklik göstermiştir (Çizelge 4.10). Nokta yangınlarının başlangıcından

onuncu dakikasına kadar geçen sürede yayılma oranındaki değişkenliğin %62'si ($R^2 = 0.6164$; $P < 0.01$) tek başına rüzgar tarafından açıklanmaktadır (Şekil 4.9).

Çizelge 4.10 Nokta yangınlarının başlangıcından onuncu dakikaya kadar ölçülen rüzgar ve yayılma oranı değerleri

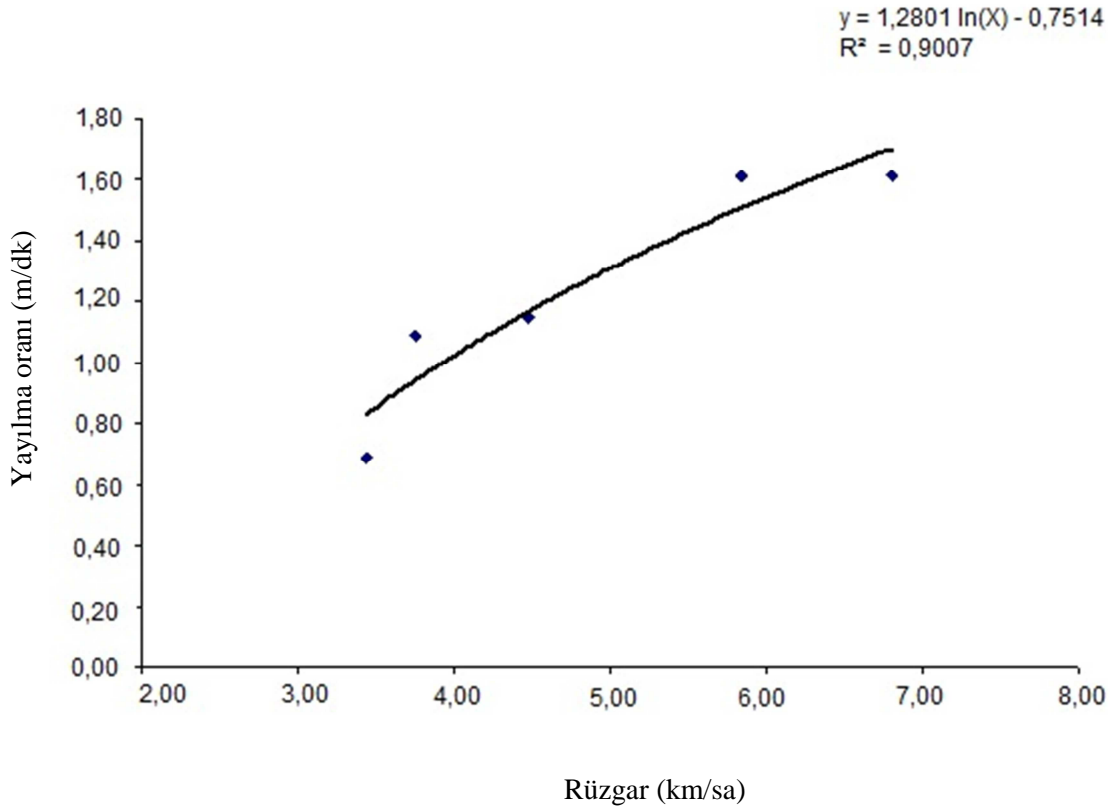
Yangın no	Sıcaklık (°C)	Bağıl nem (%)	Eğim (%)	10.dk Rüzgar (km/sa)	10.dk YO (m/dk)	10.dk (e/b)
1	30.0	17	15	3.75	1.12	0.94
2	25.8	36	3	3.00	0.99	0.42
3	27.6	29	30	7.13	1.74	0.37
4	25.1	34	3	2.95	0.96	0.88
5	29.6	27	10	3.93	1.78	0.74
6	26.0	31	25	2.68	1.15	-
7	28.5	27	10	4.16	-	-
8	26.2	31	5	4.15	-	-
9	26.4	31	10	5.37	2.11	0.76
10	27.5	29	10	4.37	1.53	0.74
11	26.4	28	15	3.50	1.41	0.74



Şekil 4.9 Nokta yangınlarının onuncu dakikasında yayılma oranı değerleri ile rüzgar arasındaki ilişki

Nokta yangınlarından sadece 5 tanesi 15 dakika boyunca izlenmiştir. Yayılma oranı değerleri nokta yangınlarının başlangıcından 15. dakikasına kadar geçen sürede 0.69 m/dak ile 1.61 m/dak arasında değişirken aynı zaman dilimi içerisinde rüzgar değerleri 3.44 km/sa ile 6.80 km/sa arasında değişiklik göstermiştir (Çizelge 4.11). Nokta yangınlarının başlangıcından

onbeşinci dakikasına kadar geçen sürede yayılma oranındaki değişkenliğin %90'ı ($R^2 = 0.9007$; $P < 0.01$) tek başına rüzgar tarafından açıklanmaktadır (Şekil 4.10).



Şekil 4.10 Nokta yangınlarının onbeşinci dakikasında yayılma oranı değerleri ile rüzgar arasındaki ilişki

Çizelge 4.11 Nokta yangınlarının başlangıcından onbeşinci dakikaya kadar ölçülen rüzgar ve yayılma oranı değerleri

Yangın no	Sıcaklık (°C)	Bağıl nem (%)	Eğim (%)	15.dk Rüzgar (km/sa)	15.dk YO (m/dk)	15.dk (e/b)
1	27.6	29	30	6.80	1.61	0.29
2	25.1	34	3	3.76	1.09	0.80
3	26.4	31	10	5.84	1.61	0.68
4	27.5	29	10	4.47	1.15	0.68
5	26.4	28	15	3.44	0.69	0.74

Nokta yangınlarında her bir zamana dilimi için en/boy oranları zamana bağlı olarak ayrı ayrı hesaplanmıştır. 1dk için en/boy oranı değerleri 0.50-1.00 arasında değişmiştir (Tablo 4.9). En/boy oranının 1 olması yangının eninin boyuna eşit olduğunu göstermektedir. Genellikle ilk

dakika e/b değerlerine bakıldığında 1'e yakın olduğu diğer bir ifade ile dairesel bir gelişme gösterdiği anlaşılmaktadır. Yangınlar başlangıç itibarı ile dairesel olarak başlamakta rüzgar, topografya ve yanıcı madde durumuna göre elips, yelpaze ve diğer şekiller alabilmektedir (Çanakçıoğlu, 1993). Bu çalışmada, ilk dakikada yangınlar şekli genellikle dairesel bir gelişme göstermiştir. Genellikle 3. dakikadan sonra e/b oranı boy lehinde gelişme göstermiş olup, yangın şekli daireselden elipse dönüşmüştür. Bu durum özellikle 10. ve 15. dakika yangınlarında daha net olarak görülmüştür. Dolayısıyla, düşük rüzgar hızlarında (5 km/sa'in altında) ilk 10 dakikalık kısım içerisinde genellikle örtü yangınları dairesel bir gelişme göstermekte (nadir olarak elips olarak görülebilmekte) 10. dakikadan sonra yangın başlangıç aşamasını geçip gelişme aşamasına girmektedir. Yangının daireselden elips şeklini alması bu dakikadan sonra gelişme aşamasına geçtiğini göstermektedir. Nokta yangınları için bir ileriki aşama olan sabit yayılma aşaması genellikle 20. dakikadan sonra görülmektedir.

Çizelge 4.12 Nokta yangınlarında zamana bağlı e/b değerleri

Yangın no	1.dk Rüzgar (km/sa)	1dk e/b	3.dk Rüzgar (km/sa)	3dk e/b	5.dk Rüzgar (km/sa)	5dk e/b	10.dk Rüzgar (km/sa)	10dk e/b	15.dk Rüzgar (km/sa)	15dk e/b
1	4.68	0.95	2.52	0.75	2.78	0.61	3.75	0.58		
2	3.01	0.96	2.76	0.44	2.78	0.35	3.00	0.35		
3	5.96	0.75	2.94	0.64	5.33	0.44	7.13	0.32	6.80	0.29
4	4.20	0.69	2.56	0.48	2.76	0.50	2.95	0.46	3.76	0.38
5	2.70	0.91	3.37	0.84	3.21	0.77	3.93	0.69		
6	6.10	0.50	4.47	0.49	4.32	0.77				
7	3.10	0.60	2.83	0.47	3.97	0.47				
8	3.00	0.58	3.34	0.48	3.55	0.48				
9	2.90	0.75	4.90	0.68	5.13	0.49	5.37	0.42	5.84	0.60
10	1.80	1.00	4.47	0.79	3.44	0.44	4.37	0.65	4.47	0.55
11	2.30	0.71	3.44	0.68	3.58	0.61	3.50	0.54	3.44	0.51

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışma, kızılçam ölü örtüsünde yangının zamana bağlı gelişimini ortaya koymak, hava hallerindeki ve yanıcı madde miktarındaki farklılıklara göre yangının gelişimini belirlemek amacıyla hat ve nokta deneme yangınları olmak üzere iki farklı çalışmadan oluşmaktadır.

5.1 Hat Yangınları

Toplam 35 adet hat deneme yangını sonucunda en yüksek yayılma oranı 3.40 m/dak ile en yüksek rüzgar hızının ölçüldüğü (3.02 km/sa) 11 no'lu yangında, en düşük yayılma oranı ise, 0.30 m/dak ile 4 no'lu yangında gerçekleşmiştir. Analizler sonucunda yayılma oranı üzerinde en etkili faktörün rüzgar olduğu görülmüştür.

Rüzgarın yangının şeklini etkilediği gibi yangın yayılma oranına da etkilediği bilinmektedir. Deneysel olarak yayılma oranının tahmin edilmesi için yapılan bir çok çalışmada yayılma oranı üzerinde etkili faktörün rüzgar olmuştur (Rothermel 1972, Wotton vd. 1999, Catchpole vd. 2002, Küçük vd. 2007, Fernandes 2009) Bu çalışmada da rüzgar yayılma oranı üzerinde en etkili faktör olarak belirlenmiştir. Rüzgar yayılma oranındaki değişkenliği tek başına %72 oranında açıklamıştır. Yayılma oranı üzerine etkili olan faktörlerin etki derecesini ortaya koyabilmek için laboratuvar koşullarında Burrows (1999)'un yaptığı çalışmada sadece ibrelerden oluşan 22 deneme yangını sonucunda, yayılma oranı üzerinde en etkili faktörün rüzgar ve yanıcı madde nemi olduğunu, özellikle, rüzgarın 3-8 km/sa arasındaki hızı ile yayılma oranı arasında doğrusal bir ilişki olduğu ifade edilmektedir.

Küçük vd. (2007)'nin karaçam meşçeresi ölü örtüsünde yapmış oldukları çalışmada, yayılma oranını üzerindeki en etkili faktörün rüzgar olduğu belirtilmiş olup, yayılma oranındaki değişkenliği rüzgara bağlı olarak %73 oranında açıklandığı ifade edilmektedir. Fernandes (2009)'in *P. maritima* meşçerelerinde yapmış olduğu çalışmada yayılma oranı üzerindeki değişkenlik %66 oranında rüzgar, yanıcı madde nem içeri, yanıcı madde miktarı ve eğime bağlı olarak açıklanmıştır. Bu yönüyle yayılma oranındaki değişkenliğin açıklanmasında büyük benzerlik olmakla birlikte, bu çalışmada geliştirilen modelin daha kullanışlı olabileceği dikkat çekmektedir. Zira tek bir değişkene bağlı olarak yayılma oranındaki değişkenlik açıklanmıştır. Modelde yer alamayan diğer değişkenlerin de yayılma oranı üzerinde etkilerinin olduğu bilinen bir gerçektir. Ancak bu çalışmada bu etki görülmemiştir. Bunun için yanıcı madde nemi, yanıcı madde miktarı ve eğim değerlerinin farklılık arz ettiği farklı koşullarda yapılacak çalışmalar ile bu etkinin ortaya konulması mümkündür.

Ölü yanıcı madde nem içeriğinin özellikle yanıcı maddelerin tutuşabilirliği (Wilson 1985, Dimitrakopoulos ve Mateeva 1998, Viegas vd. 1998a, Viegas vd. 1998b Catchpole 1998, Burrows 1999) üzerine olan bilinen etkilerinden dolayı yangın yayılma oranı üzerine önemli

bir etkisinin olacağı beklenmekte idi. Ancak, bu çalışmada böyle bir sonuç ortaya konulamamıştır. Bunun en önemli sebebinin ölü yanıcı madde nem içeriği değerlerinin çok fazla değişkenlik göstermesinden kaynaklanmış olduğu düşünülmektedir. Zira ölü yanıcı madde nem içeriği değerleri hat yangınlarında %3-%12 arasında değişmiştir. Bunun diğer önemli bir sebebi de sıcaklık ve nisbi nemin küçük aralıklarda değişiklik göstermesidir. Çünkü sıcaklık ve bağıl nemdeki değişiklikler ölü yanıcı madde nemini kısa sürede değiştirebilmektedir. Yanıcı madde nem içeriği değerlerinin çok farklı olduğu diğer ifade ile geniş aralıklarda değişkenlik gösterdiği durumlarda yapılacak benzer çalışmalar ile ölü yanıcı madde nem içeriğinin yayılma oranı üzerine etkisi ortaya konulabilir.

Yangın davranışında değişik yanıcı madde özellikleri ve hava hallerine bağlı olarak büyük farklılıklar olduğu gibi, farklı eğim durumlarında da aynı durum söz konusu olmaktadır. Bu çalışmada eğim değerleri %0-%25 arasında olup çok farklılık arz etmemiştir. Bu yüzden de eğimin yayılma oranı üzerine etkisi ortaya konulamamıştır. Bu durumun yangınların küçük ölçekli parsellerde yapılmış olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Diğer bir husus ise, yanıcı madde miktarının çok az olması dolayısıyla yangının bir mekanizması olan ısı transferinin bu gibi küçük ölçekli yangınlarda çok az olmasından dolayı yangının ilerleme istikametinde ısı transferinin olmamasıdır. Yangının, dik ve eğimli arazide daha hızlı yayılacağından eğimin yangının yayılma oranı üzerine hem de alev uzunluğu üzerine doğrudan bir etkisi söz konusudur (Hirsch 1996; Pyne vd. 1996, NWCG 1981). Her ne kadar bu çalışmada küçük ölçekli (1×5m) örtü deneme yangınları yapılmışsa da çok farklı eğim değerlerinde yapılacak başka çalışmalar ile eğimin yayılma oranı üzerine olan etkisinin açıklanacağı düşünülmektedir.

Ölü örtü yanıcı madde miktarı örtü yangınlarının gelişiminde etkili olan yayılma oranı üzerinde çok fazla etkili olmamıştır. Benzer durum Fernandes (2009)'in *P. maritima*'da yaptığı çalışmada söz konusu olmuştur. Ölü yanıcı madde miktarının yüksek olması ve yatay yönde kesintisiz olarak süreklilik arz etmesi yangının yayılmasını rüzgarla kolaylaştırmaktadır. Ancak yanıcı madde miktarının az olması bu durumu biraz zorlaştırmaktadır. Zira Küçük vd (2008)'in karaçam kesim artıklarında yapmış oldukları çalışmada benzer durum tespit edilmiştir.

Yangın şiddeti ile ilgili regresyon modellerinin yer aldığı Çizelge 4.5'e bakıldığında rüzgarın tek başına yangın şiddetindeki değişkenliğin %57'sini ($R^2 = 0.568$; $P < 0.01$) açıkladığı

görülmektedir. Yayılma oranı üzerinde en etkili faktör olan rüzgar aynı zamanda yangın şiddeti üzerinde de tek başına en etkili faktör olmuştur. Zira, yangın şiddetinin hesaplanmasında bir parametre olarak kullanılan yayılma oranında da rüzgar etkili faktördür. Dolayısıyla, yayılma oranında rüzgara bağlı olarak görülen artışlar yangın şiddetini de etkilemiştir. Özellikle, yanıcı maddenin hemen hemen homojen olduğu şartlarda gerçekleştirilen deneme yangınlarında genellikle rüzgar yayılma oranı ve yangın şiddetini etkileyen faktör olmaktadır. Benzer durum, Küçük vd. (2007) tarafından da karaçam meşcerelerinde yapmış oldukları çalışmada ortaya konulmuştur. Özellikle nokta yangınlarında bu durum açıkça görülmüştür. Nokta yangınları homojen yanıcı madde koşullarında ve en fazla 15 dakikalık süre içerisinde gerçekleştirildiğinden sıcaklık ve bağıl nem gibi değişkenler bu kısa süre değişiklik göstermemiştir. Zira, bağıl nemin kısa süreler içerisinde çok fazla değişkenlik göstermemesi yanıcı madde nemini etkilememiştir. Dolayısıyla, nokta yangınlarında yayılma oranını belirleyen tek faktör rüzgar olmuştur.

Hat yangınlarının birbirinden bağımsız ve günün farklı zamanlarında gerçekleştirilmiş olmasından dolayı rüzgar dışında sıcaklık ve bağıl nem değerlerindeki farklılıklar yakalanmaya çalışılmıştır. Yangın şiddetinde rüzgar ile birlikte analize bağıl nem, analize ikinci bir bağımsız değişken olarak dahil edildiğinde, yangın şiddetindeki değişkenliğin açıklanan kısmının %76'ya ($R^2=0.760$; $P<0.01$) yükseldiği görülmektedir.

5.2 Nokta Yangınları

Kızılçam plantasyon sahası ölü örtüsünde gerçekleştirilen 11 adet nokta deneme yangınlarının gelişimini ayrıntılı olarak ortaya koyabilmek için, 1.dk, 3.dk, 5.dk, 10.dk ve 15.dakikalık zaman diliminde ölçümler yapılarak bu zaman dilimlerinde yayılma oranları ve e/b oranları ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Özellikle, zamana bağlı olarak nokta yangınlarında yayılma oranının etkisini ortaya koymak için bu yöntem kullanılmıştır. Deneme yangınları eş zamanlı olarak gerçekleştirilmemiştir. Bu yüzden günün farklı zamanlarında yapılan nokta deneme yangınlarının gelişmelerini kıyaslamak için aynı zaman dilimindeki yayılma oranı değerleri birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Eş zamanlı olarak gerçekleştirilecek çalışmalarda her bir yangının aynı zaman diliminde nasıl gelişme gösterdiği belirlenebilir. Bu çalışmada her bir zaman dilimindeki yangının gelişmesi ayrı ayrı olarak değerlendirilmiştir. Her bir zaman diliminde sadece rüzgar değişkenine bağlı olarak yayılma oranını tahmin eden modeller geliştirilmiştir. Böylece nokta deneme yangınlarının başlangıcından bitimine kadar olan süre içerisindeki rüzgar hızındaki değişimlerin etkisi bertaraf edilmeye çalışılmıştır.

Nokta kaynağından çıkan yangının gelişimi birçok holistics teoriye göre iki yada üç safhaya ayrılır ve her safhada da var olan toplam potansiyel enerji serbest bırakılır (Luke and Mc Arthur 1986; Pyne 1984).

Nokta kaynaklı olarak gelişen yangınlarda yangının gelişimi, çevre şartlarına ve yanıcı madde özelliklerine bağlı olarak artan, daha sonrasında ise yangına etki eden şartlarda bir değişiklik olmadığı müddetçe sabit yayılma gösteren bir durum ortaya koyar. Baysal 2007'ye atfen McAlpine (1988) yangının bu davranışını duran bir otomobilin hızlanmasına benzetmektedir. Otomobil ulaşabileceği en son hız değerine başladığı noktadan ulaşmamaktadır. Ulaşabileceği azami hız değerini artan bir ivme ile kazanmaktadır. Aynı zamanda otomobilin ulaşabileceği azami hız değeri ve hız ivmesindeki artış bir çok etmen tarafından sınırlandırılmaktadır (örneğin arabanın boyu, ağırlığı, hava ve yol durumu vb.). Nokta kaynaklı yangınların en son aşamadaki sabit yayılma oranı değerine ulaşmasında da benzer durum söz konusudur. Yangının başlaması ve sabit yayılma aşamasına ulaşana kadar bir çok faktörün etkisi altındadır (yanıcı madde nemi, yanıcı madde miktarı, boyutu ve düzeni, rüzgar, sıcaklık, bağıl nem, arazi yapısı vb.).

Nokta yangınlarının ilk dakika aşamasında sıcaklık (25.1 °C-30 °C) ve bağıl nem (%17-%36) oldukça dar aralıklarda değişkenlik göstermiştir. Yangınların başlaması için ideal bağıl nem koşullarının orta düzeyde sıcaklık koşullarının mevcut olduğu görülmektedir. Ölü örtü yanıcı madde neminin ise %4-%9 arasında değişiklik gösterdiği, yangınların başlaması için çok uygun bir zemin taşıdığı göze çarpmaktadır. Zira yangınların başlaması için gerekli olan şartlar, orman zemininde bulunan ince yanıcı madde nemi, humus tabakası nemi ve hava halleri (rüzgar, sıcaklık, bağıl nem) ile yakından ilişkilidir (Sağlam, 2002).

Nokta yangınlarında ilk aşama yangının başladığı, yanan alan olarak belirli bir büyüklüğe ulaştığı ve yangının merkezinde yanıcı maddenin tüketimi ile oluşan ısınma ve yangının yüzeysel yayılma oranını oluşturduğu evredir (Pyne 1984; Luke and Mc Arthur 1986). Genellikle bu evrede yangının gelişimi dairesel olmaktadır. Bu çalışma kapsamında ilk üç dakikalık en/boy oranı değerlerine bakıldığında genellikle başlangıç aşamasında olduğu görülmektedir.

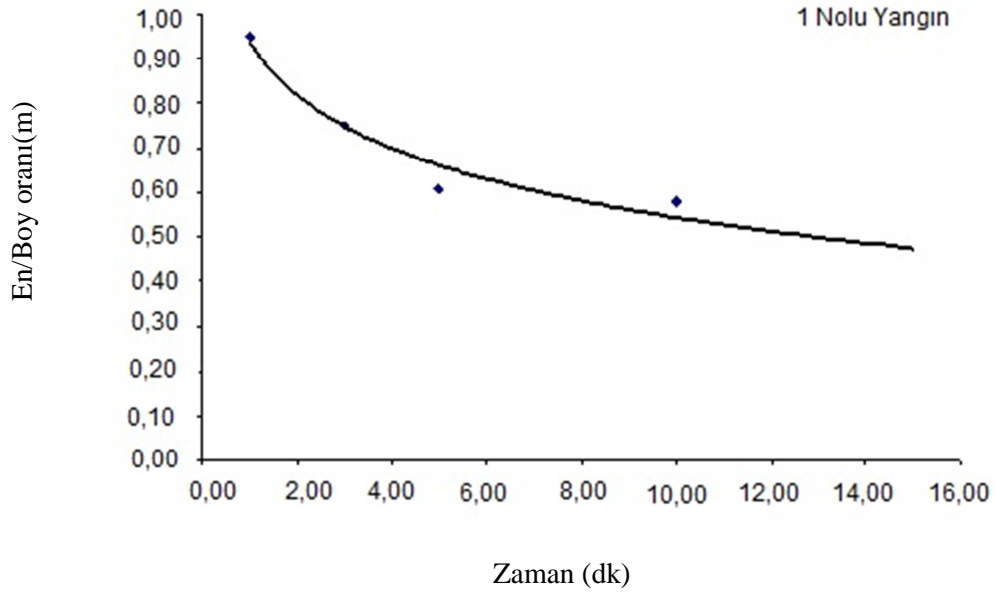
Gelişme aşaması olarak da adlandırılan ikinci bölümde, yardımcı çevre şartları mevcut ise yangın üç boyutlu bir hal alır, ısı yayılmasını sağlayan konveksiyon sütunu oluşur ve yangın, alanındaki rüzgarı etkilemeye başlar (Luke and Mc Arthur, 1986). Bu bölüm aynı zamanda yangının, rüzgarın da etkisinde belirgin bir şekilde baş yangını oluşturmaya başladığı kısımdır. Amerika, Kanada ve Avustralya'daki yangın yayılma modelleri ikinci aşamanın gelişimini takip eden yangın yayılma oranını tahmin etmektedirler (Chandler vd., 1991). Kızılçam ölü örtüsünde yapılan nokta deneme yangınlarının ilk dakikasından itibaren 15. dakikasına kadar geçen sürede yayılma oranını etkileyen en önemli faktör rüzgar olmuştur. Nokta yangınları sırasında en yüksek yayılma oranı değeri rüzgar hızının 6.1 km/sa ve eğimin %30 olduğu 6 no'lu yangının 1. dakikasında gerçekleşmiştir. Bu çalışma kapsamındaki toplam 11 adet nokta yangın hep gelişme aşaması göstermiş, olup sabit yayılma aşamasına ulaşmamıştır. Bunda zamanın 15 dakika ile sınırlandırılmasının büyük etkisi olduğu düşünülmektedir. Çünkü nokta yangınlarının sabit yayılma aşamasına ulaşması genellikle ilk 30 dk içerisinde (20. dakikadan sonra) olmaktadır (McAlpine and Wakimoto, 1988; McRea, 1999; Cheney and Gould, 1995, 1997; Baysal, 2007; Küçük vd. 2007).

Rüzgar yayılma oranını belirlemekle kalmayıp, yangın şeklinin belirlenmesinde de en etkili faktör olmuştur. Benzer sonuçlar Burrows 1999, Baysal 2007 ve Küçük vd. 2007 tarafından yapılan çalışmalar sonucunda da elde edilmiştir. E/b oranındaki farklılıklar genellikle rüzgara bağlı olarak gerçekleşmiştir. Tüm nokta yangınlarında zamana bağlı olarak e/b oranı değişimi Şekil 4.11' de verilmiştir.

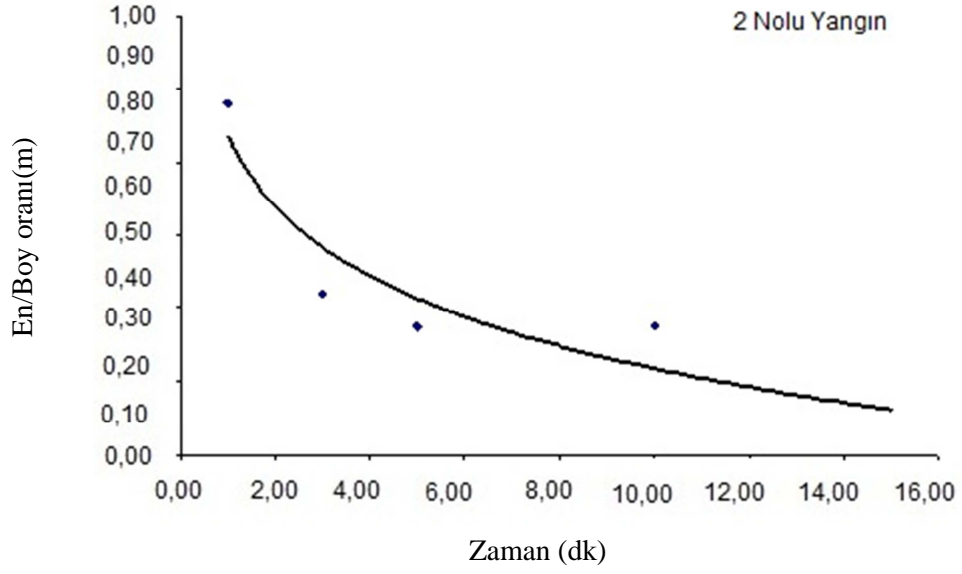


Şekil 4.11 Zamana bağlı e/b oranı değişimi

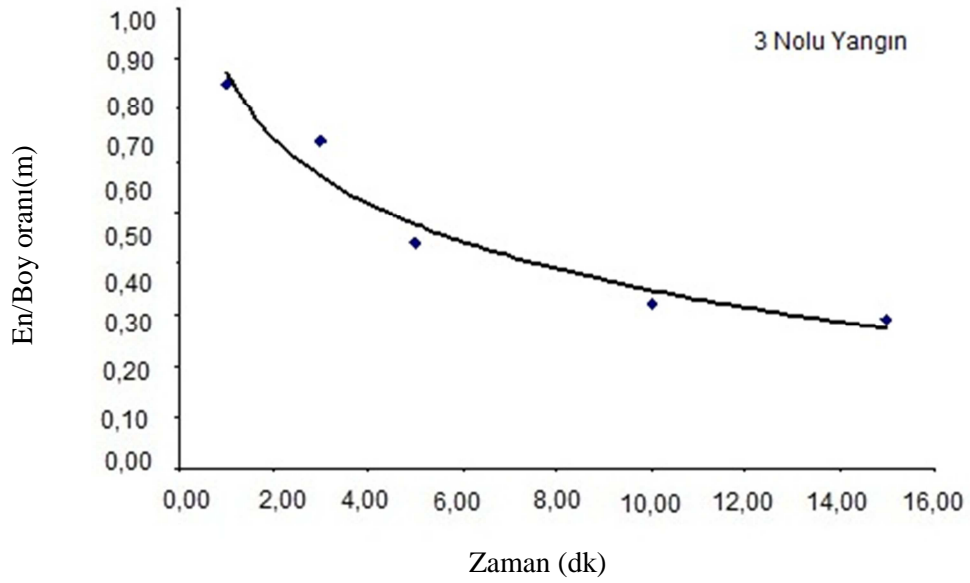
En boy oranları rüzgara bağı olarak zaman içerisinde boy lehine gelişme göstermiştir. Çizelge 4.12'ye bakıldığında ilk dakikada birbirine yakın değerlerde olan e/b oranının ileriki zaman diliminde küçüldüğü görülmektedir. Örneğin 15. dakikadaki e/b oranı değerleri 0.29-0.60 arasında değişmiştir. En/boy oranının 1 değerine yakın olması durumu genellikle rüzgarın hız ve yön değiştirdiği durumlarda gözlenmiştir. Şöyle ki baş yangın doğrultusunda esen rüzgarla birlikte devam eden yangın ilerleme aşamasında rüzgarın yön değiştirmesi ile birlikte yangının baş yangın haline dönüşmesi gibi bir hal almakta ve bunun neticesinde de e/b oranı birbirine yakın değerler olarak elde edilmektedir. Toplam 11 adet nokta yangınında İlk dakika içerisinde e/b oranı değeri en küçük 0.50 ile 6 nolu yangında elde edilirken en yüksek e/b oranı değeri 1.0 ile 10 nolu yangında elde edilmiştir. Her bir yangının zamana bağı olarak e/b analizleri Şekil 4.12-22'de gösterilmiştir.



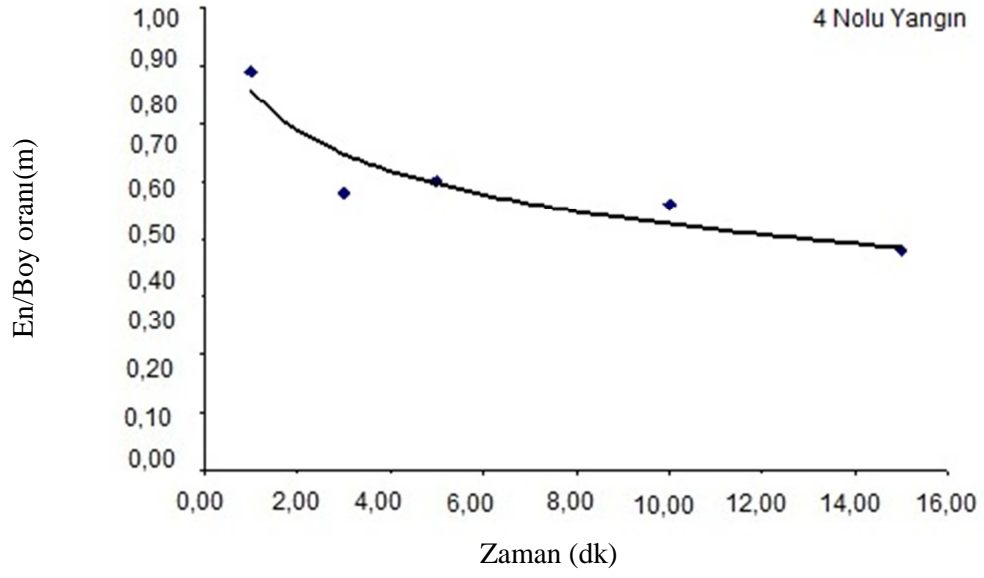
Şekil 4.12 1 nolu yangının zamana bağı olarak e/b oranı değişimi



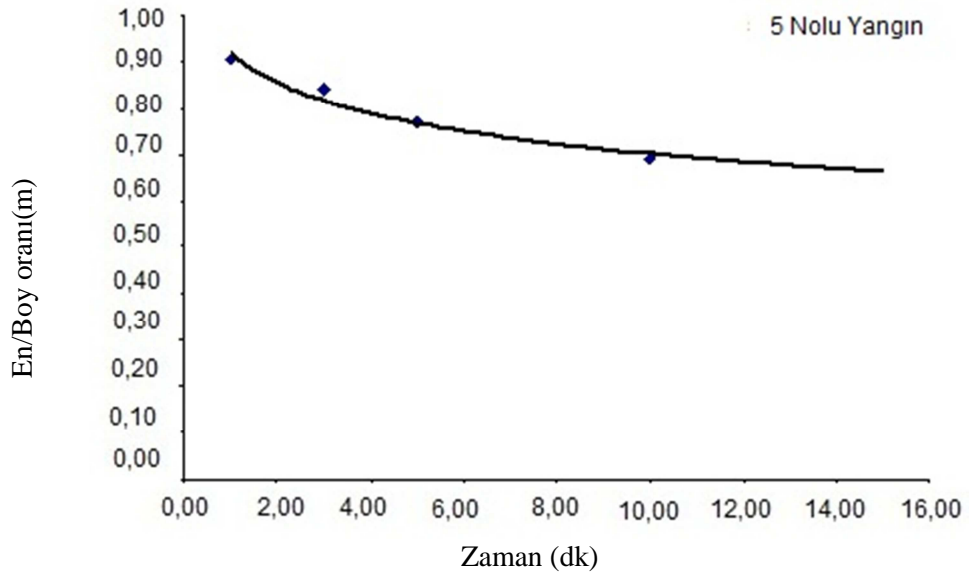
Şekil 4.13 2 nolu yangının zamana bağlı olarak e/b oranı değişimi



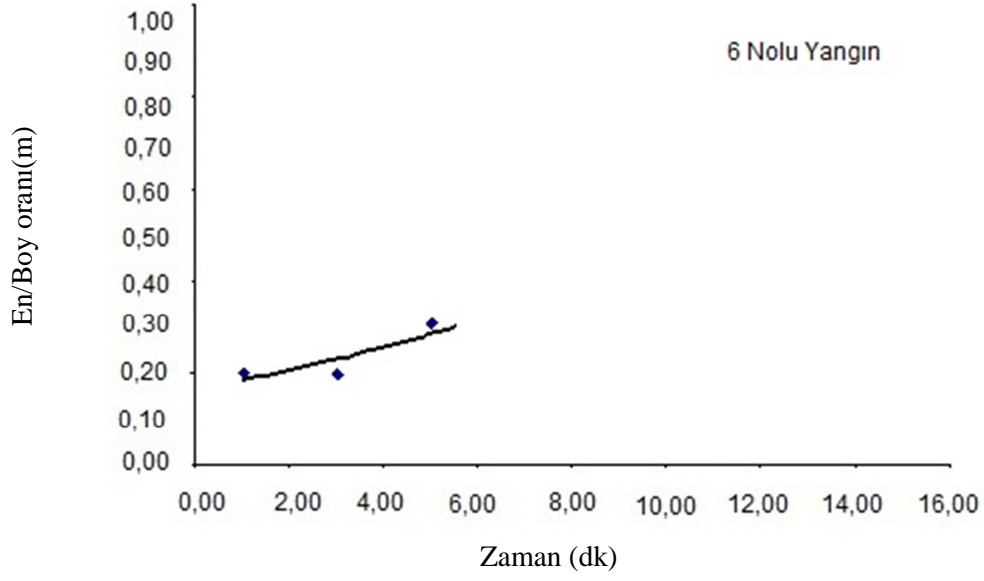
Şekil 4.14 3 nolu yangının zamana bağlı olarak e/b oranı değişimi



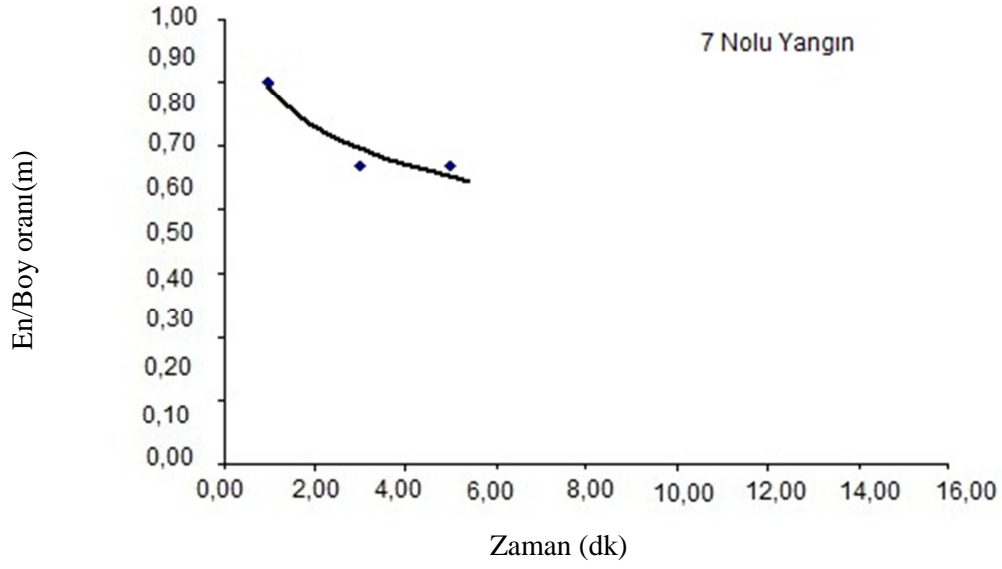
Şekil 4.15 4 nolu yangının zamana bağlı olarak e/b oranı değişimi



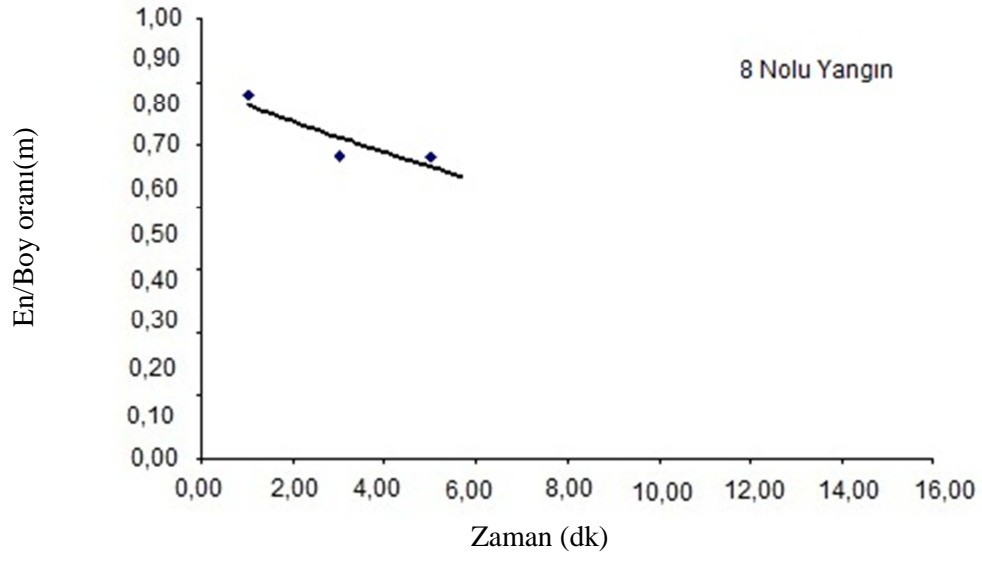
Şekil 4.16 5 nolu yangının zamana bağlı olarak e/b oranı değişimi



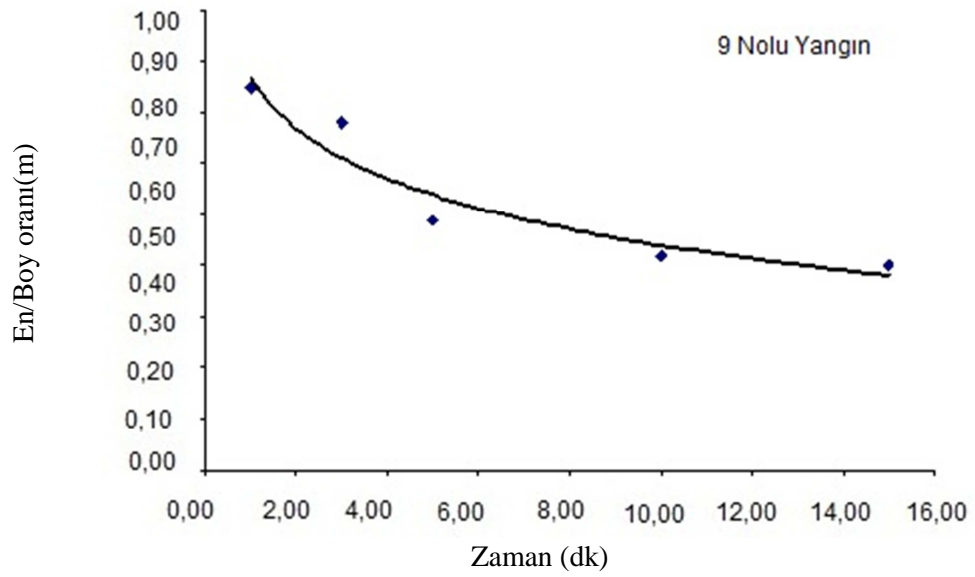
Şekil 4.17 6 nolu yangının zamana bağlı olarak e/b oranı değişimi



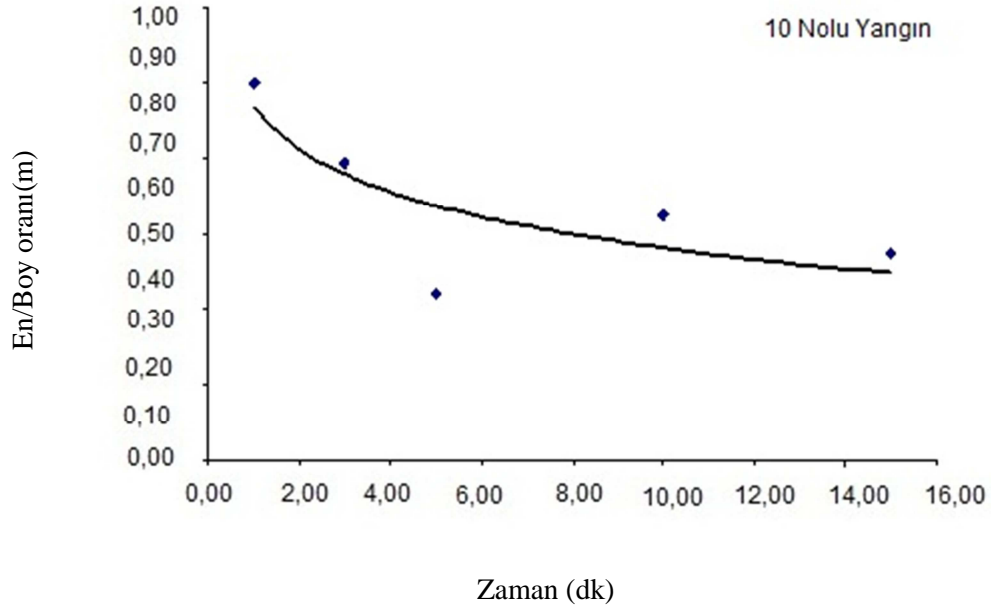
Şekil 4.18 7 nolu yangının zamana bağlı olarak e/b oranı değişimi



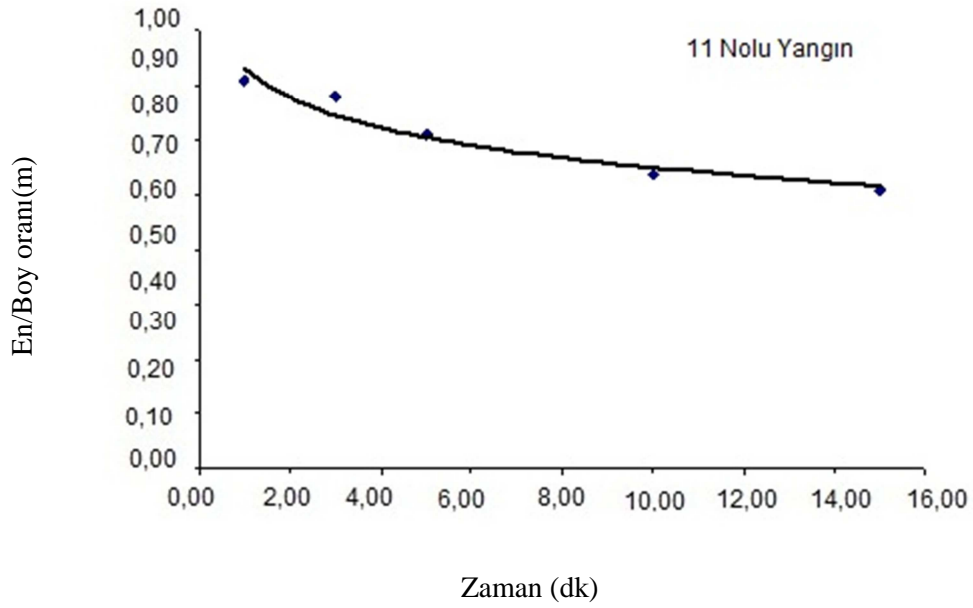
Şekil 4.19 8 nolu yangının zamana bağlı olarak e/b oranı değişimi



Şekil 4.20 9 nolu yangının zamana bağlı olarak e/b oranı değişimi



Şekil 4.21 10 nolu yangının zamana bağlı olarak e/b oranı değişimi



Şekil 4.22 11 nolu yangının zamana bağlı olarak e/b oranı değişimi

En/Boy analizinde, En/Boy oranının büyük oranda rüzgarın etkisinde değiştiği, düşük rüzgar hızlarında oranın 1 değerine yakın olduğu, yüksek rüzgar hızlarında ise e/b oranının 0.2-0.3 değerlerine kadar düştüğü görülmüştür. En/boy oranının küçülmesi durumunda yangın elips

halini almakta yangının boyu uzamaktadır. Bu durumda ise yangına müdahalede bulunulması gereken süre kısalmakta ve yangına müdahale zorlaşmaktadır.

Çalışmada hat ve nokta deneme yangınları, farklı hava hallerinde standart bir yanıcı madde tipinde gerçekleştirilmiş olup, ölü örtüde gelişen yangının yayılma oranını tahmin etmek için modeller geliştirilmiştir. Genellikle yayılma oranı modelleri sadece rüzgara bağlı olarak geliştirilmiştir. Yayılma oranı üzerinde özellikle ince yanıcı madde nem içeriğinin etkisinin bulunduğu için, bu etkiyi ortaya koyabilmek için farklı sıcaklık ve bağıl nem koşulları altında ve farklı yanıcı madde nem içeriği değerlerinin olduğu durumlarda deneme yangınları yapıp modeller geliştirilebilir. Bunun için daha çok sayıda ve daha uzun zaman periyodunda deneme yangınları yapılabilir. Bu çalışma kapsamında yayılma oranını tahmin etmeye yönelik olarak geliştirilen modeller, benzer alanlarda gerçekleşmesi muhtemel olan örtü yangınlarının yayılma oranının tahmin edilmesinde kullanılabilir.

Çalışmanın hat deneme yangınları kısmında karaçam ölü örtüsünde yangın davranışının belirlenmesi için toplam 34 adet deneme yangını yapılmıştır. Hat deneme yangınlarında yayılma oranını tahmin etmek için rüzgara bağlı olarak tek regresyon modeli geliştirilmiştir. Yayılma oranı üzerinde en etkili faktör rüzgar ($R^2 = 0.72$) olmuştur. Yangın şiddeti ile rüzgar hızı arasında yüksek bir ilişki olup ($R^2 = 0.67$), rüzgarla birlikte bağıl nem kullanıldığında yangın şiddetindeki değişkenliğin açıklanan oranı %76'ya çıkmaktadır. Nokta deneme yangınlarında yangının gelişimini tespit edebilmek için 11 adet nokta yangın yapılmıştır. Nokta yangınlarında da yayılma oranı üzerinde en etkili faktör rüzgar olmuştur. Sırasıyla rüzgarın yayılma oranındaki değişkenliği açıklama oranı 1.dk için %048, 3. dk için %51, 5.dk için %51, 10.dk için %61 ve 15.dk için %90 olarak gerçekleşmiştir. Yanıcı madde özelliklerinin ve hava hallerinin yangın davranışı üzerindeki etkilerini çok boyutlu olarak ortaya koymak için farklı zamanlarda ve değişik meteorolojik şartlar altında bu tür çalışmalar yapılmalıdır.

Bu çalışmada elde edilen hat ve nokta yangını verilerine bağlı olarak geliştirilen modeller yardımıyla, yangın sezonu dışında kontrollü yakmalarla istenilen amaçları gerçekleştirebilmek noktasında büyük faydalar sağlanacağı düşünülmektedir. Aynı zamanda yangın potansiyelinin yüksek olduğu alanlarda yanıcı madde yükünün azaltılması için denetimli yakmalarda kullanıcılara büyük kolaylıklar sağlayacaktır.

Kızılçam ölü örtüsünde yayılma oranı karakteristiklerinin belirlenmesi için yapılan bu çalışmada ortaya konulan yangın davranış modelleri, yangının ilk başladığı ve geliştiği yer olan orman ölü örtüsünde yapılacak yangın söndürme organizasyonlarının planlanmasında büyük katkılar sağlayacaktır. Bu tür çalışmaların yangın tehlikesinin yüksek olduğu bütün yanıcı madde tiplerinde ve değişik hava hallerinde yapılması yangın tehlike oranları sistemi için bir ihtiyaçtır. Bu tür çalışmaların ülkemizde yangınlara hassas bölgelerde ve bu bölgelerde yayılış gösteren türlerde, farklı gelişme çağlarında, değişik meteorolojik koşullarda, farklı arazi şartlarında yapılması yangınlara erken müdahalenin son derece önemli olduğu yangın söndürme çalışmalarında büyük bir öneme sahiptir.

Bu zamana kadar yapılan çalışmalarda, laboratuvar ortamında kullanılan rüzgar tünellerinin boyutları nokta kaynaklı yangınlarda sabit yayılma aşamasındaki yayılma oranı değerlerini elde edebilecek büyüklükte olmayıp, gerçekleştirilen çalışmalar arazide basit gözlemlere dayalı ölçümlerden ibarettir (McAlpine, 1988). Aynı zamanda laboratuvar şartlarında belirli yanıcı madde yükü, sıcaklık, nem, ve değişik rüzgar hızlarında yapılan deneme yangınları arazi koşullarındaki şartları tam olarak karşılayamamaktadırlar. Laboratuvar ortamında gerçekleştirilen yangınlarda sadece ibre yanıcı maddeleri kullanılmakta ve arazideki mevcut yapıyı (humus tabakası, ince-kalın dallar ve kozalaklar ile kabuk ve diğer yanıcıların olmayışı v.b.) tam olarak temsil edememektedir (Burrows 1999; Catchpole vd., 1998). Arazide nokta kaynaklı yangınların gelişimini değişken yanıcı madde özellikleri ve meteorolojik koşullarda ortaya koymaya yönelik olarak yapılan bu çalışma, laboratuvar ortamındaki sınırlayıcı etmenlerin etkisini ortadan kaldırmaya yönelik bir çalışma özelliği de taşımaktadır. Bu tür çalışmaların yangına hassas türlerde ve değişik meteorolojik koşullarla farklı arazi şartlarında yapılmasının ihtiyaçtan öte bir zorunluluk olduğu öne çıkmaktadır.

6. KAYNAKLAR

ALBINI, F. 1976. Estimating Wildfire and Effects, Gen. Tech. Rep., U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Exp. Sta., INT-30, pp: 92.

ALEXANDER, ME. 1985. Estimating the length-to-breadth ratio of elliptical forest fire patterns. Pages 287-304 in Donoghue, L.R. and R.E. Martin (Editors). Proceedings of the Eighth Conference on Fire and Forest Meteorology. April 29-May 2, 1985, Detroit, Michigan. SAF Publication 85-04. Society of American Foresters, Bethesda, Maryland.

ALEXANDER, ME. 1988. Help with making crown fire hazard assessments. In Proc. Symp. and workshop on protecting people and homes from wildfire in the Interior west, Fischer, W.C., and S.F. Arno (comps) USDA For.Serv. Gen. Tech. Rep. INT-251, p. 147-156.

ALEXANDER, ME. 1998. Crown fire thresholds in exotire pine plantations of Australia. Ph.D. Thesis, Austral. Natl. Unv., Canberra, ACT, Australia, 228p.

ALEXANDER, ME. Stefner CN, Mason JA, Stocks BJ, Hartly GR, Maffey ME, Wotton BM, Taylor SW, Lavoie N, Dalrymple GN, 2004. Characterizing the jack pine –black spruce fuel complex of the international crown fire modelling experiment (ICFME). Can. For. Serv. Northern For. Cent. Inf. Report NOR-X-393.

ALPINE, MC. ROBERT, S. WAKİMOTO, R.H. 1988. The Accelaration Of Point Source Fire To Equilibrium Spread. M.Sc., Universty of Montana, pp: 130 August.

ANDERSON, H. 1969. Heat Transfer and Fire Spread, Res. Pap. INT-69, Ogden, UT: Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station, pp: 20.

ANDERSON, H. 1983. Predicting Wind-Driven Wildland Fire Size and Shape. USDA For. Serv., Intermt. For. And Range Exp. Stn., Ogden, Utah. Res. Pap. INT-305. Pp:26.

ANONİM, DMİ. 2010. Sinop Meteoroloji Müdürlüğü.

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

BESSIE, W. and JOHNSON, E. 1995, The Relative Importance of Fuels and Weather on Fire Behavior in Subalpine Forests, Ecology 76, 3, pp: 747-762.

BİLGİLİ, E. 1991. Analysis of the Simple Ellipse as a Basic Fire Growth Model, MScF Thesis, University of New Brunswick, Canada. 102 page.

BİLGİLİ, E. 1995. Fuel Characterization and Fire Behavior Prediction in Even-Aged Conifer Stands, Ph.D. Thesis, University of New Brunswick, Fredericton, Canada, pp: 112.

BİLGİLİ, E. 1996. Orman Yangınları ve Karar Vermede Yardımcı Sistemler. KTÜ Orman Fakültesi Güz Yarıyılı Seminerleri, Trabzon.

BİLGİLİ, E. 1998. Yangın Amenajmanı Planlamalarında Yanıcı Madde Amenajmanının Rolü, Orman Yangınları Politikası ve Planlaması Eğitim Kursu, Ankara.

BİLGİLİ, E. KÜÇÜK, Ö., SAĞLAM, B., 2002. Yangın Davranışının Tahmini ve Yangınlarla Mücadeledeki Önemi, G.Ü. Orman Fakültesi Dergisi, Cilt 2, No:2, Kastamonu.

BLACKMARR, W. 1972. Moisture Content Influences Ignitability of Slash Pine Litter, USDA Forest Service, Southeastern Forest Experiment Station, Asheville, North Carolina, Research Note SE-173. pp: 7.

BURGAN, R. and ROTHERMEL, RC. 1984. Fire Behavior Prediction and Fuel Modeling System- Fuel Subsystem. USDA. For. Serv. Gen. Tech. Rep. INT 167, pp: 126.

BURROWS, N. 1999. Fire behavior in Jarrah Forest fuels 1. Laboratory Experiments. *Calm science* Vol:3, Issue 1, pp: 31-56.

BUTLER, BW. COHEN, JD. 1998. Firefighter safety zones: a theoretical model based on radiative heating. *Int. J. Wildland Fire*, 8(2), 73-77.

BYRAM, G. 1959. Forest Fuels. Pp: 61-89 in Davis, K.P. (ed) *Forest Fire: Control and Use* Mc Graw-Hill, New York.

CATCHPOLE, E. ALEXANDER, ME. and GILL, AM. 1992. Elliptical-fire perimeter and area-intensity distributions. *Canadian Journal of Forest Research* 22(7) pp: 968-972.

CATCHPOLE, W. BRADSTOCK, R. CHOATE, J. FOGARTY, L. GELLIE, N. MCCARTHY, G. MCCAW, L., MARSDEN, L. MEDLEY, JS. and PEARCE, G. 1998. Cooperative development of equations for heathland fire behaviour. *In: Proc. 3rd International Conf. On Forest Fire Research & 14th Fire and Forest Meteorology Conf.*, VIEGAS, D.X. (Ed.), ADAI, University of Coimbra. pp. 631-645.

CHANDLER, C. CHENEY, P. THOMAS, P. TRABAUD, L. and WILLIAMS, D. 1991. *Fire in Forestry, Volume:1, Forest Fire Behavior and Effects.* John Wiley & Sons, Inc., New York. N.Y. Pp: 450.

CHENEY, NP. and GOULD, JS. 1995. Fire Growth in Grassland Fuels. *International Journal of Wildland Fire* 5(4). Pp: 237-247.

CRUZ, MG. ALEXANDER, ME. WAKIMOTO, RH. 2003. Assessing the probability of crown fire initiation based on fire danger indices. *The Forestry Chronicle*, 79(5), 976-983.

CRUZ, MG. ALEXANDER, ME. WAKIMOTO, RH. 2004. Modeling the likelihood of crown fire occurrence in conifer forest stands. *Forest Science*, 50(5), 640-658.

CRUZ, MG. BUTLER, BW. ALEXANDER, ME. 2006. Predicting the ignition of crown fuels above a spreading surface fire. Part II: model evaluation. *Int. J. Wildland Fire*, 15, 61-72.

DE MESTRE, NJ. CATCHPOLE, EA., ANDERSON, DH. ROTHERMEL, RC. 1989. Uniform propagation of a planar fire front without wind. *Combust. Sci. Tech*, 65, 231-244.

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

DIMITRAKOPOULOS, AP. MITSOPOULOS, ID. RAPİTS, DI. 2007. Nomographs for predicting crown fire ignition in Aleppo pine (*Pinus halepensis* Mill.) forests. *Eur. J. Forest Re*, DOI 10.1007/s10342-007-0176-4.

FINNEY, MA. 1998. fire area simulator-Model development and evaluation. USDA For. Serv. Res. Pap. RMRS-RP-4, 47p.

FORESTRY CANADA FIRE DANGER GROUP, 1992. Development and Structure of the Canadian Forest Fire Behavior Prediction System. Forestry Canada, Information Report ST-X-3. Science and Sustainable Development Directorate, Ottawa, Ontario, pp: 63.

HIRSCH, KJ. 1996. Canadian forest fire behavior prediction (FBP) system: user's guide. Natural Resources Canada, Canadian Forest Service Resource, Northern Forestry Centre Special Report 7. Edmonton, Alberta.

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. SAĞLAM, B. 2004. Orman Yangınları ve Hava Halleri, Kastamonu Orman Fakültesi Dergisi, 4(2), 220-231.

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

KÜÇÜK, Ö. B BİLGİLİ, E. BAYSAL, İ. 2007b. Fire development from a point source in surface fuels of a mature Anatolian black pine stand. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 31(4), 263-273.

KÜÇÜK, Ö. B BİLGİLİ, E. DİNÇDURMAZ, B. SAĞLAM, B. BAYSAL, İ. 2009. Örtü yangınının tepe yangınına geçişinde etkili olan faktörler. *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 9(2).

LUKE, RH. and ARTHUR, MC. 1986. Bushfires in Australia. Revision and second printing. Aust. Govt., Can., Forest Management Note., No: 35., pp: 8.

MCRAE, DJ. 1999. Point-source fire growth in Jack pine slash. *Int. J. Wildland Fire*. 9: 65-77.

NATIOANAL WILDLIFE COORDINATING GROUP, 1981. Fire Behavior (Training manuals), Boise Interagency Fire Center, Boise, ID.

OGM, 2007. Orman Genel Müdürlüğü, Orman Varlığı.

OGM, 2009. Orman Genel Müdürlüğü Orman Yangınları ile Mücadele Eylem Planı.

PÄÄTALO, L. 1998. Forest Influencing Occurence and Impacts of Forest Fire in Nothern European Forest, *Silva Fennica*, 32(2), pp: 185-202.

PYNE, SJ. ANDREWS, PL. LAVEN, RD. 1996. Introduction to wildland fire. New York: John Wiley & Sons, Inc. 769 p.

ROTHERMEL, RC. 1972. A Mathematical Model for Predicting Fire Spread in Wildland Fuels, Res, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Res., pp: 40, INT-115, Ogden.

ROTHERMAL, RC. 1983. How to predict the spread and intensity of forest and range fires. USDA Forest service, Intermountain Forest and Range Experimental Station research, General Technical Report, INT-143.

ROTHERMAL, RC. 1991. Predicting behavior and size crown fires in the Northern Rocky Mountains. Intermountain Forest and Range Experimental Station research, General Technical Report, INT-438.

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

SCOTT, J H. REINHARDT, ED. 2001. Assessing crown fire potential by linking models of surface and crown fire behavior. Res. Pap. RMRS-RP-29. For Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 59 p.

STOCKS, BJ. ALEXANDER, ME. WOTTON, BM. STEFNER, CN. FLANNIGAN, MD. et al. 2004. Crown fire behavior in a northern jack pine-black spruce forest. *Can. J. For. Res*, 34, 1548–1560.

SCHROEDER, MJ. BUCK, CC. 1970. Fire Weather A Guide for Application of Meteorological Information to Forest Fire Control Operations. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Idaho.

XANTHOPOULOS, G. 1990. Development of a wildland crown fire initiation model. Ph.D. thesis, Univ. Montana, Missoula, Montana, 152p.

VAN WAGNER, C.E., 1973. Height of Crown Scorch in Forest Fires, Can. J. For. Res. 3: pp: 373-378.

VAN WAGNER, CE. 1977. Conditions for the Start and Spread of Crown Fire, Can. J. For. Res. 7:23-34.

VAN WAGNER, CE. 1989. Prediction of Crown fire Behavior in Conifer Stands, pp: 207-212 in Proc. 10th Conf. Fire and For. Meteor. (17-21 April 1989, Ottawa, Ontario), For. Can. and Environ. Can., Ottawa, Ontario.

VAN WAGNER, CE. 1993. Prediction of Crown fire behavior in two stands of Jack pine. Can. J. For. Res, 23: 442-449.

WILSON, R. 1985. Observation of Extinction and Marginal Burning States in Free in Burning Porous Fuel Beds, Combust. Sci. Technol. 44, pp: 179-193.