

KARAÇAM ÖLÜ ÖRTÜSÜNDE YANGIN BÜYÜME VE
GELİŞİMİ

İsmail BAYSAL

MAYIS 2007

KARAÇAM ÖLÜ ÖRTÜSÜNDE YANGIN BÜYÜME VE
GELİŞİMİ

İsmail BAYSAL

ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ORMAN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALINDA
YÜKSEK LİSANS DERECESİ İÇİN GEREKLİ ÇALIŞMALARI
YERİNE GETİREREK
ONAYA SUNULAN TEZ

MAYIS 2007

Fen Bilimleri Enstitüsü'nün Onayı

Prof.Dr. Nihat ÇELEBİ

Enstitü Müdürü

Bu tezin Yüksek Lisans derecesinde bir tez olarak gerekli çalışmaları yerine getirdiğini onaylarım.

Prof.Dr.Refik KARAGÜL

Orman Mühendisliği Anabilim Dalı Başkanı

Okuduğumuz bu tezin Yüksek Lisans derecesinde bir tez olarak onaylanması düşüncemize göre, amaç ve kalite olarak tamamen uygundur.

Doç.Dr. Süleyman AKBULUT

Tez Danışmanı

Jüri Üyeleri

1- Doç.Dr. Süleyman AKBULUT

.....

2- Prof. Dr. Ertuğrul BİLGİLİ

.....

3- Yrd. Doç. Dr. Beşir YÜKSEL

.....

ABSTRACT

FIRE GROWTH AND DEVELOPMENT IN BLACK PINE LITTER

İsmail BAYSAL

Master of Science: Department of Forest Engineering

Supervisor: Doç. Dr. Süleyman AKBULUT

May 2007, 79 pages

In this study, line and point source surface fires were conducted under different weather and fuel conditions in Anatolian black pine (*P.nigra* J.F. Arnold *subsp. nigra* var. *caramanica* (Loudon) Rehder) stand. Also, the effects of line and point source fires on the characteristics of fire spread and fire acceleration from ignition to steady spread rate were investigated.

Relationships between rate of fire spread, fuel and weather conditions were determined with correlation and regression analyses. According to the relationships generated, it was determined that the rate of fire spread could be predicted with wind speed. Fuel loading was a good indicator for predicting fuel consumption. Fire intensity was closely related to wind speed and moisture content of surface litter.

Finally, fire behavior in black pine litter was determined by using fuel properties and weather measurements. The results of this study will make important contributions to fire behavior prediction system and meteorological fire index of Turkey.

Key Words: Line Fires, Point Fires, Spread Rate, Fire Behavior

ÖZET

KARAÇAM ÖLÜ ÖRTÜSÜNDE YANGIN BÜYÜME VE GELİŞİMİ

İsmail BAYSAL

Yüksek Lisans: Orman Mühendisliği Bölümü

Tez Danışmanı: Doç.Dr. Süleyman AKBULUT

Mayıs 2007, 79 sayfa

Bu çalışmada, karaçam meşçeresinde (*P.nigra* J.F. Arnold *subsp. nigra* var. *caramanica* (Loudon) Rehder) farklı hava halleri ve yanıcı madde koşulları altında hat ve nokta kaynaklı örtü yangınları gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, hat ve nokta kaynaklı örtü yangınlarının, yayılma oranı karakteristikleri ve tutuşma zamanından sabit yayılma oranına ulaşana kadar olan hızlanma oranları üzerine etkileri incelenmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre yangının yayılma oranının büyük oranda rüzgar hızıyla tahmin edilebileceği belirlenmiştir. Yanıcı madde tüketimini tahmin etmek için yanıcı madde miktarı iyi bir göstergedir. Yangın şiddeti, rüzgar hızı ve ibrelerin nem oranı ile yakın ilişkilidir.

Sonuç olarak; yanıcı madde miktarı, meteorolojik veriler ve yanıcı madde modelleri ile ilgili elde edilen veriler yardımıyla karaçam ölü örtüsünde yangın davranışı belirlenmiştir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar, ileride oluşturulması düşünülen Türkiye yangın davranışını tahmin sistemi ve meteorolojik yangın indeksi sistemine önemli katkılar sağlayacaktır.

Anahtar Kelimeler: Hat Yangınları, Nokta Yangınları, Yayılma Oranı, Yangın Davranışı

TEŞEKKÜR

“Karaçam Ölü Örtüsünde Yangın Büyüme ve Gelişimi” isimli bu çalışma A.İ.B.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır.

Bu çalışmanın planlanmasından bitimine kadar her aşamasında sürekli destek ve katkılarıyla çalışmamı yönlendiren, bilgilerinden sürekli istifade ettiğim sayın hocam Prof. Dr. Ertuğrul BİLGİLİ’ye sonsuz teşekkürlerimi ve şükranlarımı sunarım.

Tez çalışmamın arazi kısmında ve sonrasında tecrübe ve deneyimleriyle beni yalnız bırakmayan ve her zaman görüş ve fikirlerinden yararlandığım Dr. Ömer KÜÇÜK’e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışma boyunca destek ve yardımlarını esirgemeyen tez danışmanım sayın hocam Doç Dr. Süleyman AKBULUT’ ve sayın hocam Yrd. Doç. Dr. Beşir YÜKSEL’e teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca, tezin istatistik analizlerinde kıymetli zamanını ve bilgilerini benimle paylaşan Arş. Gör. İlker ERCANLI’ya teşekkür ederim. Arazi çalışmalarında yardımcı olan Kastamonu Orman İşletme Müdürlüğü personeline de teşekkür ederim.

Bugünlere gelmemde çok büyük emekleri geçen, hayatım boyunca bana her türlü konuda destek olan çok sevgili aileme ve büyük özverilerde bulunarak bana destek olan, yeterince vakit ayıramadığım eşime teşekkür ederim.

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

İÇİNDEKİLER

ABSTRACT	III
ÖZET	III
TEŞEKKÜR	V
İÇİNDEKİLER	VI
ÇİZELGE LİSTESİ	IX
ŞEKİL LİSTESİ	XI
KISALTMALAR LİSTESİ.....	XIV
1.GİRİŞ	1
1.1.Genel Bilgiler.....	1
1.2.Literatür Araştırması	5
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR	14
2.1. Araştırma Sahasının Genel Tanıtımı	14
2.1.1. Konum.....	14
2.1.2. İklimi.....	15
2.1.3. Meşçere Yapısı	16
2.2. Yöntem	17
2.2.1. Arazi Çalışmaları	17
2.2.2. Yangın Öncesi Ölçümler.....	17
2.2.2.1. Hava Halleri Ölçümleri.....	17

2.2.2.2. Yanıcı Madde Miktarının Belirlenmesi	18
2.2.2.3. Yangın Öncesi Yanıcı Madde Nem	
İçeriklerinin Belirlenmesi.....	19
2.2.3. Hat ve Nokta Yangınları Sırasında Yapılan Ölçümler	23
2.2.4. Yangınlar Sonrası Yapılan Ölçümler.....	28
2.2.5. İstatistik Yöntemler.....	29
3. BULGULAR	30
3.1. Hat Yangınlarına İlişkin Bulgular.....	30
3.1.1. Yayılma Oranı	32
3.1.2. Yanıcı Madde Tüketimi	33
3.1.3. Yangın Şiddeti	34
3.2. Nokta Yangınları-Bölümlemeye İlişkin Bulgular.....	35
3.2.1. Birinci Bölüm-Başlangıç Aşaması	36
3.2.2. İkinci Bölüm-Gelişme Aşaması.....	40
3.2.3. Üçüncü Bölüm-Sabit Yayılma Aşaması	44
3.3. Hat ve Nokta Yangınlarının Karşılaştırılması	48
3.3.1. Birinci Bölüm-Başlangıç Aşaması ve Hat	
Yangınlarının Karşılaştırılması.....	48
3.3.2. İkinci Bölüm-Gelişme Aşaması ve Hat Yangınlarının	
Karşılaştırılması.....	49
3.3.3. Üçüncü Bölüm-Sabit Yayılma Aşaması ve Hat	
Yangınlarının Karşılaştırılması.....	50

3.4. Boy-En (B/E) ve Yanan Alan Analizi.....	52
4. TARTIŞMA	55
4.1. Hat Yangınları.....	55
4.1.1. Yayılma Oranı	55
4.1.2. Yanıcı Madde Tüketimi	56
4.1.3. Yangın Şiddeti	56
4.2. Nokta Yangınları-Bölümlleme.....	57
4.2.1. Birinci Bölüm-Başlangıç Aşaması	59
4.2.2. İkinci Bölüm-Gelişme Aşaması.....	60
4.2.3. Üçüncü Bölüm-Sabit Yayılma Aşaması	61
4.3. Hat ve Nokta Yangınları.....	62
4.3.1. Birinci Bölüm-Başlangıç Aşaması ve Hat Yangınlarının Karşılaştırılması.....	63
4.3.2. İkinci Bölüm-Gelişme Aşaması ve Hat Yangınlarının Karşılaştırılması.....	64
4.3.3. Üçüncü Bölüm-Sabit Yayılma Aşaması ve Hat Yangınlarının Karşılaştırılması.....	64
4.4. Boy-En (B/E) ve Yanan Alan Analizi	65
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	67
6. KAYNAKLAR	73
7. EKLER	78

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 1. Baş yangını yayılma oranındaki hızlanmadan dolayı muhtemel elips yangın gelişimi hesaplamaları için bir örnek; Sabit Yayılma Oranı=14 m/dak, Tutuşmadan itibaren geçen zaman=40 dakika, ve saatteki rüzgar hızı 20 km/s	10
Çizelge 2. Kastamonu Merkez Meteoroloji İstasyonuna ait bazı iklim verileri.....	15
Çizelge 3. Hat deneme yangınlarına ilişkin arazi ve laboratuvar ölçüm değerleri.....	21
Çizelge 4. Nokta deneme yangınlarına ilişkin arazi ve laboratuvar ölçüm değerleri...	22
Çizelge 5. Hat deneme yangınlarına ilişkin hava halleri ve yangın davranış verileri	31
Çizelge 6. Regresyon analizleri sonucunda geliştirilen yangın davranışıyla ilgili modeller ve bu modellere ait belirtme katsayısı (R^2) ve standart hata (S.H.) değerleri	31
Çizelge 7. Bölümleme-başlangıç aşaması için hava halleri, yanıcı madde özellikleri ve yangın davranışı arasındaki ilişkileri gösteren korelasyon matrisi	36
Çizelge 8. Nokta deneme yangınları, Bölümleme-Başlangıç Aşamasına ilişkin hava halleri ve yangın davranış verileri	36
Çizelge 9. Birinci Bölüm-Başlangıç Aşamasına ilişkin yangın davranışıyla ilgili modeller ve bu modellere ait belirtme katsayısı (R^2) ve standart hata (S.H.) değerleri	38
Çizelge 10. Bölümleme-gelişme aşaması için hava halleri, yanıcı madde özellikleri ve yangın davranışı arasındaki ilişkileri gösteren korelasyon matrisi	41
Çizelge 11. Nokta deneme yangınları, Bölümleme-Gelişme Aşamasına ilişkin hava halleri ve yangın davranış verileri	42

Çizelge 12 Gelişme Aşamasına ilişkin yapılan regresyon analizleri sonucunda geliştirilen yangın davranışıyla ilgili modeller ve bu modellere ait belirtme katsayısı (R^2) ve standart hata (S.H.) değerleri.....	42
Çizelge 13. Sabit yayılma aşaması için hava halleri, yanıcı madde özellikleri ve yangın davranışı arasındaki ilişkileri gösteren korelasyon matrisi.....	45
Çizelge 14. Nokta deneme yangınları, Bölümleme-Sabit Yayılma Aşamasına ilişkin hava halleri ve yangın davranış verileri	45
Çizelge 15. Üçüncü Bölüm-Sabit Yayılma Aşamasına ilişkin geliştirilen yangın davranışıyla ilgili modeller ve bu modellere ait belirtme katsayısı (R^2) ve standart hata (S.H.) değerleri.....	46
Çizelge 16. Boy/en ve yanan alan değerleri ile nokta deneme yangınlarına ilişkin ölçülen meteorolojik veriler.....	54

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1. Basit elips yangın gelişimi.....	9
Şekil 2. Değişik çevre koşulları için hızlanma eğrileri grupları.....	11
Şekil 3. Çalışma alanının genel konumu.....	14
Şekil 4. Orman yangınlarının en fazla meydana geldiği Nisan-Ekim aylarını içeren ve Kastamonu iline ait 60 yıllık, aylık ortalama sıcaklık, yağış ve nem değerleri.....	15
Şekil 5. Deneme yangınlarının yapıldığı meşçerenin uzaktan görünümü	16
Şekil 6. Deneme yangınlarının yapıldığı meşçerede alt tabakanın görünümü.....	16
Şekil 7. Arazide deneme yangınları sırasında meteorolojik verilerin ölçülmesi için araziye kurulan mobil meteoroloji istasyonu.....	18
Şekil 8. Nokta ve hat deneme yangınlarından önce alanda nem, ölü örtü ve yanıcı madde miktarı ölçümleri (a-b)	19
Şekil 9. Laboratuarda nokta ve hat deneme yangınlarına ilişkin nem-yanıcı madde miktarı ve ölü örtü (humus) ölçümleri (a-b-c-d).....	20
Şekil 10. Hat ve nokta yangınları sırasında yapılan ölçümler (a-b-c-d)	24
Şekil 11. Hat deneme yangınlarının yapılacağı parsellerin hazırlanması	24
Şekil 12. 17 nolu hat deneme yangınına ait görüntüler (a-b-c-d-e-f-g-h).....	25
Şekil 13. Yüksek rüzgar hızlarında eliptik yangın gelişimi gösteren 4 nolu nokta yangınının görüntüleri.(a-b-c-d-e-f-g-h)	26
Şekil 14. Düşük rüzgar hızlarında dairesel şekil alan 15 nolu nokta yangınına ait görüntüler (a-b-c-d-e-f-g-h)	27
Şekil 15. Yangın sonrası deneme alanlarında yapılan ölçümler (a-b)	28
Şekil 16. Yayılma oranının (YO) hesaplanan değerleriyle rüzgar ve sıcaklığa bağlı olarak tahmin edilen değerleri arasındaki ilişki	33

Şekil 17. Yanıcı madde tüketiminin (YMT) hesaplanan değerleriyle yanıcı madde miktarı, humus nemi ve rüzgara bağlı olarak tahmin edilen değerleri arasındaki ilişki.....	34
Şekil 18. Yangın şiddetinin (YŞ) hesaplanan değerleriyle rüzgar, yanıcı madde miktarı ve sıcaklığa bağlı olarak tahmin edilen değerleri arasındaki ilişki.....	35
Şekil 19. Başlangıç aşaması için yayılma oranının (YO) hesaplanan değerleriyle rüzgar, ibre nem ve bağıl neme bağlı olarak tahmin edilen değerleri arasındaki ilişki	39
Şekil 20. Başlangıç aşaması için yanıcı madde tüketiminin (YMT) hesaplanan değerleriyle yanıcı madde miktarı ve sıcaklığa bağlı olarak tahmin edilen değerleri arasındaki ilişki	39
Şekil 21. Başlangıç aşaması için yangın şiddetinin (YŞ) hesaplanan değerleriyle rüzgar ve ibre nemine bağlı olarak tahmin edilen değerleri arasındaki ilişki	40
Şekil 22. Gelişme aşaması için yayılma oranının hesaplanan değerleriyle rüzgar ve sıcaklığa bağlı olarak tahmin edilen değerleri arasındaki ilişki	43
Şekil 23. Gelişme aşaması için yanıcı madde tüketiminin hesaplanan değerleriyle yanıcı madde miktarı, sıcaklık ve humus nemine bağlı olarak tahmin edilen değerleri arasındaki ilişki	43
Şekil 24. Gelişme aşaması için yayılma oranının hesaplanan değerleriyle rüzgar ve yanıcı madde miktarına bağlı olarak tahmin edilen değerleri arasındaki ilişki	44
Şekil 25. Sabit yayılma aşaması için YO'nun hesaplanan değerleriyle rüzgara bağlı olarak tahmin edilen değerleri arasındaki ilişki	46

Şekil 26. Sabit yayılma aşaması için YMT'nin hesaplanan değerleriyle yanıcı madde miktarı ve sıcaklığa bağlı olarak tahmin edilen değerleri arasındaki ilişki.	47
Şekil 27. Sabit yayılma aşaması için YŞ'nin hesaplanan değerleriyle rüzgar bağlı olarak tahmin edilen değerleri arasındaki ilişki ...	47
Şekil 28. 0 km/s rüzgar hızı için başlangıç aşaması ve hat yangınlarının karşılaştırılması.....	49
Şekil 29. 4 km/s rüzgar hızı için gelişme aşaması ve hat yangınlarının karşılaştırılması.....	50
Şekil 30. 8 km/s rüzgar hızı için sabit yayılma aşaması ve hat yangınlarının karşılaştırılması.....	50
Şekil 31. Nokta yangınları bölümler ve hat yangınları için hesaplanan modellerden elde edilen yayılma oranı değerleri.....	51
Şekil 32. Zamana bağlı olarak Boy/En oranındaki değişmeler	53
Şekil 33. 0-4-8 km/s rüzgar hızı sınıflarında gerçekleştirilen 20, 16 ve 6 nolu nokta yangınlarının geometrik şekilleri.....	53

KISALTMALAR LİSTESİ

BYİ	: Başlangıç Yayılma İndeksi
BYMİ	: Birikmiş Yanıcı Madde İndeksi
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
OGM	: Orman Genel Müdürlüğü
YD	: Yangın Davranışı
YM	: Yanıcı Madde
YMT	: Yanıcı Madde Tüketimi
YO	: Yayılma Oranı
YŞ	: Yangın Şiddeti
YTO	: Yangın Tehlike Oranı

1. GİRİŞ

1.1. Genel Bilgiler

Ormanlar, bir taraftan artan odun ve odun ürünlerine olan büyük talep nedeniyle yapılan bilinçsiz ve aşırı kullanım sonucu tahrip edilirken, diğer taraftan çok büyük alanlar orman yangınları sonucu yok olmaktadır. Orman yangınları sadece ormanların, orman ürünleri üretimine zarar vermemekte aynı zamanda su üretimi, toprak koruma, iklim düzenleme, toplum sağlığı, tabiatı koruma, milli savunma, estetik, rekreasyon, bilim ve araştırma gibi bir çok fonksiyonunu etkilemektedir (Eraslan, 1982). Bir başka ifadeyle orman yangınları, her yıl binlerce hektar alanın yanıp kül olmasına, maliyeti çok yüksek yangınla savaş giderlerine ve hatta önemli sayıda mülki ve rekreasyonel değerin kaybolmasına neden olmaktadır (Kourtz, 1984). Öte yandan orman yangınları, ormanların sürekliliği ve ekolojik dengenin (fauna, flora) sağlanmasında en önemli öğelerden birini oluşturmaktadır. Bundan dolayı orman yangınlarının iyi bir şekilde incelenerek, ekonomik ve ekolojik etkilerinin ortaya konulması, yapılacak planlama ve düzenlemelerin başarısı üzerinde çok önemli roller oynayacaktır (Bilgili, 1995).

Türkiye orman varlığı 21.188.747 hektar olup (OGM, 2007), ülke genelinin %27,2'sini kaplar. 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. Kahramanmaraş'tan başlayıp Akdeniz ve Ege'yi takiben İstanbul'a kadar uzanan 1700 km'lik sahil bandının 160 km derinliğindeki bölümünde yayılış gösteren 12 milyon hektar ormanlık alan, yangına birinci derecede

hassastır. Diğer bir ifadeyle, ormanlarımızın toplam % 58'i yangınlar açısından riskli bölgelerdedir (Sağlam, 2002).

Yangın istatistiklerinin tutulmaya başlandığı 1937 yılından 2006 yılı sonuna kadar meydana gelen 79 708 adet orman yangını ile toplam 1 571152 hektar, yıllık ortalama olarak da 22770 hektar ormanlık alan yanmıştır. Bu dönem içerisindeki yıllık ortalama yangın sayısı 1155 adet olup, bir yangın başına düşen yanan alan miktarı 19,7 hektardır (OGM, 2007).

21. yüzyılın en sıcak yıllarını içine alan son 5 yıllık periyot dikkate alındığında 8863 adet orman yangınında toplam 30160 hektar, yıllık ortalama olarak da 6032 hektar ormanlık alan yanmıştır. Bu dönem içerisindeki yıllık ortalama yangın sayısı 1772 adet olup, bir yangın başına düşen yanan alan miktarı 3,4 hektardır (OGM, 2007). Yangın adedi sayısındaki artış ve olumsuz giden mevsim sıcaklıklarına rağmen, yangın başına düşen yanan alan miktarında çok büyük bir azalış göze çarpmaktadır. Orman yangınlarıyla ilgili giderek artan araştırmalar sayesinde geliştirilen yeni teknik ve uygulamaların yanı sıra teknolojik yeniliklerin de kullanılmaya başlanmasıyla yanan alan miktarında büyük oranda azalma sağlanmıştır.

Yangın söndürme çalışmalarının başarısı, yangının erken görülüp ilk müdahalenin çok kısa bir süre içinde yapılabilmesine bağlıdır. Yangının başlama ve gelişme aşamasını içine alan bu süre, yangınların kolaylıkla kontrol altına alınabileceği zaman olup, yangınlarla mücadelede son derece önem arz etmektedir. Yangın, ilk müdahalede geç kalındığında 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 şeklinde, kullanılacak ekip, araç ve gereçlerin belirlenmesi ve konuşlandırılmasıyla ilgili karar vermede ve yangınla etkin ve başarılı bir şekilde mücadele aşamasında yardımcı olmaktadır (Sağlam, 2002).

Ülkemizde meydana gelen yangınların bir çoğu ilk müdahalede gecikildiği için kontrolden çıkıp 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. Küçük bir yangın için eldeki imkanların önemli bir kısmı seferber edilerek büyük harcamaların yapıldığı ve böylece kaynakların gereksiz yere israf edildiği durumlara sıkça rastlanmaktadır. 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).

Orman yangınları genel olarak orman zemininde bulunan ölü örtü tabakasında başlar ve mevcut şartlar uygunsa gelişerek devam eder. Orman yangını, yeterli miktarda yanmaya elverişli ölü örtü tabakası bulunmadığı durumlarda tepe yangınına dönüşmez. Yangınların başlaması için gerekli olan şartlar, orman zemininde bulunan ve ölü örtüyü oluşturan ince yanıcı maddeler (ibre, ince dal (çapı 0,5mm'den küçük), kabuk) ve humus tabakası nemiyle yakından ilişkilidir. 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). Uygun koşullarda başlayan ve gelişen yangın serbest yayılma eğiliminde mevcut şartlarda bir değişiklik olmadığı müddetçe yayılır. Serbest yayılma aşamasındaki aktif bir orman yangının ön cephesi üç temel

özelliğe sahiptir: (1) yayılır (2) yanıcı madde tüketir (3) görülebilir alevli yanma reaksiyonu ile ısı enerjisi üretir (Alexander, 1982).

Bu çalışma orman yangınlarının çıkış ve gelişme yeri olan ölü örtüdeki yangının başlangıç, gelişme ve sabit yayılma aşamalarının incelenmesine yönelik yapılmıştır. Nokta kaynaklı bir orman yangının zamana, hava hallerine, ölü örtü nem içerikleri ve yanıcı madde miktarına bağlı olarak, yayılma karakteristikleri ayrıca tutuşma zamanından sabit yayılma aşamasına ulaşana kadar olan hızlanma oranları incelenmiştir. Çalışma yangın tehlike oranları (YTO) sistemi ve yangın amenajmanı açısından irdelenmiş ve YTO sisteminin önemli bir parçası olan başlangıç yayılma indeksi (BYİ)'nin hesaplanmasında önemli katkılar sağlayacağı beklenmektedir.

1.2. Literatür Araştırması

Orman yangınları ilk olarak ormanın zemininde bulunan ölü örtü tabakasında başlar ve duruma göre gelişerek diğer yanıcı madde tabakalarında etkili olur. Orman yangını, yeterli miktarda yanmaya elverişli ölü örtü tabakası bulunmadığı durumlarda tepe yangınına dönüşmez. 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. İnce ölü yanıcı maddeler içerisinde ise özellikle ibreler, hava hallerindeki küçük değişimlerden bile etkilendiklerinden hızlı nem alma ve nem kaybetme özelliklerine sahiptirler. Hava hallerine bağlı olarak süratle kuruyan ibreler yanmaya elverişli hale gelirler. Yangın tehlike oranları sistemi içerisinde ince yanıcı maddelerin nem içerikleri, günlük yangın potansiyelinin belirlenmesinde kullanılır. Alt tabakayı oluşturan humus yanıcı maddeleri ise, ince yanıcı maddelere oranla daha uzun ıslanma ve kuruma oranlarına sahiptirler. Humus tabakası ve kalın yanıcı maddeler daha ziyade nem içeriğindeki mevsimsel değişimleri yansıtmakta olup yanıcı madde tüketiminin belirlenmesinde kullanılır. Nem içeriği düşük yanıcı maddeler yayılma oranı, yangın şiddeti ve yanıcı madde tüketimini artırmaktadır (Sağlam, 2002).

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 limit 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 maddelerin sahip oldukları ısı ve bulundukları ortamdaki sıcaklık, 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 ve Rothermel, 1984).

Yanıcı madde boyutu yanıcı maddelerin yanma hızını belirleyen bir faktördür. İnce ve kaba yanıcı maddeler olmak üzere genelde iki grupta incelenirler. Yaprak, ince dal, ibre ve çayır gibi ince yanıcı maddeler çok hızlı nem alma ve verme özelliğine sahiptirler. Dolayısıyla çok kısa sürede kuruyarak tutuşmaya elverişli hale gelmektedirler. Kaba yanıcı maddeler incelene oranla daha büyük ebatlara sahip kök, devrilmiş gövdeler ve kalın çaplı kesim artıklarından oluşmaktadır. Bu tip yanıcı maddeler boyutlarından dolayı nemi daha yavaş alıp daha geç bırakırlar. Tutuşmaları için daha fazla ısıya ve yanmaları için daha fazla zamana ihtiyaç gösterirler. Dolayısıyla bu tip yanıcı maddelerin yangının başlaması ve yayılmasında önemli bir etkisi yoktur (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 hiç etkiye

sahip olamamalarına rağmen, oransal olarak hem reaksiyon şiddetine hem de konvektif şiddetine katkıda bulunurlar. 2-5 cm çapından daha büyük olan canlı yanıcı maddeler nadir olarak tamamen yanarlar, fakat açığa çıkardıkları ısı ve enerji ile yangının yayılmasına artırıcı etki yaparlar (Chandler vd., 1991).

Yanıcı madde düzeni, yanıcı maddelerin yatay ve dikey konumdaki dizilimleri ile ilgilidir. Yanıcı madde sürekliliği ise, tüm yanıcı maddelerin yatay ve dikey konumdaki sürekliliğini ifade eder. Yanıcı madde düzeni yanmayı, yangın şiddetini, yayılma oranını, havalanmayı dolayısıyla YM nem kaybı oranını büyük ölçüde etkiler. İbre boyu küçük olan saf iğne yapraklı meşcerelerde (örneğin göknar, ladin) ölü örtüdeki ibre gözenekliliğinin az oluşu ve sıkışık bir yapı oluşturmaları nedeni ile örtü yangınları ya çok yavaş ilerler ya da hiç ilerlemez. Yapraklı meşcerelerde (özellikle meşe) yeni dökülmüş yaprakların oluşturduğu ölü örtüde yangın daha hızlı ilerleyebilir. Bunun sebebi, yaprakların kıvrılarak havalanmayı arttırması (gevşek bir örtü oluşturmaları) ve iyi bir örtü oluşturmalarından kaynaklanmaktadır. Örtü yangınları özellikle çam meşcerelerinde oldukça hızlı yayılmaktadır. Bunun nedeni, ibrelerin uzunluğu ve oluşturdıkları derin ve havalanması iyi ölü örtü tabakasıdır (Bilgili, 1998).

Hem yatay hem de dikey YM sürekliliği yangın davranışı açısından son derece önemli yanıcı madde özelliklerindendir. Yangın genelde ölü örtü tabakasında başlar ve gelişir. Yangının ilerleyebilmesi, yangının ilerlediği yöndeki yanıcı maddenin sürekliliği ile doğrudan ilişkilidir. Ölü örtü tabakasındaki bir kesinti yangının daha ileriye geçişini engelleyecek ya da zorlaştıracaktır (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).

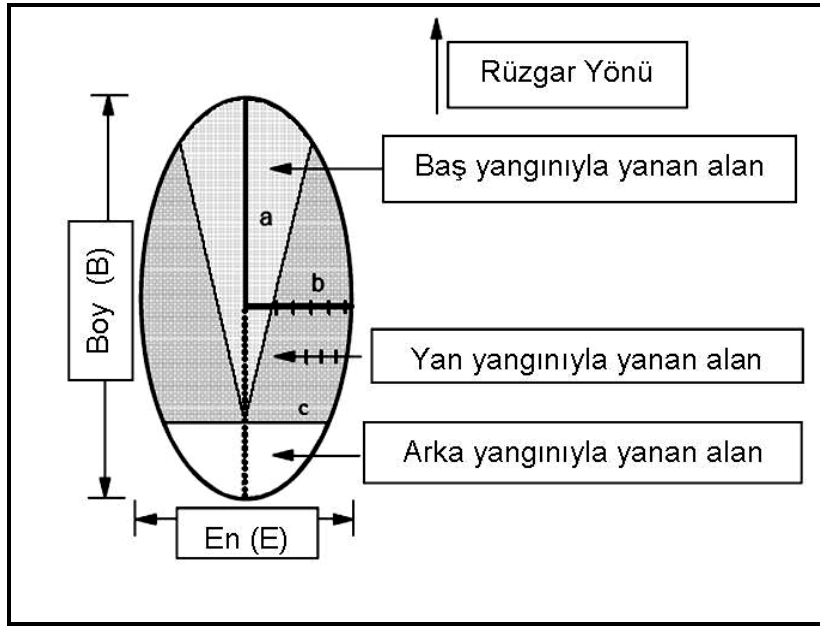
Hava hallerindeki değişim, özellikle nem, sıcaklık ve rüzgar durumunda meydana gelen farklılıklar; bir yangının, yakabileceği yanıcı madde miktarının ve yangın şiddetinin bir göstergesi olarak değerlendirilir. Hava hallerinde kısa süreli değişimler, ince yanıcı maddelerin (ince dallar, ibreler vb.) nem durumunu ve tutuşabilirliğini belirler (Albini, 1976; Stocks vd., 1989; Päätaalo, 1998). Uzun dönemdeki hava değişimleri ise, yüzeydeki üretim artıklarının ve daha derinlerdeki organik tabakanın nem durumunu ve tutuşabilirliğini etkiler (Stocks vd., 1989).

Genelde yangın şeklini belirleyen etkenlerin en önemlisi rüzgardır. Yangının yayılma oranı (YO)'nı ve çevre değerlerine ait tahminler için geliştirilen modellerde çoğunlukla rüzgar hızı esas değişken olarak alınmaktadır. Rüzgar, yangının ön cephesinin gelişmesini, alevin önündeki yanmamış yanıcı maddelere radyasyon yoluyla sıcak hava taşıyarak tutuşma ve yanmayı artırarak destekler (Burgan and Rothermel, 1984; Chandler vd., 1991).

Bir noktadan başlayan yangının gelişimi büyük oranda rüzgarın ani ve sert esişine, yöresel rüzgar yön değiştirmelerine ve arazi şartlarındaki şiddetli rüzgar değişikliklerine bağlıdır (Cheney ve Gould, 1995).

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 1). Elips yangın gelişim şekline göre, yayılma oranı ve yangın şiddeti baş yangınında en yüksek olup yan yangınından arka yangınına doğru gittikçe azalma eğilimindedir. (Catchpole and vd., 1992). Elips biçiminde gelişim gösteren yangının alanı ve çevresi, baş ve arka yangını hızı; rüzgar hızı ve tutuşmadan sonra geçen zaman esas alınarak hesaplanabilir (Forestry Canada Fire Danger Group 1992).



Şekil 1. Basit elips yangın gelişimi

Yayılma 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; eğim, birikmiş yanıcı madde indeksi (BYMİ), rüzgar hızı ve ince yanıcı madde nem kodu (İYMNK) esasına, yani; 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).

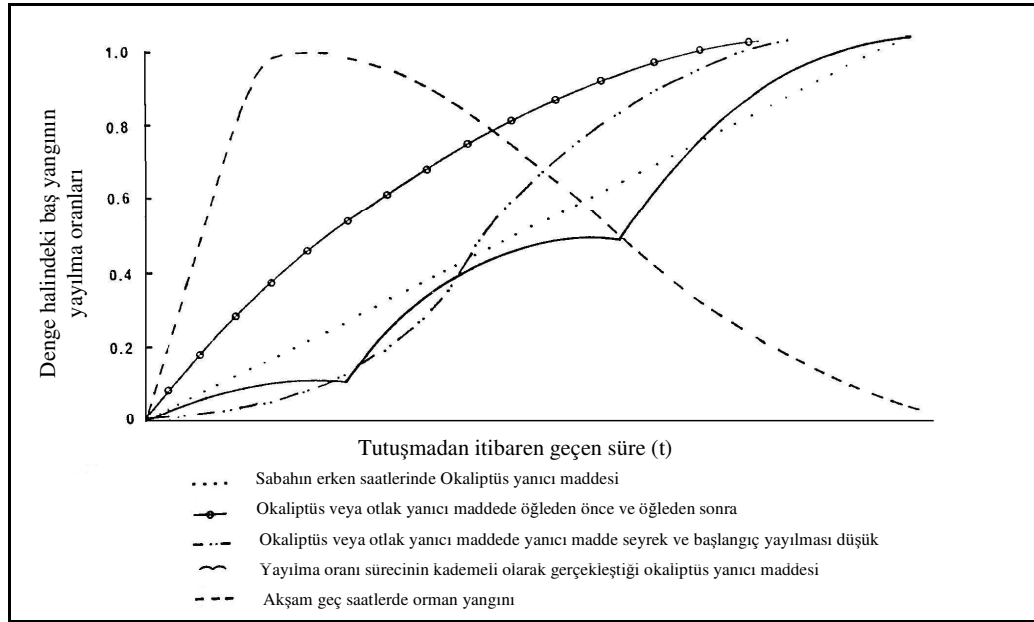
Çizelge 1. Baş yangını yayılma oranındaki hızlanmadan dolayı muhtemel elips yangın gelişimi hesaplamaları için bir örnek. Sabit Yayılma Oranı=14 m/dak, Tutuşmadan itibaren geçen zaman=40 dakika, ve saatteki rüzgar hızı 20 km/s

Durum	Yangın yayılma mesafesi(m)	Yangın alanı (ha)	Yangın boyu (m)
A: Hızlanma dikkate alınmadığında	560	16,9	1982
B: Hızlanma dikkate alındığında*	368	8,1	547

*Yangın başladıktan 30 dakika sonra %90 oranında sabit yayılma oranına ulaştığı varsayıldığında (R.S. McAlpine, 1988)

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. Yüzeydeki rüzgar hızı
6. Atmosferik değişiklikler
7. Eğim
8. Nokta yangınları oluşturma süreci



Şekil 2. Değişik çevre koşulları için hızlanma eğrileri grupları (Luke and McArthur, 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 (Burgan, 1979).

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 (wat) 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 güçlüğüne 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:

$$I = H \times W \times R$$

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/saat)

Serbest tutuşmadaki yangında, yangın şiddeti oranının ölçölmesinde geniş oranda kabul görmüş olan Byram (1959)'ın formölü 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 (Byram 1959; Albini, 1976; Van Wagner, 1973; Alexander, 1982). Yangın şiddeti, yangınlarla mücadelenin zorluk derecesini ortaya koyan bir göstergedir (Küçük 2004).

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Araştırma Sahasının Genel Tanıtımı

2.1.1. Konum

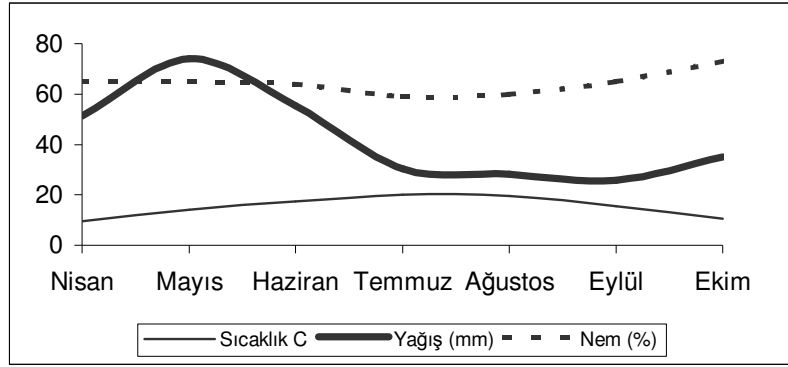
Çalışma alanı, Türkiye'nin kuzeybatısında, 41° 21' kuzey enlemleri ile 33° 42' doğu boylamları arasında yer almaktadır. Kastamonu ili Merkez ilçesi sınırları içinde yer alan çalışma alanı, Kastamonu Orman İşletme Müdürlüğü, Merkez Orman İşletme Şefliği sınırları içerisindeki 163 nolu bölmedir. Denizden yükseklik yaklaşık 950 metredir (Şekil 3).



Şekil 3. Çalışma alanının genel konumu (OGM, 2007)

2.1.2. İklimi

Araştırma alanında, ortalama en yüksek sıcaklık 27,6°C ile Ağustos ayında, ortalama en düşük sıcaklık -5°C ile Ocak ayında, ortalama en düşük nem %59 ile Temmuz ayında, ortalama en yüksek rüzgar hızı 1,7 m/sn ile Nisan ayında, ortalama en düşük yağış kışın 23,6 mm ile şubat ayında ve yazın 25,7 mm ile ağustos ayında, ortalama en yüksek yağış 72,3 mm ile Mayıs ayında gerçekleşmektedir (Şekil 4, Çizelge 2). Deneme yangınları meteorolojik şartlar açısından sıcaklığın yüksek, bağıl nemin en düşük olduğu ve yangın tehlikesinin yüksek olduğu **Eylül** ayının sonlarında yapılmıştır.



Rasat süresi 1945-2004 yılları arası

Şekil 4. Orman yangınlarının en fazla meydana geldiği Nisan-Ekim aylarını içeren ve Kastamonu iline ait 60 yıllık, aylık ortalama sıcaklık, yağış ve nem değerleri (Anonim, 2004)

Çizelge 2. Kastamonu Merkez Meteoroloji İstasyonuna ait bazı iklim verileri* (Anonim, 2005)

	AYLAR												Yıllık
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Ortalama Sıcaklık (°C)	-0,7	0,6	4,3	9,5	13,8	17,4	20,3	19,7	15,5	10,4	4,5	0,6	9,7
Ortalama Yağış (mm)	30,4	23,6	31,9	58,7	72,3	56,6	36,4	25,7	30,7	39,8	32,0	38,3	476,4

* 800 m., Rasat süresi 1975-2005

2.1.3. Meşçere Yapısı

Çalışma alanı saf karaçam (*P.nigra* J.F. Arnold *subsp. nigra* var. *caramanica* (Loudon) Rehder) meşçeresi olup, %0 eğime sahiptir. Meşçere Çkc₃ çağında, %95 kapalılıkta ve ortalama 45 yaşlarındadır. Meşçerenin ortalama tepe çapı 6 metre, meşçere ortalama boyu 18 metre ve hektardaki ortalama ağaç sayısı 700'dür (Şekil 5). Meşçerenin alt tabakasında diri örtü bulunmamakta ve saf ölü örtüden oluşmaktadır (Şekil 6). Ortalama göğüs yüksekliğindeki gövde çapı (d_{1,30}) 35 cm'dir.



Şekil 5. Deneme yangınlarının yapıldığı meşçerenin uzaktan görünümü



Şekil 6. Deneme yangınlarının yapıldığı meşçerede alt tabakanın görünümü

2.2. Yöntem

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

2.2.1. Arazi Çalışmaları

Arazi çalışmaları 2004 yılı Eylül ayı sonu ve Ekim ayı başını kapsayan 10 günlük zaman diliminde gerçekleştirilmiştir. Hat ve nokta deneme yangınları, farklı rüzgar hızı değerlerini yakalayabilmek için meşçerenin üç farklı kısmında gerçekleştirilmiştir. Yüksek rüzgar hızındaki yangınlar için meşçerenin açık alana yakın olan yerlerde, orta ve düşük rüzgar hızındaki yangınlar içinde meşçerenin iç kısımlarında 28 adet hat deneme yangını ve 24 adette nokta deneme yangını gerçekleştirilmiştir.

2.2.2. Yangın Öncesi Ölçümler

Deneme yangınları yapılmadan önce yanıcı madde özellikleri, hava halleri, yanıcı madde nem içeriği ve miktarının belirlenmesi için ölçümler yapılmıştır.

2.2.2.1. Hava Halleri Ölçümleri

Deneme yangınlarına başlamadan önce çalışma alanına kurulan elektronik seyyar meteoroloji istasyonundan günlük hava halleri (sıcaklık, bağıl nem, rüzgar hızı) ölçülüp kaydedilmiştir (Şekil 7). Mobil meteoroloji istasyonu, deneme yangını yapılan her parselin 2-3 metre uzağına ve yerden 1.5 m yüksekliğe kurulmuştur. Hat ve nokta deneme yangınlarında yangına başlamadan önce meteoroloji istasyonundan ölçülen o saate ilişkin sıcaklık ve bağıl nem değerleri kayda geçilmiştir. Rüzgar ölçümleri hat ve nokta deneme yangınları için 15 saniye aralıklarla elektronik

kronometre yardımıyla alınmıştır. Arazide ölçülen bu veriler, daha sonraki analizlerde yangın davranışı ile ilişkiye getirilmek amacıyla kullanılmıştır.

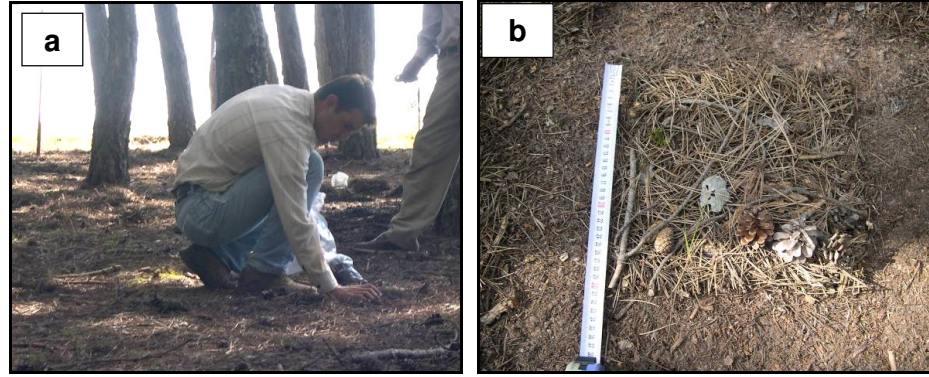


Şekil 7. Arazide deneme yangınları sırasında meteorolojik verilerin ölçülmesi için araziye kurulan mobil meteoroloji istasyonu

2.2.2.2. Yanıcı Madde Miktarının Belirlenmesi

Yanıcı Madde (YM) miktarını belirlemek için, hat ve nokta yangınlarında yanıcı madde parsellerindeki yapıyı temsil eden deneme yangının yapılacağı alanın bitişiğinden, hat yangınları için 25 adet, nokta deneme yangınları içinde 24 adet basit rasgele olarak 30X30 cm ebatlarında parseller alınmıştır. Örnek alan içerisindeki tüm

ibre, dal ve humus tabakası kısımlarına ayrılıp (ibre ve dal (çapı 0.6 cm'den ince, 0.6-1 cm, 1.1-2.5 cm ve 2.5 cm'den daha kalın çaplı dallar) poşetlenerek arazide hassas terazi ile tartılarak yaş ağırlıkları belirlenmiştir (Şekil 8a-8b). Alınan örnekler daha sonra laboratuarda 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.

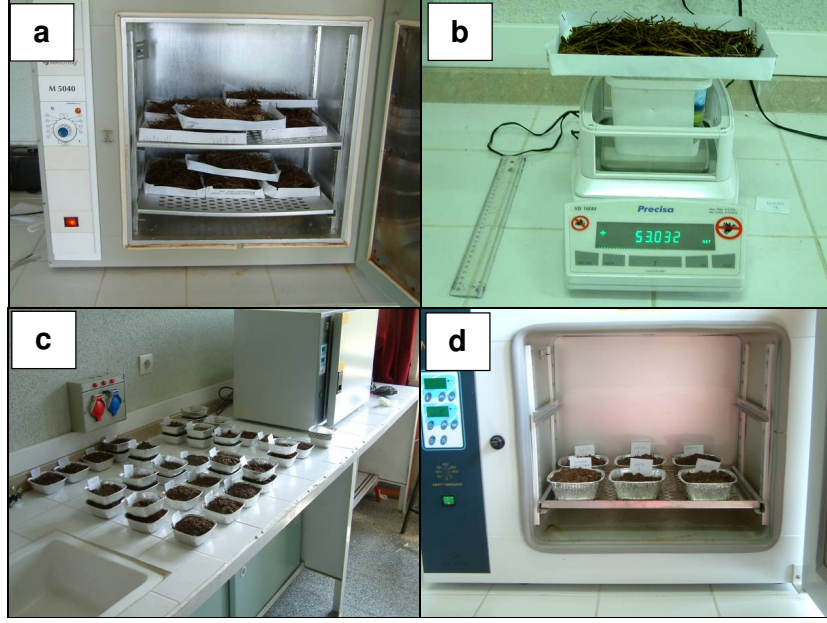


Şekil 8. Nokta ve hat deneme yangınlarından önce alanda nem, ölü örtü ve yanıcı madde miktarı ölçümleri (a-b)

2.2.2.3. Yangın Öncesi Yanıcı Madde Nem İçeriklerinin 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 laboratuarda 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 (Şekil 9

a-b-c-d). Hat ve nokta deneme yangınlarına ilişkin arazide ölçülen yanıcı madde nemi, yanıcı madde miktarı değerleri, hava halleri özellikleri ve laboratuvar ölçüm değerleri Çizelge 3 ve Çizelge 4’te verilmiştir.



Şekil 9. Laboratuvarda nokta ve hat deneme yangınlarına ilişkin nem, yanıcı madde miktarı ve ölü örtü (humus) ölçümleri (a-b-c-d).

Çizelge 3. Hat deneme yangınlarına ilişkin arazi ve laboratuvar ölçüm değerleri.

Hat Yangını No	Tarih (G/A/Y)	Ölçüm Zamanı	Yanıcı Madde Miktarı (Kg/m ²)	Ortalama Rüzgar (Km/Saat)	Sıcaklık (°C)	Bağıl Nem (%)	İbre Nem (%)	Humus Nem (%)
1	22.09.2004	15:20	1,44	1,48	30,00	22,00	8,45	18,26
2	22.09.2004	15:40	1,93	5,90	30,00	20,00	7,95	18,26
3	22.09.2004	15:50	1,90	3,80	32,00	19,00	8,19	18,26
4	22.09.2004	16:00	1,65	4,70	32,00	19,00	8,19	18,00
5	22.09.2004	16:10	1,82	6,60	30,50	19,00	7,57	18,00
6	23.09.2004	14:30	1,83	2,90	21,40	46,00	9,15	22,03
7	23.09.2004	14:55	1,81	1,40	21,40	45,00	11,38	22,03
8	23.09.2004	15:20	1,33	1,30	20,70	48,00	12,73	17,26
9	23.09.2004	16:20	1,59	0,11	20,40	50,00	11,94	22,38
10	23.09.2004	16:50	1,31	0,90	21,20	49,00	12,14	18,48
11	23.09.2004	17:10	1,31	1,20	21,30	48,00	12,14	18,48
12	24.09.2004	15:40	2,04	7,20	27,00	30,00	13,03	25,01
13	24.09.2004	16:00	1,91	6,00	25,00	33,00	13,03	25,01
14	24.09.2004	16:05	1,86	7,10	26,00	30,00	11,05	28,63
15	24.09.2004	16:15	1,69	4,80	26,00	30,00	11,05	28,63
16	24.09.2004	16:25	1,81	4,70	27,00	32,00	10,86	18,16
17	24.09.2004	16:33	1,94	4,60	26,00	31,00	10,86	18,16
18	24.09.2004	16:45	2,45	5,10	26,50	31,00	10,41	21,68
19	24.09.2004	16:50	2,45	7,20	26,00	31,00	10,41	21,68
20	27.09.2004	15:35	1,47	3,70	27,00	22,00	9,87	18,11
21	27.09.2004	15:50	1,56	1,50	27,00	21,00	9,87	18,11
22	27.09.2004	16:10	1,53	1,10	30,50	18,00	9,61	19,65
23	27.09.2004	16:20	1,62	1,10	32,00	16,00	9,61	19,65
24	27.09.2004	16:30	1,71	1,20	32,00	15,00	9,61	19,65
25	01.10.2004	13:20	1,40	5,90	20,00	44,00	12,59	19,37
26	01.10.2004	13:30	1,45	3,10	22,50	38,00	12,59	19,37
27	01.10.2004	14:30	1,27	2,20	19,70	44,00	12,28	18,64
28	01.10.2004	14:40	1,27	2,60	19,70	44,00	12,28	18,64

Çizelge 4. Nokta deneme yangınlarına ilişkin arazi ve laboratuvar ölçüm değerleri.

Nokta Yangını No	Tarih (G/A/Y)	Ölçüm Zamanı	Yanıcı Madde Miktarı (Kg/m ²)	Ortalama Rüzgar (Km/Saat)	Sıcaklık (°C)	Bağıl Nem (%)	İbre Nem (%)	Humus Nem (%)
1	22.09.2004	16:20	1,40	5,06	32,00	20,00	9,67	18,26
2	23.09.2004	15:50	1,58	1,48	20,60	48,00	13,97	19,95
3	24.09.2004	14:10	1,95	5,78	25,50	32,00	12,99	21,42
4	24.09.2004	14:35	2,23	7,30	27,60	33,00	12,89	18,62
5	24.09.2004	15:15	1,80	6,51	25,60	36,00	12,54	26,72
6	24.09.2004	16:35	2,10	7,37	26,00	32,00	11,00	20,73
7	27.09.2004	14:20	2,02	1,49	32,00	26,00	11,37	13,69
8	28.09.2004	12:10	1,99	1,47	30,00	33,00	10,57	18,43
9	28.09.2004	12:45	2,21	1,76	29,00	20,00	10,57	18,43
10	28.09.2004	13:18	1,89	1,47	32,00	17,00	10,27	19,32
11	28.09.2004	13:55	1,78	0,76	28,50	19,00	9,58	19,32
12	28.09.2004	15:00	2,38	1,95	27,50	22,00	9,80	19,85
13	28.09.2004	15:30	2,54	1,58	27,50	20,00	9,02	19,85
14	28.09.2004	16:05	2,67	1,33	28,00	20,00	10,06	18,85
15	28.09.2004	16:45	2,33	0,72	29,50	20,00	9,99	18,06
16	30.09.2004	14:25	1,94	3,54	27,00	30,00	10,41	18,27
17	30.09.2004	15:00	1,95	1,25	26,00	28,00	10,44	15,38
18	30.09.2004	15:50	2,26	3,03	27,00	30,00	11,15	16,15
19	30.09.2004	16:35	1,78	2,10	25,00	30,00	11,53	15,76
20	30.09.2004	17:30	1,79	1,05	24,00	40,00	12,24	16,67
21	01.10.2004	11:35	1,89	0,77	19,20	56,00	14,54	19,75
22	01.10.2004	11:50	1,56	2,47	19,30	61,00	14,54	19,75
23	01.10.2004	13:55	1,57	3,12	22,00	40,00	12,80	17,30
24	01.10.2004	15:10	1,77	1,10	22,00	43,00	12,28	18,64

2.2.3. 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.

Hat ve nokta deneme yangınlarında, farklı rüzgar hızlarında deneme yangınlarını gerçekleştirebilmek amacıyla; yüksek rüzgar hızları için meşçerenin açık araziye yakın olan sınır kısmında, orta rüzgar hızlarındaki yangınlar için meşçerenin orta kısımlarında ve düşük rüzgar hızlarındaki yangınlar içinde meşçerenin iç kısımlarında deneme yangınları 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 hazırlanmıştır. Yangının yayılma oranı değerlerinin belirlenmesi için parsellerin kenarlarına 25 cm aralıklarla çelik teller dikilmiştir. Yangının çelik tellere ulaşma zamanı elektronik kronometre tutularak hesaplanmıştır. Elde edilen bu değerler, yangın yayılma oranı hesaplamalarında kullanılmıştır. Arazide yapılan bütün hat ve nokta deneme yangınlarının görüntüleri kamera ile kaydedilmiştir (Şekil 10). Tutuşturmalar hat yangınlarında, rüzgar yönünde ve alev ibriği ile, nokta yangınlarında ise kibrit ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 11b ve 13a). Yangınlar sırasındaki meteorolojik ölçümleri yapabilmek için mobil meteoroloji istasyonu (Huger ve Kestrel 3000) kullanılmıştır. 7 nolu hat deneme yangınları resimleri (Şekil 12 a-b-c-d-e-f-g-h)'de görülmektedir. Yüksek rüzgar hızlarında elips şeklinde

gelişim gösteren 4 nolu nokta yangını görüntüleri (Şekil 13 a-b-c-d-e-f-g-h) ve düşük rüzgar hızlarında dairesel gelişim gösteren nokta deneme yangınları görüntüleri (Şekil 14 a-b-c-d-e-f-g-h)'de görülmektedir.

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



Şekil 10. Hat ve nokta yangınları sırasında yapılan ölçümler



Şekil 11. Hat deneme yangınlarının yapılacağı parsellerin hazırlanması



Şekil 12. 17 nolu hat deneme yangınına ait görüntüler (a-b-c-d-e-f-g-h)



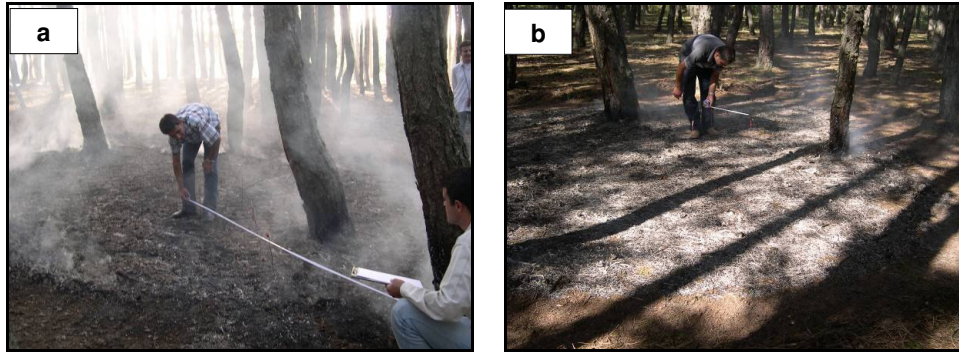
Şekil 13. Yüksek rüzgar hızlarında eliptik yangın gelişimi gösteren 4 nolu nokta yangının görüntüleri.(a-b-c-d-e-f-g-h)



Şekil 14. Düşük rüzgar hızlarında dairesel şekil alan 15 nolu nokta yangınına ait görüntüler (a-b-c-d-e-f-g-h)

2.2.4. 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 (Şekil 15 a-b). Hat yangınlarında ise daha önceden belirlenmiş mesafelerde yangının çelik tellere ulaşma zamanı gözlemlenerek zaman alma işlemi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 15. Yangın sonrası deneme alanlarında yapılan ölçümler (a-b)

2.2.5. Boy/En ve Yanan Alan Analizi

Anderson (1983) tarafından uzunluk-genişlik, Alexander (1985) tarafından boy-en (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 boy/en oranının belirlenmesi için yan yangınları mesafesi ile baş yangını ve geri yangını mesafeleri kullanılmıştır. Yanan alan ve çevresinin hesaplanması için Autocad 2000 programından faydalanılmıştır. Her nokta yangını için en, boy, ve genişlik verileri bilgisayar ortamında girilerek yaklaşık yanan alan ve çevre uzunluğu hesaplanmıştır.

2.2.6. İstatistik Yöntemler

Arazi ve laboratuarda yapılan çalışmaların sonucunda elde edilen veriler bilgisayarda istatistik yöntemlerle değerlendirilmiştir. Araştırma alanında yapılan hat ve nokta deneme yangınlarına ilişkin zaman alınarak belirlenen yayılma oranı değerleri ve hesaplanan yangın şiddeti ile belirlenen yanıcı madde tüketimi verilerinde korelasyon ve regresyon analizleri kullanılmıştır. Analizlerde yanıcı madde özellikleri ve meteorolojik parametreler bağımsız değişken, yangın davranış parametreleri (yayılma oranı, yangın şiddeti, yanıcı madde tüketimi) ise bağımlı değişken olarak kullanılmıştır. İstatistik işlemler SPSS 13.0 paket programı kullanılarak yapılmıştır. Bağımsız değişkenlere göre hat ve nokta deneme yangınları için regresyon analizleri sonucunda yayılma oranı, yanıcı madde tüketimi ve yangın şiddeti modelleri geliştirilmiştir. İstatistiksel sonuçlar $\alpha=0.05$ önem düzeyine göre değerlendirilmiştir.

3. BULGULAR

3.1. Hat Yangınlarına İlişkin Bulgular

Hat deneme yangınlarına ait yanıcı madde özellikleri ve yangın davranışına ilişkin değerler Çizelge 5'te verilmiştir. Araştırmada yürütülen 28 adet hat deneme yangını sırasında, ortalama sıcaklık 25,9 derece, ortalama bağıl nem %31,82, ortalama rüzgar hızı da 3,62 km/s olarak ölçülmüştür. Deneme parsellerinin yanıcı madde miktarları ise 1.27 ile 2,45 kg/m² arasında değişiklik göstermektedir.

Deneme yangınlarının yapıldığı yanıcı madde parsellerindeki yanıcı madde özelliklerinden ölü örtü miktarı, ölü örtü nem içeriği ve hava hallerinden rüzgar ve sıcaklık değerlerindeki değişimler yangın davranışında farklılıkların ortaya çıkmasına neden olmuştur. Yayılma oranı 0.12 ile 1.20 m/dk, yanıcı madde tüketimi 1,21 ile 2,25 kg/m² ve yangın şiddeti 47 ile 667 kW/m arasında değişmiştir. Bu farklılıklar özellikle rüzgar hızı ve yanıcı madde nem içeriğindeki değişikliklerden kaynaklanmıştır. Analizler sonucunda ortaya çıkan korelasyon matrisi Ek Çizelge 1'de ve anlamlı ilişkilerin çıktığı regresyon modelleri ise Çizelge 6'da verilmiştir.

Çizelge 5. Hat deneme yangınlarına ilişkin hava halleri ve yangın davranış verileri

Hat Yangını No	Sıcaklık (°C)	Bağıl Nem (%)	Rüzgar (Km/Saat)	Yayıma Oranı (m/dk)		Yanıcı Madde Tüketimi (kg/m ²)		Yangın Şiddeti (kW/m)	
				Ölçüm	Tahmin	Hesap	Tahmin	Hesap	Tahmin
1	30	22	1,48	0,47	0,43	1,37	1,47	194	182
2	30	20	5,90	1,13	1,00	1,75	1,72	593	521
3	32	19	3,80	0,60	0,74	1,81	1,73	326	400
4	32	19	4,70	0,50	0,88	1,50	1,54	225	409
5	30,5	19	6,60	1,20	1,02	1,65	1,62	594	499
6	21,4	46	2,90	0,23	0,37	1,83	1,82	126	264
7	21,4	45	1,40	0,32	0,20	1,81	1,82	174	188
8	20,7	48	1,30	0,13	0,17	1,33	1,28	52	31
9	20,4	50	0,11	0,18	0,03	1,59	1,60	86	45
10	21,2	49	0,90	0,12	0,14	1,31	1,32	47	24
11	21,3	48	1,20	0,13	0,18	1,31	1,32	51	39
12	27	30	7,20	1,05	1,00	1,95	1,92	615	561
13	25	33	6,00	0,87	0,81	1,83	1,86	478	460
14	26	30	7,10	0,91	0,96	1,70	1,73	464	477
15	26	30	4,80	0,84	0,80	1,69	1,65	427	372
16	27	32	4,70	0,78	0,71	1,65	1,69	386	386
17	26	31	4,60	0,75	0,68	1,77	1,77	398	396
18	26,5	31	5,10	0,99	0,75	2,25	2,29	667	567
19	26	31	7,20	0,89	0,97	2,25	2,26	600	663
20	27	22	3,70	0,55	0,60	1,40	1,42	232	255
21	27	21	1,50	0,31	0,35	1,49	1,51	139	166
22	30,5	18	1,10	0,38	0,40	1,47	1,50	168	171
23	32	16	1,10	0,56	0,43	1,62	1,56	273	202
24	32	15	1,20	0,43	0,44	1,71	1,61	221	224
25	20	44	5,90	0,58	0,67	1,34	1,33	233	272
26	22,5	38	3,10	0,19	0,42	1,39	1,40	79	170
27	19,7	44	2,20	0,50	0,34	1,21	1,22	182	86
28	19,7	44	2,60	0,19	0,30	1,21	1,22	69	70

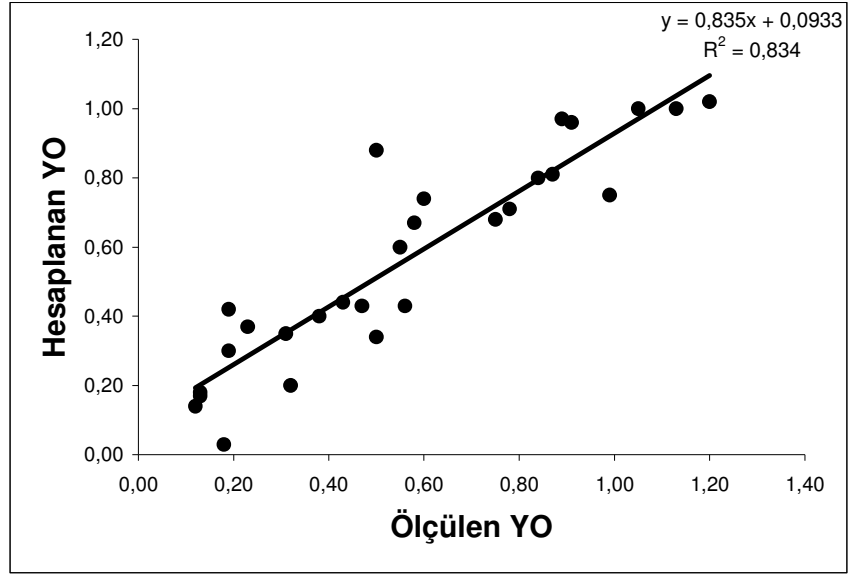
Çizelge 6. Regresyon analizleri sonucunda geliştirilen yangın davranışıyla ilgili modeller ve bu modellere ait belirtme katsayısı (R^2) ve standart hata (S.H.) değerleri

No	Modeller (md.)	R^2	S.H.
1a	YO=0,117+0,123xruzgar	72,9	±0,1746
1b	YO=0,113xruzgar+0,025xsıcaklık-0,496	83,4	±0,1394
2a	YMT=0,0243+0,627xymm	95,9	±0,0568
2b	YMT=0,097+0,600xymm+0,010xhumusnem	97,0	±0,0493
2c	YMT=0,028+0,637xymm+ 0,012xhumusnem-0,013xruzgar	97,8	±0,0431
3a	YŞ=26,585+72,610xruzgar	69,8	±110,755
3b	YŞ=48,951xruzgar+217,745xymm-364,225	72,3	±66,2784
3c	YŞ=-48,029xruzgar+189,181xymm+9,472xsıcaklık-543,683	88,5	±71,133

3.1.1. Yayılma Oranı

Yapılan korelasyon analizi sonucunda, yayılma oranının rüzgar hızıyla yakından ilişkili ($r=0.854$; $P<0.01$) olduğu belirlenmiştir. Çizelge 5'deki regresyon modelleri incelendiğinde, rüzgar hızının tek başına yayılma oranında gözlenen değişkenliğin % 72,9'unu ($R^2=0.72,9$; $P<0.01$) açıkladığı (model 1a) görülmektedir. Ek Çizelge 1'deki korelasyon matrisinde de görüldüğü üzere sıcaklık ile bağıl nem ve ibre nem değerleri arasında kuvvetli bir ters ilişki söz konusudur. Sıcaklık arttıkça bağıl nem ve ibre nem düşmekte, dolayısıyla da yayılma oranı artmaktadır. Regresyon analizine, sıcaklık ikinci değişken olarak alındığında (model 1b) yayılma oranının açıklanmamış değişkenliğinin önemli bir kısmını daha açıklamaktadır ($R^2=0.834$; $P<0.01$).

Hat deneme yangınlarında en yüksek yayılma oranı ibre nem ve humus nem değerlerinin en düşük olduğu 5 nolu hat yangınında gerçekleşmiştir. 5 nolu hat deneme yangınında ortalama rüzgar değeri 6,6 km/saat ile ikinci en yüksek rüzgar değeridir. Ölçülen en düşük yayılma oranı değeri ise rüzgar ve sıcaklık değerlerinin düşük ibre ve humus nem değerlerinin yüksek olduğu 10 nolu hat deneme yangınında gerçekleşmiştir. Yayılma oranının ölçülen değerleriyle rüzgar ve sıcaklık miktarına bağlı olarak tahmin edilen değerleri arasındaki ilişki Şekil 16'da gösterilmektedir.

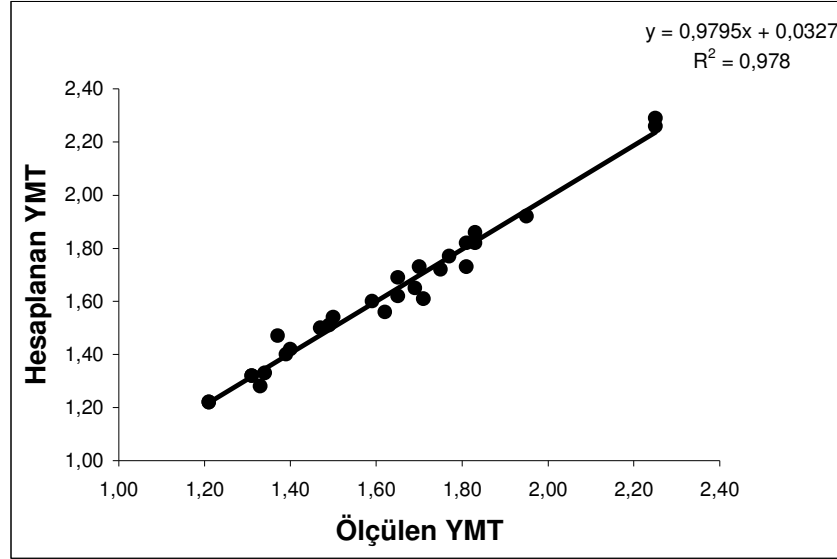


Şekil 16. Yayılma oranının (YO) hesaplanan değerleriyle rüzgar ve sıcaklığa bağlı olarak tahmin edilen değerleri arasındaki ilişki

3.1.2. Yanıcı Madde Tüketimi

Ölü yanıcı maddelerin nem içeriği (nem ölü) ile ölü yanıcı madde miktarı, yanıcı madde tüketimi ile yakından ilişkilidir. Ancak, tek başına toplam yanıcı madde miktarı, yanıcı madde tüketiminde gözlenen değişkenliğin %95,9 gibi çok büyük bir kısmını açıklamaktadır (md. 2a; $P < 0.01$). Toplam yanıcı madde miktarının yanında humus nem ikinci bağımsız değişken olarak regresyona ilave edildiğinde (md. 2b) yanıcı madde tüketimi tahmininde önemli bir değişiklik olmamaktadır ($R^2 = 0.961$; $P < 0.01$). Yanıcı madde tüketimi tahmininde yanıcı madde miktarı ve humus neminin yanında rüzgar değişkeni de dahil edildiğinde yanıcı madde tüketiminin %97,8 gibi büyük bir kısmı açıklanmış olmaktadır ($R^2 = 0.978$; $P < 0.01$). Hat deneme yangınları sırasında parsellerdeki yanıcı maddenin yaklaşık %74 'lük kısmı yanmıştır. Yanıcı madde tüketimi en fazla 17 numaralı hat yangınında

gerçekleşmiştir. Yanıcı madde tüketiminin hesaplanan ve tahmin edilen değerleri Şekil 17’de gösterilmektedir.

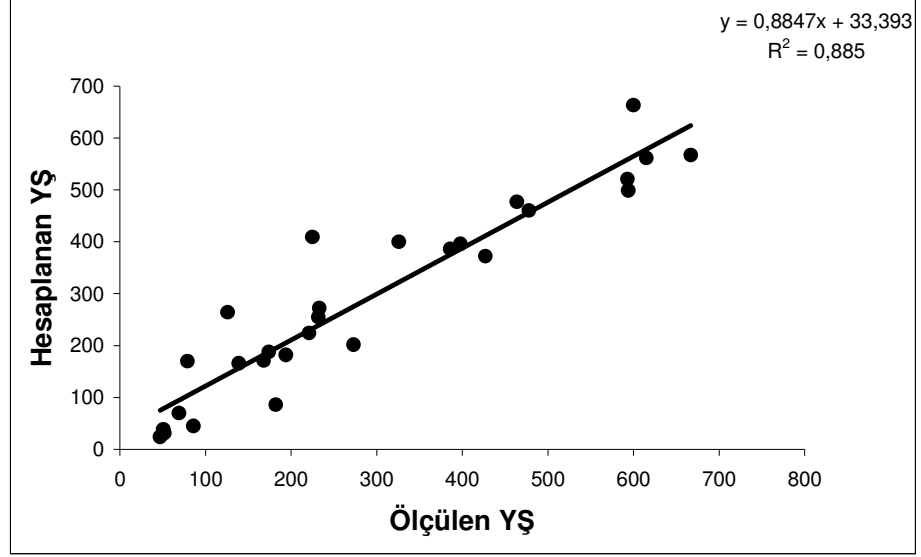


Şekil 17. Yanıcı madde tüketiminin (YMT) hesaplanan değerleriyle yanıcı madde miktarı, humus nemi ve rüzgara bağlı olarak tahmin edilen değerleri arasındaki ilişki

3.1.3. Yangın Şiddeti

Yangın şiddeti, rüzgar ($r=0.83,6$; $P<0.01$), yanıcı madde miktarı ($r=0,797$; $P<0.01$) sıcaklık ($r=0.465$; $P<0.01$) bağıl nem ($r=-0.453$; $P<0.01$) ve humus nem ile ($r=0.393$; $P<0.01$) yakından ilişkilidir (Ek Çizelge 1). Hat deneme yangınlarında en yüksek yangın şiddeti 18 nolu hat deneme yangınında gerçekleşmiştir. Çizelge 5’deki regresyon modellerinde rüzgar tek başına (md. 3a) yangın şiddetinde gözlenen değişkenliğin % 69,8’ini açıklarken ($R^2=0.698$; $P<0.01$), yanıcı madde miktarı, rüzgar hızının yanında regresyona ikinci değişken olarak girdiğinde (md. 3b) yangın şiddeti tahminini artırmaktadır ($R^2=0.723$; $P<0.01$). Rüzgar ve yanıcı madde miktarının yanında sıcaklık da regresyona dahil edildiğinde (md. 3c) en iyi sonuç

elde edilmiştir ($R^2=0.885$; $P<0.01$). Yangın şiddetinin gözlenen ve tahmin edilen değerleri Şekil 18’de gösterilmektedir.



Şekil 18. Yangın şiddetinin (YŞ) hesaplanan değerleriyle rüzgar, yanıcı madde miktarı ve sıcaklığa bağlı olarak tahmin edilen değerleri arasındaki ilişki

3.2. Nokta Yangınları-Bölümlemeye İlişkin Bulgular

Arazide gerçekleştirilen 24 adet nokta deneme yangınlarının gelişimini ayrıntılı olarak ortaya koyabilmek, deneme yangınları sırasında sabit olmayan rüzgarın etkisini ortadan kaldırmak ve en son aşamadaki sabit yayılma oranı değerine ulaşana kadar ki hızlanma oranlarını sağlıklı ve ayrıntılı bir şekilde ortaya koyabilmek için nokta yangınları 3 bölüme ayrılmıştır. Aynı zamanda hat yangınlarında kullandığımız ortalama yangın davranışı değerlerinin nokta yangınlarında kullanımı; tutuşma, gelişme ve sabit yayılma aşaması gibi üç farklı özelliğe sahip olan nokta kaynaklı gelişen yangınların incelenmesi için sağlıklı olmamaktadır. Her bölüm ayrı birer yangın olarak değerlendirilmiştir. Her bir

bölümde sadece rüzgar değişkenine bağlı olarak geliştirilen nokta yangınları YO modelleri kullanılarak üç farklı rüzgar (0, 4 ve 8 km/s) değerine göre YO hesaplatılmıştır. Böylece nokta deneme yangınlarının başlangıcından bitimine kadar olan süre içerisindeki rüzgar hızındaki değişimlerin etkisi bertaraf edilmeye çalışılmıştır.

3.2.1. Birinci Bölüm-Başlangıç Aşaması

Nokta deneme yangınlarının birinci bölüm-başlangıç aşamasına ilişkin yapılan korelasyon analizi sonucunda rüzgar, ibre nem ve bağıl nemin başlangıç aşamasındaki örtü yangınlarında belirleyici etmenler olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 7). Yüksek ibre nem, bağıl nem ve humus nem değerleri, düşük rüzgar hızı ve en düşük sıcaklık değerinde gerçekleştirilen 21 nolu nokta yangınımız 11. dakika sonunda kendiliğinden sönmüştür. En yüksek yayılma oranı değeri ise; düşük ibre nem, bağıl nem ve humus nem değerlerinde büyük oranda rüzgar etmeninin etkisi altında 6 nolu nokta yangınında ölçülmüştür. Nokta deneme yangınları, bölümleme-başlangıç aşamasına ilişkin hava halleri ve yangın davranış verileri Çizelge 8’de ve anlamlı ilişkilerin çıktığı regresyon modelleri ise Çizelge 9’da verilmiştir.

Çizelge 7. Bölümleme-başlangıç aşaması için hava halleri, yanıcı madde özellikleri ve yangın davranışı arasındaki ilişkileri gösteren korelasyon matrisi

Değişken	S	BN	İN	HN	YMM	R	YO	YMT	YŞ
S	1								
BN	-0,884**	1							
İN	-0,794**	0,910**	1						
HN	0,249	-0,291	-0,220	1					
YMM	0,489*	-0,605**	-0,587**	-0,167	1				
R	0,034	-0,030	0,059	-0,074	0,032	1			
YO	0,206	-0,190	-0,219	0,003	0,169	0,870**	1		
YMT	0,348	-0,527**	-0,482*	-0,114	0,957**	0,079	0,129	1	
YŞ	0,234	-0,252	-0,274	-0,026	0,339	0,847**	0,980**	0,312	1

*S, sıcaklık (°C); BN, bağıl nem (%); İN, ibre nem (%); HN, humus nem(%); YMM, yanıcı madde miktarı (kg/m²); R, rüzgar (km/s); YO, yayılma oranı (m/dk); YMT, yanıcı madde tüketimi (kg/m²); YŞ, yangın şiddeti (kW/m)

* % 5 güven düzeyinde önemli

**%1 güven düzeyinde önemli

Başlangıç aşamasındaki yangınlar için ortalama yayılma oranı değeri 0,21 m/dak, ortalama yanıcı madde tüketimi 1,54 kg/m², ortalama yangın şiddetide 101,21 kW/m olarak hesaplanmıştır. Birinci aşama için geliştirilen yayılma oranı modellerinde rüzgar değişkeni tek başına yayılma oranındaki değişkenliğin %75,6'sını açıklarken (md. 1a; P<0.01), modele ibre nem ve bağıl nem değişkenleri de ilave edildiğinde yayılma oranının açıklanmamış değişkenliğinin önemli bir kısmının açıklandığı görülmektedir (md. 1c; R²=0.872; P<0.01).

Çizelge 8. Nokta deneme yangınları, Bölümleme-Başlangıç Aşamasına ilişkin hava halleri ve yangın davranış verileri

Nokta Yangını No	Sıcaklık (°C)	Bağıl Nem (%)	İbre nem (%)	Humus nem (%)	YMM (kg/ m ²)	Rüzgar (km/s)	Yayılma Oranı (m/dk)		Yanıcı Madde Tüketimi (kg/m ²)		Yangın Şiddeti (kW/m)	
							Ölçüm	Tahmin	Hesap	Tahmin	Hesap	Tahmin
1	32	20	9,67	18,26	1,84	3,83	0,37	0,34	1,35	1,35	236	185
2	20,6	48	13,97	19,95	1,58	1,10	0,08	0,04	1,22	1,24	34	-11
3	25,5	32	12,99	21,42	1,95	3,73	0,16	0,17	1,60	1,52	98	166
4	27,6	33	12,89	18,62	2,23	5,88	0,29	0,32	1,84	1,75	213	296
5	25,6	36	12,54	26,72	1,80	8,43	0,47	0,52	1,46	1,38	250	315
6	26	32	11,00	20,73	2,10	9,56	0,78	0,68	1,58	1,65	555	432
7	32	26	11,37	13,69	2,02	0,77	0,08	0,06	1,44	1,51	52	74
8	30	33	10,57	18,43	1,99	1,40	0,22	0,21	1,41	1,51	153	112
9	29	20	10,57	18,43	2,21	1,84	0,13	0,15	1,66	1,72	96	172
10	32	17	10,27	50,64	1,89	1,52	0,14	0,13	1,48	1,39	90	85
11	28,5	19	9,58	50,64	1,78	0,50	0,19	0,13	1,37	1,33	111	33
12	27,5	22	9,80	19,85	2,38	2,41	0,20	0,25	1,96	1,89	161	192
13	27,5	20	9,02	19,85	2,54	2,32	0,25	0,29	2,03	2,04	193	187
14	28	20	10,06	18,85	2,67	1,56	0,16	0,17	2,21	2,15	121	141
15	29,5	20	9,99	18,06	2,33	0,22	0,14	0,09	1,74	1,82	97	99
16	27	30	10,41	18,27	1,94	3,17	0,20	0,31	1,54	1,49	129	158
17	26	28	10,44	15,38	1,95	1,29	0,09	0,18	1,49	1,51	54	66
18	27	30	11,15	16,15	2,26	3,26	0,38	0,26	1,74	1,79	308	228
19	25	30	11,53	15,76	1,78	3,90	0,29	0,27	1,38	1,37	187	180
20	24	40	12,24	16,67	1,79	1,75	0,19	0,16	1,26	1,39	124	111
21	19,2	56	14,54	19,75	1,89	0,77	0,04	0,03	1,51	1,54	22	56
22	19,3	61	14,54	19,75	1,56	0,91	0,10	0,08	1,17	1,23	57	43
23	22	40	12,80	17,30	1,57	3,55	0,11	0,23	1,26	1,21	58	111
24	22	43	12,28	18,64	1,77	0,32	0,09	0,08	1,48	1,39	47	17

Nem içeriği düşük yanıcı maddeler yayılma oranı, yangın şiddeti ve yanıcı madde tüketimini artırmaktadır (Sağlam, 2002). Yanıcı madde miktarının yanında

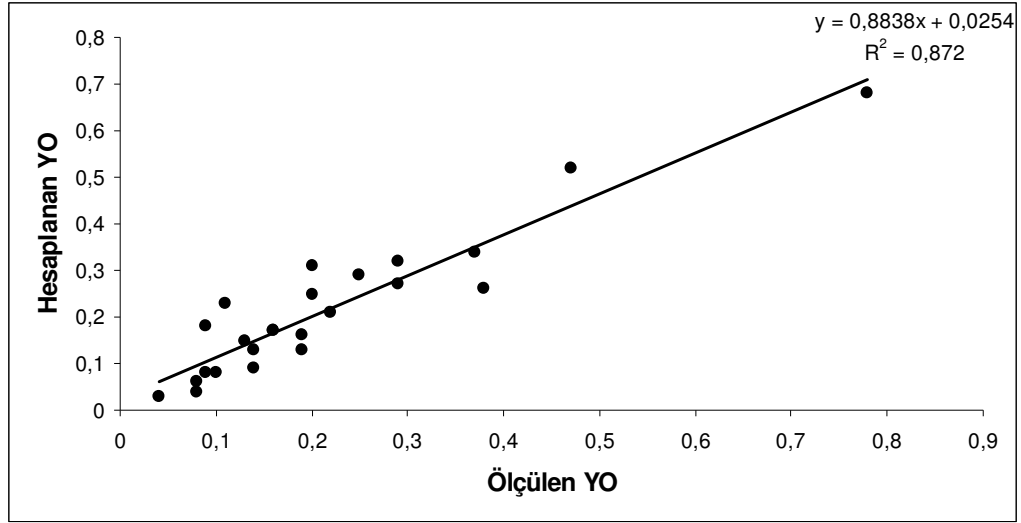
sıcaklık değişkeninde dahil edildiği modelimiz en iyi sonucu vermektedir (md. 2b; $R^2=0.934$; $P<0.01$). Yayılma oranının ölçülen değerleriyle rüzgar, ibre nem, ve bağıl nem miktarına bağlı olarak tahmin edilen değerleri arasındaki ilişki Şekil 19’da gösterilmektedir.

Yanıcı madde tüketimi modelinde YMM değişkenliğin %91,5 gibi oldukça yüksek bir kısmını açıklamakta ve sıcaklık değişkeni de ilave edildiğinde en iyi sonucu vermektedir (md. 2a; $R^2=0.915$; $P<0.01$ ve md. 2b; $R^2=0.934$; $P<0.01$). YMT’nin ölçülen değerleriyle YMM ve sıcaklık miktarına bağlı olarak tahmin edilen değerleri arasındaki ilişki Şekil 20’de gösterilmektedir.

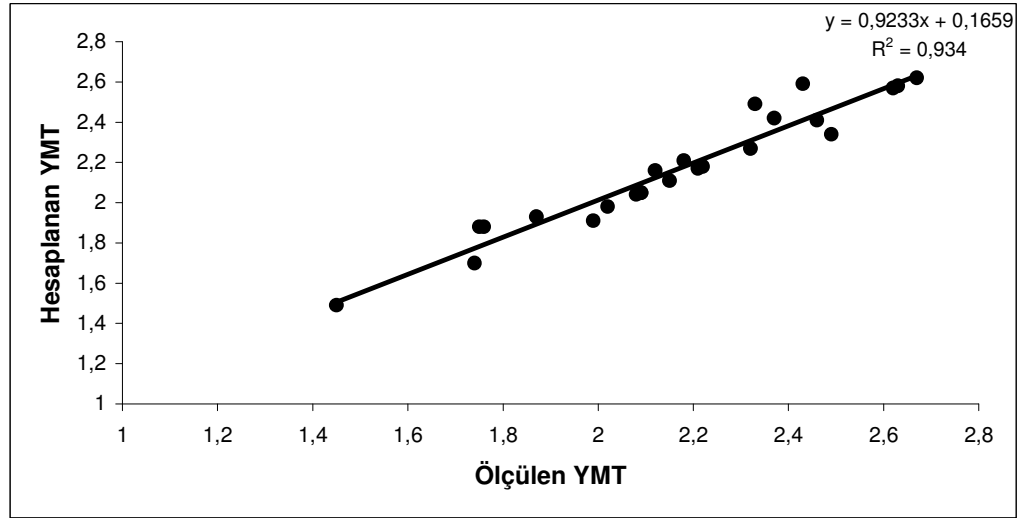
Yangın şiddeti için geliştirdiğimiz modelde rüzgar ve ibre nem değişkenlerinin yer aldığı modelimiz YŞ tahmininde en iyi sonucu vermiştir (md. 3b; $R^2=0.822$; $P<0.01$). Yangın şiddetinin ölçülen değerleriyle rüzgar ve ibre nem miktarına bağlı olarak tahmin edilen değerleri arasındaki ilişki Şekil 21’de gösterilmektedir.

Çizelge 9. Birinci Bölüm-Başlangıç Aşamasına ilişkin yangın davranışıyla ilgili modeller ve bu modellere ait belirtme katsayısı (R^2) ve standart hata (S.H.) değerleri

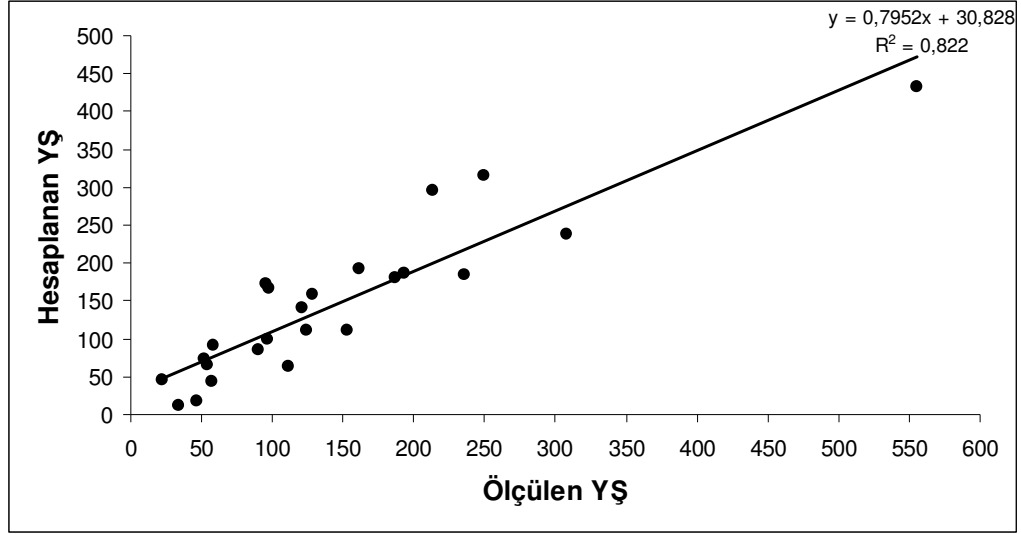
No	Bölüm 1 Modeller (md.)	R^2	S.H.
1a	$YO=0,058+0,058 \times \text{rüzgar}$	0,756	$\pm 0,0816$
1b	$YO=0,369+0,06 \times \text{rüzgar}-0,027 \times \text{ibrenem}$	0,830	$\pm 0,0698$
1c	$YO=0,677+0,062 \times \text{rüzgar}-0,074 \times \text{ibrenem}+0,007 \times \text{bağılnem}$	0,872	$\pm 0,0621$
2a	$YMT=0,848 \times \text{ymm}-0,141$	0,915	$\pm 0,0780$
2b	$YMT=0,016+0,917 \times \text{ymm}-0,011 \times \text{sıcaklık}$	0,934	$\pm 0,0703$
3a	$YŞ=27,867+27,507 \times \text{rüzgar}$	0,717	$\pm 42,5400$
3b	$YŞ=207,634+28,130 \times \text{rüzgar}-15,879 \times \text{ibrenem}$	0,822	$\pm 34,5120$



Şekil 19. Başlangıç aşaması için yayılma oranının (YO) hesaplanan değerleriyle rüzgar, ibre nem ve bağıl neme bağlı olarak tahmin edilen değerleri arasındaki ilişki



Şekil 20. Başlangıç aşaması için yanıcı madde tüketiminin (YMT) hesaplanan değerleriyle yanıcı madde miktarı ve sıcaklığa bağlı olarak tahmin edilen değerleri arasındaki ilişki



Şekil 21. Başlangıç aşaması için yangın şiddetinin hesaplanan değerleriyle rüzgar ve ibre nemine bağlı olarak tahmin edilen değerleri arasındaki ilişki

3.2.2. İkinci Bölüm-Gelişme Aşaması

Gelişme aşamasında yangın davranışına etkili olan etmenler rüzgar, sıcaklık, yanıcı madde miktarı ve humus nem olarak belirlenmiştir. Gelişme aşamasındaki yangınlar için ortalama yayılma oranı değeri 0,26 m/dak, ortalama yanıcı madde tüketimi $1,55 \text{ kg/m}^2$, ortalama yangın şiddetide $131,85 \text{ kW/m}$ olarak hesaplanmıştır. Yapılan korelasyon analizi sonucunda (Çizelge 10), yayılma oranının rüzgar hızıyla yakından ilişkili ($r=0.796$; $P<0.01$) olduğu belirlenmiştir.

Nokta deneme yangınları, bölümlenme-gelişme aşamasına ilişkin hava halleri ve yangın davranış verileri Çizelge 11’de görülmektedir. Çizelge 12’deki regresyon modelleri incelendiğinde, rüzgar hızının tek başına yayılma oranında gözlenen değişkenliğin %79,6’sını ($R^2=0.796$; $P<0.01$) açıkladığı (md. 1a) görülmektedir. Regresyon analizine sıcaklık, rüzgar hızının yanında ikinci değişken olarak ilave edildiğinde (md. 1b) yayılma oranının açıklanmamış değişkenliğinin önemli bir

kısmını daha açıklamaktadır ($R^2=0.859$; $P<0.01$). Gelişme aşaması için yayılma oranının hesaplanan değerleriyle rüzgar ve sıcaklığa bağlı olarak tahmin edilen değerleri arasındaki ilişkiyi gösteren grafik Şekil 22'deki gibidir.

Gelişme aşaması için geliştirilen yanıcı madde tüketimi modellerinde en iyi sonucu YMM, sıcaklık ve humus nem değişkenlerinin yer aldığı 3 nolu model vermiştir (md. 2c; $R^2=0.955$; $P<0.01$). Gelişme aşaması için yanıcı madde tüketiminin hesaplanan değerleriyle yanıcı madde miktarı, sıcaklık ve humus neme bağlı olarak tahmin edilen değerleri arasındaki ilişki Şekil 23'deki gibidir.

Yangın şiddeti için geliştirdiğimiz modellerde rüzgar ve YMM'nın yer aldığı modelimiz YŞ tahmininde en iyi sonucu vermiştir (md. 3b; $R^2=0.658$; $P<0.01$). Gelişme aşaması için yayılma oranının hesaplanan değerleriyle rüzgar ve yanıcı madde miktarına bağlı olarak tahmin edilen değerleri arasındaki ilişkiyi gösteren grafik Şekil 24'de görülmektedir.

Çizelge 10. Bölümlenme-gelişme aşaması için hava halleri, yanıcı madde özellikleri ve yangın davranışı arasındaki ilişkileri gösteren korelasyon matrisi

Değişken	S	BN	İN	HN	YMM	R	YO	YMT	YŞ
S	1								
BN	-0,830**	1							
İN	-0,728**	0,878**	1						
HN	-0,153	0,083	0,165	1					
YMM	0,432	-0,633**	-0,639**	-0,025	1				
R	-0,098	0,253	0,343	0,515*	-0,235	1			
YO	0,161	0,028	0,105	0,372	-0,053	0,892**	1		
YMT	0,265	-0,554*	-0,545*	0,128	0,955**	-0,164	-0,072	1	
YŞ	0,143	-0,069	0,079	0,418	0,129	0,748**	0,830**	0,166	1

*S, sıcaklık (°C); BN, bağıl nem (%); İN, ibre nem (%); HN, humus nem(%); YMM, yanıcı madde miktarı (kg/m²); R, rüzgar (km/s); YO, yayılma oranı (m/dk); YMT, yanıcı madde tüketimi (kg/m²); YŞ, yangın şiddeti (kW/m)

* % 5 güven düzeyinde önemli

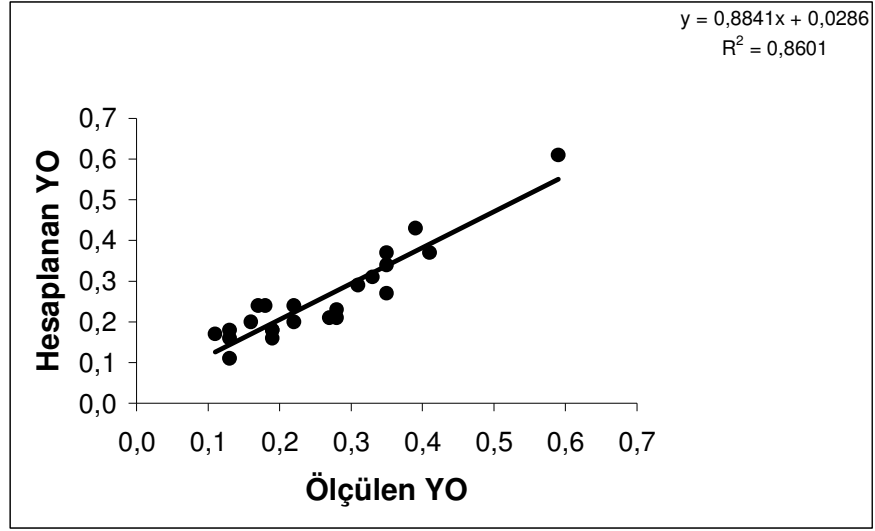
**%1 güven düzeyinde önemli

Çizelge 11. Nokta deneme yangınları, Bölümleme-Gelişme Aşamasına ilişkin hava halleri ve yangın davranış verileri

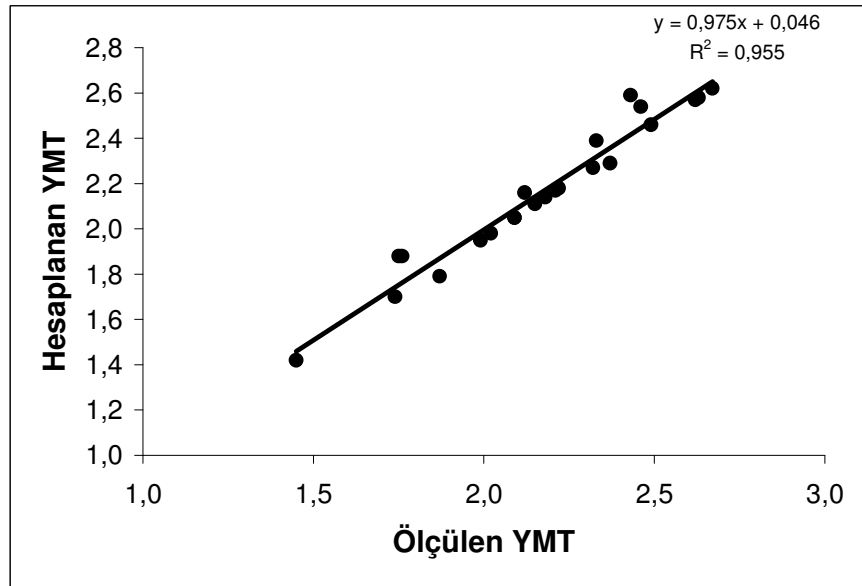
Nokta Yangını No	Sıcaklık (°C)	Bağıl Nem (%)	İbre nem (%)	Humus nem (%)	YMM (kg/ m ²)	Rüzgar (km/s)	Yayıma Oranı (m/dk)		Yanıcı Madde Tüketimi (kg/m ²)		Yangın Şiddeti (kW/m)	
							Ölçüm	Tahmin	Hesap	Tahmin	Hesap	Tahmin
1	32	20	9,67	18,26	1,84	4,16	0,39	0,43	2,12	2,16	248	274
2	20,6	48	13,97	19,95	1,58	2,30	0,22	0,20	1,45	1,42	96	99
3	25,5	32	12,99	21,42	1,95	3,73	0,35	0,34	2,09	2,05	429	229
4	27,6	33	12,89	18,62	2,23	5,65	0,19	0,18	2,46	2,54	140	152
5	25,6	36	12,54	26,72	1,80	7,79	0,59	0,61	1,76	1,88	313	388
6	26	32	11,00	20,73	2,10	8,65	0,31	0,29	2,37	2,21	220	232
7	32	26	11,37	13,69	2,02	3,21	0,41	0,37	2,21	2,17	275	220
8	30	33	10,57	18,43	1,99	0,71	0,19	0,18	2,32	2,27	132	113
9	29	20	10,57	18,43	2,21	1,59	0,28	0,23	2,43	2,59	204	198
10	32	17	10,27	50,64	1,89	1,25	0,18	0,24	2,09	2,05	114	120
11	28,5	19	9,58	50,64	1,78	0,55	0,19	0,16	1,99	1,95	112	77
12	27,5	22	9,80	19,85	2,38	1,96	0,22	0,24	2,63	2,58	177	213
13	27,5	20	9,02	19,85	2,54	2,40	0,35	0,27	2,62	2,57	278	231
14	28	20	10,06	18,85	2,67	0,88	0,13	0,18	2,49	2,44	100	149
15	29,5	20	9,99	18,06	2,33	0,65	0,11	0,17	2,33	2,39	80	145
16	27	30	10,41	18,27	1,94	4,00	0,35	0,37	2,18	2,14	231	251
17	26	28	10,44	15,38	1,95	1,68	0,28	0,21	2,02	1,98	167	101
18	27	30	11,15	16,15	2,26	3,06	0,33	0,31	2,67	2,62	266	264
19	25	30	11,53	15,76	1,78	1,65	0,16	0,20	2,15	2,11	103	144
20	24	40	12,24	16,67	1,79	2,00	0,27	0,21	2,22	2,18	180	130
22	19,3	61	14,54	19,75	1,56	3,75	0,13	0,11	1,87	1,79	72	61
23	22	40	12,80	17,30	1,57	2,67	0,17	0,24	1,74	1,70	88	142
24	22	43	12,28	18,64	1,77	1,41	0,13	0,16	1,75	1,88	66	107

Çizelge 12. Gelişme Aşamasına ilişkin yapılan regresyon analizleri sonucunda geliştirilen yangın davranışıyla ilgili modeller ve bu modellere ait belirtme katsayısı (R²) ve standart hata (S.H.) değerleri

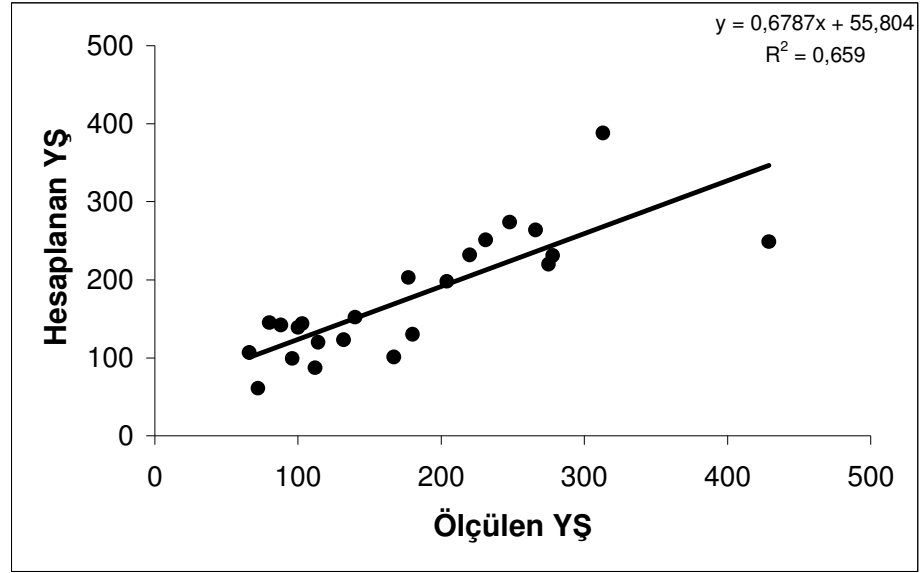
No	Bölüm 2 Modeller (md.)	R ²	S.H.
1a	YO=0,114+0,064xrüzgar	0,796	±0,0558
1b	YO=0,066xrüzgar+0,009xsıcaklık-0,138	0,859	±0,0478
2a	YMT=0,840xymm-0,127	0,911	±0,0815
2b	YMT=0,016+0,917xymm-0,011xsıcaklık	0,934	±0,0703
2c	YMT=0,903xymm-0,013xsıcaklık+0,013xhumusnem-0,148	0,955	±0,0619
3a	YŞ=52,190+33,435xrüzgar	0,560	±51,1860
3b	YŞ=36,826xrüzgar+79,933xymm-115,916	0,658	±46,4090



Şekil 22. Gelişme aşaması için yayılma oranının (YO) hesaplanan değerleriyle rüzgar ve sıcaklığa bağlı olarak tahmin edilen değerleri arasındaki ilişki



Şekil 23. Gelişme aşaması için yanıcı madde tüketiminin (YMT) hesaplanan değerleriyle yanıcı madde miktarı, sıcaklık ve humus nemine bağlı olarak tahmin edilen değerleri arasındaki ilişki



Şekil 24. Gelişme aşaması için yangın şiddetinin hesaplanan değerleriyle rüzgar ve yanıcı madde miktarına bağlı olarak tahmin edilen değerleri arasındaki ilişki

3.2.3. Üçüncü Bölüm-Sabit Yayılma Aşaması

Sabit yayılma aşamasında yangın davranışına etkili olan etmenler rüzgar, sıcaklık, yanıcı madde miktarı olarak belirlenmiştir. Sabit yayılma aşamasındaki yangınlar için ortalama rüzgar hızı 2,82 m/dak, ortalama yanıcı madde miktarı 2,03 kg/m² dir.

Nokta deneme yangınlarının üçüncü bölüm-sabit yayılma aşamasına ilişkin yapılan analizler sonucunda rüzgar, yanıcı madde miktarı ve sıcaklık değişkenlerinin sabit yayılma aşamasındaki örtü yangınlarında belirleyici etmenler olduğu tespit edilmiştir. Üçüncü bölüm-sabit yayılma aşamasına ilişkin hava halleri, yanıcı madde özellikleri ve yangın davranışı arasındaki ilişkileri gösteren korelasyon matrisi Çizelge 13’de, hava halleri ve yangın davranış verileri Çizelge 14’de ve geliştirilen YO, YMT ve YŞ regresyon modelleri de Çizelge 15’de görüldüğü gibidir.

Sabit yayılma aşamasındaki yangınlarımız için ortalama yayılma oranı değeri 0,37 m/dak, ortalama yanıcı madde tüketimi 1,58 kg/m², ortalama yangın şiddetide 182 kW/m olarak hesaplanmıştır. Sabit yayılma aşaması için geliştirilen yayılma oranı modellerinde rüzgar değişkeni tek başına yayılma oranındaki değişkenliğin %78,8'ini açıklamaktadır (md. 1a; P<0.01). Sabit yayılma aşaması için YO'nun hesaplanan değerleriyle rüzgara bağlı olarak tahmin edilen değerleri arasındaki ilişkiyi gösteren grafik Şekil 25'de görülmektedir.

Çizelge 13. Sabit yayılma aşaması için hava halleri, yanıcı madde özellikleri ve yangın davranışı arasındaki ilişkileri gösteren korelasyon matrisi

Değişken	S	BN	İN	HN	YMM	R	YO	YMT	YŞ
S	1								
BN	-0,827**	1							
İN	-0,681**	0,862**	1						
HN	-0,206	0,105	0,175	1					
YMM	0,411	-0,602**	-0,553**	-0,059	1				
R	0,032	0,120	0,334	0,473*	-0,043	1			
YO	0,157	0,046	0,209	0,326	-0,014	0,888**	1		
YMT	0,248	-0,512*	-0,436*	0,090	0,952**	0,044	-0,018	1	
YŞ	0,111	0,062	0,242	0,337	0,073	0,902**	0,983**	0,089	1

*S, sıcaklık (°C); BN, bağıl nem (%); İN, ibre nem (%); HN, humus nem(%); YMM, yanıcı madde miktarı (kg/m²); R, rüzgar (km/s); YO, yayılma oranı (m/dk); YMT, yanıcı madde tüketimi (kg/m²); YŞ, yangın şiddeti (kW/m)

* % 5 güven düzeyinde önemli

**%1 güven düzeyinde önemli

Çizelge 14. Nokta deneme yangınları, Bölümleme-Sabit Yayılma Aşamasına ilişkin hava halleri ve yangın davranış verileri

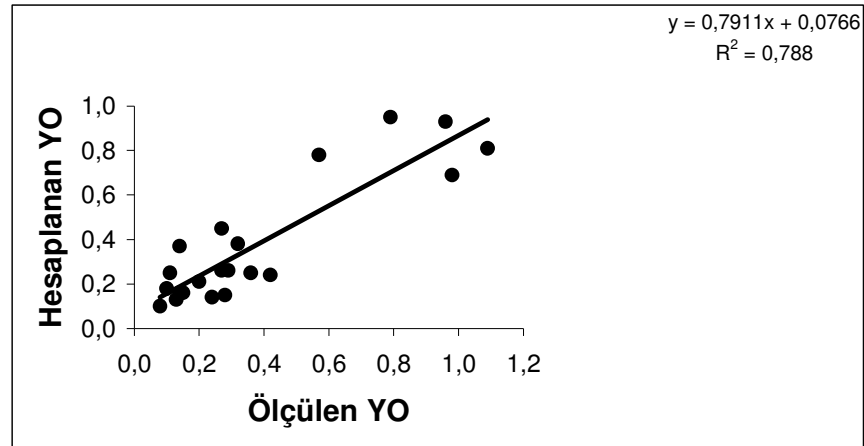
Nokta Yangını No	Sıcaklık (°C)	Bağıl Nem (%)	İbre nem (%)	Humus nem (%)	YMM (kg/ m ²)	Rüzgar (km/s)	Yayılma Oranı(m/dk)		Yanıcı Madde Tüketimi (kg/m ²)		Yangın Şiddeti (kW/m)	
							Ölçüm	Tahmin	Hesap	Tahmin	Hesap	Tahmin
1	32	20	9,67	18,26	1,84	5,51	0,98	0,69	2,12	2,16	623	461
2	20,6	48	13,97	19,95	1,58	0,93	0,28	0,15	1,45	1,42	123	103
3	25,5	32	12,99	21,42	1,95	7,56	0,96	0,93	2,09	2,05	603	622
4	27,6	33	12,89	18,62	2,23	7,77	0,79	0,95	2,46	2,54	583	638
5	25,6	36	12,54	26,72	1,80	6,26	0,57	0,78	1,76	1,88	300	520
6	26	32	11,00	20,73	2,10	6,58	1,09	0,81	2,37	2,21	775	545
7	32	26	11,37	13,69	2,02	1,68	0,42	0,24	2,21	2,17	279	162
8	30	33	10,57	18,43	1,99	1,79	0,36	0,25	2,32	2,27	250	170
9	29	20	10,57	18,43	2,21	1,87	0,29	0,26	2,43	2,59	211	176
10	32	17	10,27	50,64	1,89	1,77	0,11	0,25	2,09	2,05	69	169
11	28,5	19	9,58	50,64	1,78	0,99	0,15	0,16	1,99	1,95	88	108
12	27,5	22	9,80	19,85	2,38	1,82	0,27	0,26	2,63	2,58	213	173
13	27,5	20	9,02	19,85	2,54	1,15	0,10	0,18	2,62	2,57	76	120
14	28	20	10,06	18,85	2,67	1,41	0,20	0,21	2,49	2,44	149	140
15	29,5	20	9,99	18,06	2,33	0,85	0,24	0,14	2,33	2,39	168	97
16	27	30	10,41	18,27	1,94	3,50	0,27	0,45	2,18	2,14	235	304
17	26	28	10,44	15,38	1,95	0,76	0,13	0,13	2,02	1,98	80	90
18	27	30	11,15	16,15	2,26	2,89	0,32	0,38	2,67	2,62	257	256
20	24	40	12,24	16,67	1,79	0,51	0,08	0,10	2,22	2,18	52	70
23	22	40	12,80	17,30	1,57	2,76	0,14	0,37	1,74	1,70	72	246
24	22	43	12,28	18,64	1,77	0,99	0,14	0,16	1,75	1,88	72	108

Çizelge 15. Üçüncü Bölüm-Sabit Yayılma Aşamasına ilişkin geliştirilen yangın davranışıyla ilgili modeller ve bu modellere ait belirtme katsayısı (R^2) ve standart hata (S.H.) değerleri

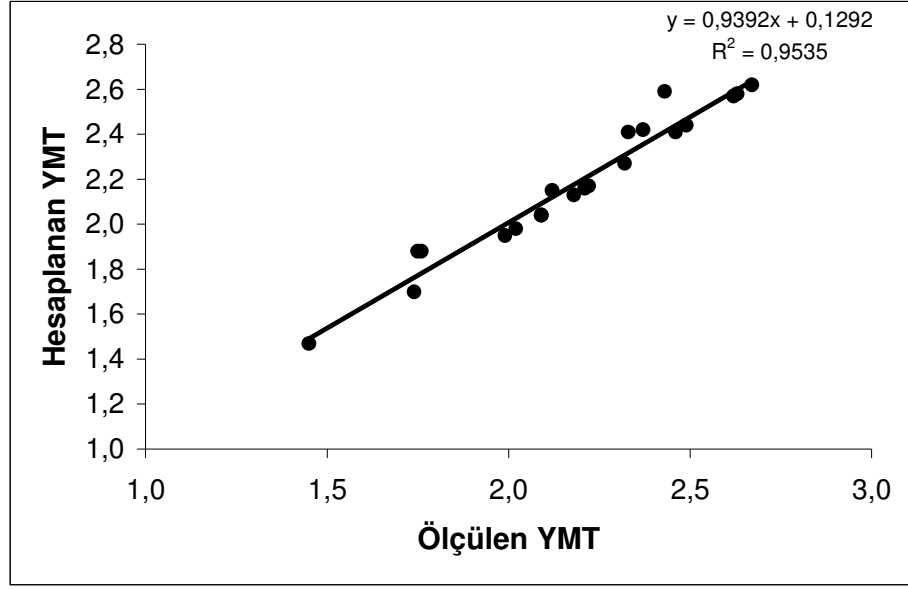
No	Bölüm 3 Modeller (md.)	R2	S.H.
1a	$YO=0,045+0,117 \times \text{rüzgar}$	0,788	$\pm 0,1485$
2a	$YMT=0,850 \times ymm-0,147$	0,906	$\pm 0,0831$
2b	$YMT=0,1100,914 \times ymm-0,14 \times \text{sıcaklık}$	0,930	$\pm 0,0734$
3a	$Y\dot{S}=25,324+55,437 \times \text{rüzgar}$	0,814	$\pm 65,1110$

Sabit yayılma aşaması için geliştirilen yanıcı madde tüketimi modellerinde en iyi sonucu YMM ve sıcaklık değişkenlerinin yer aldığı 2 nolu model vermiştir (md. 2b; $R^2=0.955$; $P<0.01$). Sabit yayılma aşaması için yanıcı madde tüketiminin hesaplanan değerleriyle yanıcı madde miktarı ve sıcaklık değişkenlerine bağlı olarak tahmin edilen değerleri arasındaki ilişki Şekil 26'daki gibidir.

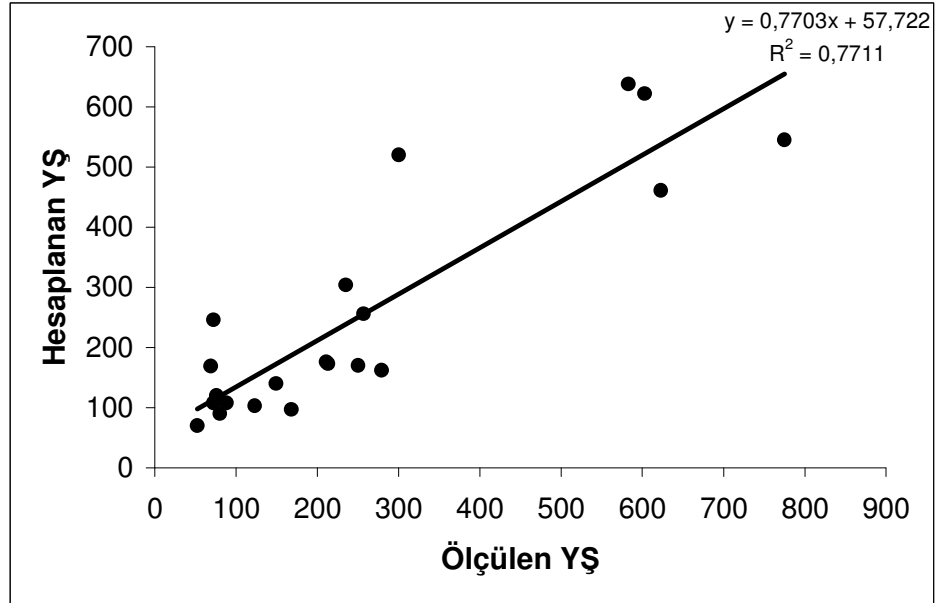
Yangın şiddeti için geliştirilen modellerde rüzgar değişkeni tek etmen olarak bulunmuştur (md. 3a; $R^2=0.658$; $P<0.01$). Gelişme aşaması için yayılma oranının hesaplanan değerleriyle rüzgara bağlı olarak tahmin edilen değerleri arasındaki ilişkiyi gösteren grafik Şekil 27'de görülmektedir.



Şekil 25. Sabit yayılma aşaması için yayılma oranının (YO) hesaplanan değerleriyle rüzgara bağlı olarak tahmin edilen değerleri arasındaki ilişki



Şekil 26. Sabit yayılma aşaması için yanıcı madde tüketiminin (YMT) hesaplanan değerleriyle yanıcı madde miktarı ve sıcaklığa bağlı olarak tahmin edilen değerleri arasındaki ilişki



Şekil 27. Sabit yayılma aşaması için yangın şiddetinin (YŞ) hesaplanan değerleriyle rüzgar bağlı olarak tahmin edilen değerleri arasındaki ilişki

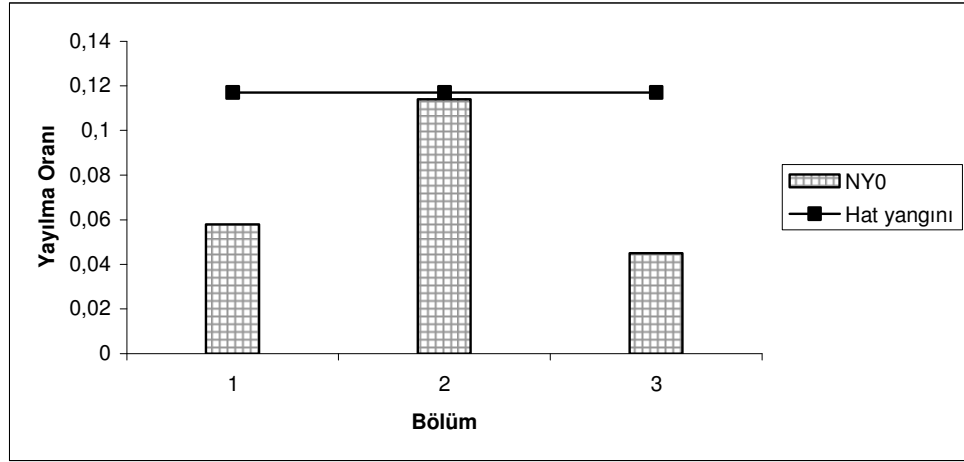
3.3. Hat ve Nokta Yangınlarının Karşılaştırılması

Hat ve nokta yangınlarının karşılaştırılması işleminde rüzgar değişkeni ana etmen olarak kabul edildi. Arazide gerçekleştirilen nokta deneme yangınları sırasında rüzgar hızındaki değişikliklerin etkisini ortadan kaldırmak için regresyon analizlerinden elde edilen modellerde, 3 farklı rüzgar hızı (0, 4 ve 8 km/s) için hesaplamalar yapılmıştır. Hat ve nokta deneme yangınları için sadece rüzgar değişkenine bağlı olarak yayılma oranı, yanıcı madde tüketimi ve yangın şiddeti modelleri geliştirilmiştir. Nokta yangınlarında, yangının gelişimini ayrıntılı bir biçimde ortaya koyabilmek için; her bir nokta yangını başlangıcından bitimine kadar olan süreç içerisindeki gelişimleri dikkate alınarak üç bölüme ayrılmıştır: (1) Birinci bölüm-başlangıç aşaması: nokta yangınının başladığı ve yanma olayında etkili şartlar altında gerçekleşen bölümdür. (2) İkinci bölüm-gelişme aşaması: nokta yangının kısmen geliştiği kısımdır. (3) Üçüncü bölüm-sabit yayılma aşaması: nokta yangının sabit bir yayılma oranına ulaştığı ve ekstrem değişiklikler olmadığı müddetçe farklı bir davranış göstermediği bölümdür.

3.3.1. Birinci Bölüm-Başlangıç Aşaması ve Hat Yangınlarının Karşılaştırılması

Başlangıç aşamasına ilişkin 0 km/s rüzgar hızına göre yapılan analizlerde, nokta yangınlarının gelişimini etkileyen değişkenler sırasıyla rüzgar, ibre nem ve bağıl nem değişkenleri olarak bulunmuştur. Başlangıç aşamasındaki yangınlarda yanıcı madde nemi yangının başlaması ve gelişip yayılmasında önemli rol oynamaktadır. Başlangıç aşaması yangınlarında yayılma oranı değerleri, 0 km/s rüzgar hızı değerinde hat yangınlarındaki yayılma oranı değerlerine ulaşamamıştır (Şekil 28).

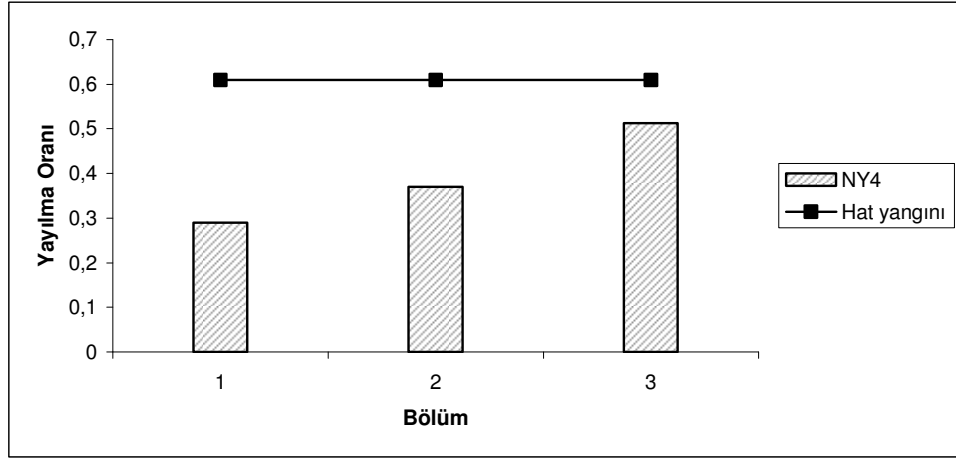
Nokta deneme yangınlarımızın bölümlenme-gelişme aşamasındaki 0 km/s rüzgar hızındaki yayılma oranı değeri, hat yangınlarımızdaki 0 km/s rüzgar hızı için hesaplanan yayılma oranı değerine %97 oranında yaklaşmış bulunmaktadır (Şekil 29). Nokta yangınları bölümlenme-gelişme aşaması için 4 km/s rüzgar hızında hesaplanan yayılma oranı değeri hat yangınları yayılma oranı değerine ulaşamamıştır



Şekil 28. 0 km/s rüzgar hızı için başlangıç aşaması ve hat yangınlarının karşılaştırılması

3.3.2. İkinci Bölüm-Gelişme Aşaması ve Hat Yangınlarının Karşılaştırılması

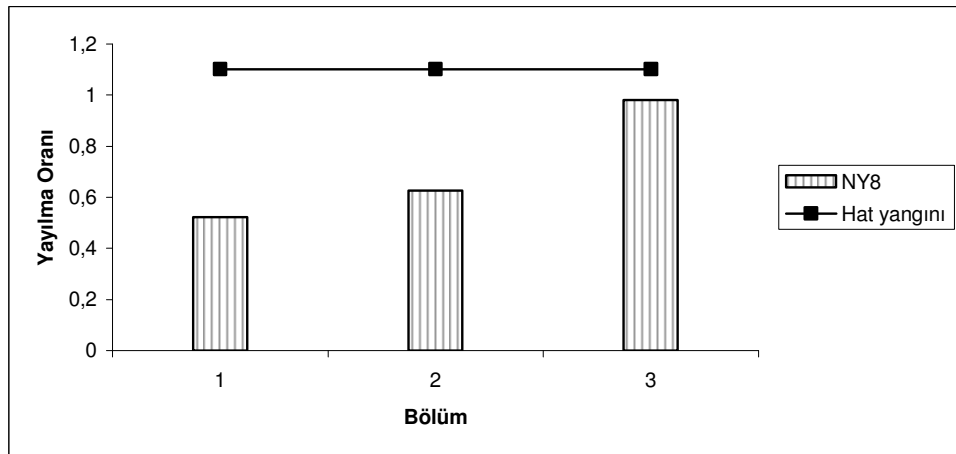
Gelişme aşaması bölümünde 4 km/s rüzgar hızındaki nokta yangınlarımızın yayılma oranı değerleri hat yangınlarının yayılma oranı değerlerine ulaşamamıştır. Birinci bölümde yangının gelişmesinde etkili olan ibre nem ve humus nem etmenlerinin etkisinin ortadan kalkması ile düşük rüzgar hızlarında nokta yangınları sabit yayılma oranı değerlerine büyük ölçüde yaklaşmıştır (Şekil 29).



Şekil 29. 4 km/s rüzgar hızı için gelişme aşaması ve hat yangınlarının karşılaştırılması

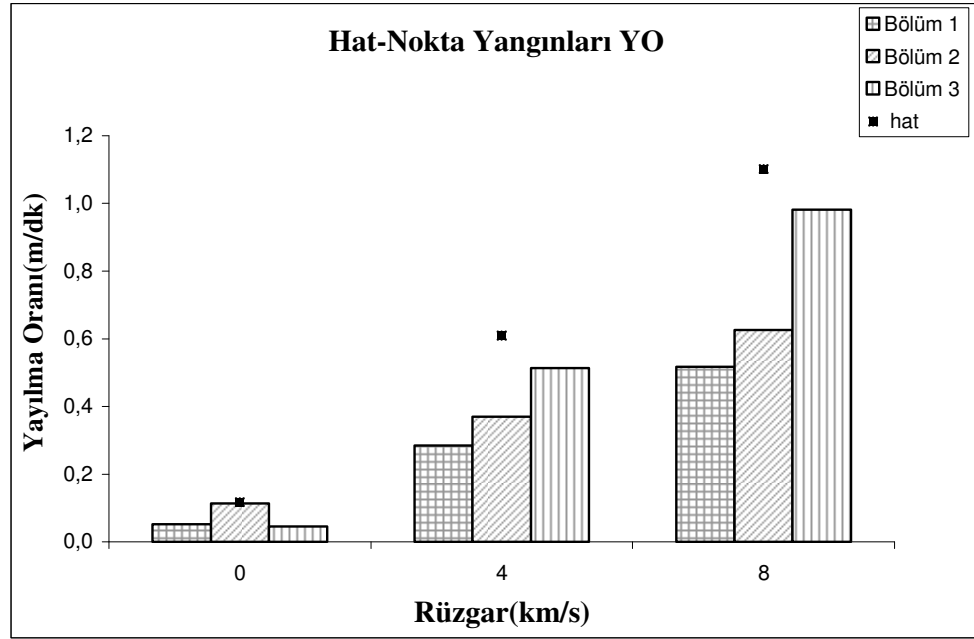
3.3.3. Üçüncü Bölüm-Sabit Yayılma Aşaması ve Hat Yangınlarının Karşılaştırılması

Nokta deneme yangınları bölümlenme-sabit yayılma aşamasına ilişkin olarak yapılan yayılma oranı analizlerinde 8 km/s rüzgar hızındaki hesaplanan yayılma oranı değerleri hat yangınları yayılma oranı değerlerine %89 oranında ulaşmış bulunmaktadır (Şekil 30).



Şekil 30. 8 km/s rüzgar hızı için sabit yayılma aşaması ve hat yangınlarının karşılaştırılması

Hat ve nokta yangınlarına ilişkin yapılan regresyon analizleri sonucunda elde edilen yayılma oranı denklemleri sonucunda, 0, 4 ve 8 km/s rüzgar hızlarında hat deneme yangınları için hesaplanan yayılma oranı değerleri ile bölümlemeye tabi tutulan nokta deneme yangınlarının başlangıç, gelişme ve sabit yayılma evrelerine ilişkin 0, 4 ve 8 km/s rüzgar hızlarında hesaplanan yayılma oranı değerlerini gösteren grafik Şekil 31’de görüldüğü gibidir.



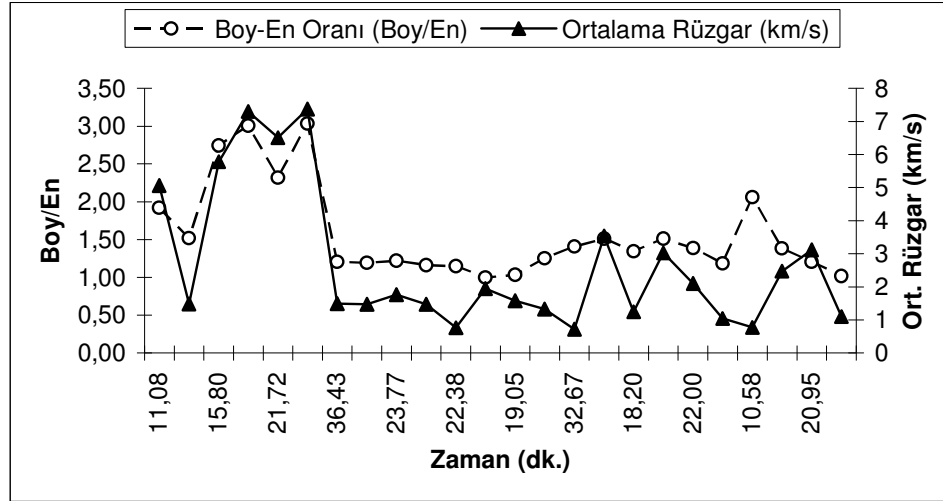
Şekil 31. Nokta yangınları bölümler ve hat yangınları için hesaplanan modellerden elde edilen yayılma oranı değerlerini gösteren grafik

Nokta deneme yangınlarının 3 bölümüne ilişkin yapılan analizler sonucunda elde edilen en yüksek yayılma oranı değerleri, hat yangınlarının en yüksek yayılma oranı değerlerine ulaşamamıştır. Nokta yangınlarının sabit yayılma evresindeki yayılma oranı değerlerinin hat yangınlarındaki yayılma oranı değerlerine ulaşabilmesi için belirli miktarda zamanın geçmesi gerekmektedir. Yapılan nokta deneme yangınlarında en yüksek yayılma oranı değerine 6 nolu nokta deneme

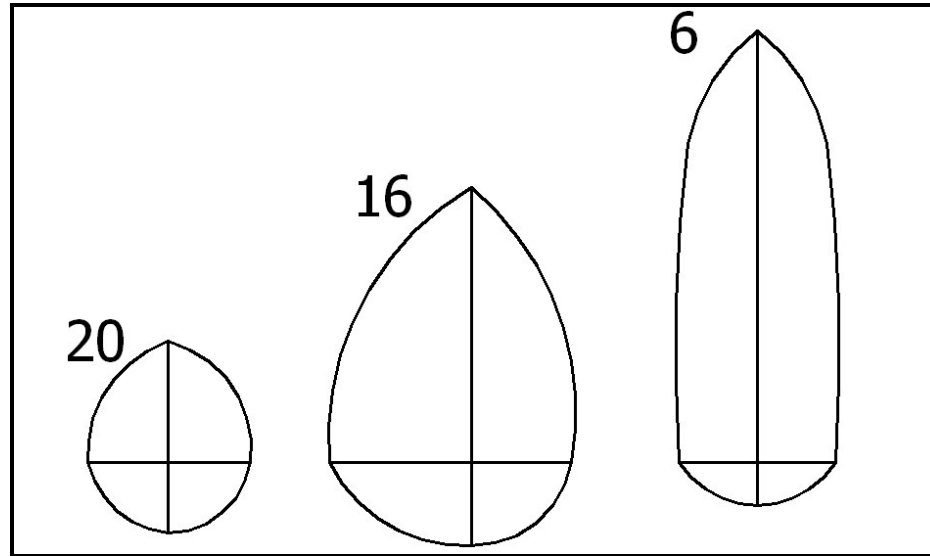
yangınında ve en yüksek ortalama rüzgar 7,37 km/s değerinde ulaşılmıştır. Nokta deneme yangınlarının ikinci bölüm-gelişme aşamasındaki yayılma oranı değeri, 0 rüzgar hızında hat yangını yayılma oranı değerlerine hemen hemen ulaşmış bulunmaktadır. Nokta deneme yangınlarının üçüncü bölümü olan sabit yayılma aşamasında rüzgar değişkeninin yayılma oranı ve yangın şiddetine etkisi olan tek etmen olduğu ve %89 oranında hat yangınları yayılma oranına ulaştığı yapılan analizlerle de ortaya konmuştur.

3.4. Boy-En (B/E) ve Yanan Alan Analizi

Boy/En olarak tanımlanan ve genel şekli elips biçiminde olan yangınlarda baş yangınıyla geri yangını arasındaki mesafenin yan yangınları mesafesine oranını ifade eden B/E oranı düşük rüzgar hızlarında gerçekleştirilen nokta yangınlarında zamana bağlı olarak az veya çok az gözlemlenebilir bir değişiklik göstermiştir. Bununla birlikte rüzgar hızı arttıkça zamana bağlı olarak B/E oranı değerinde de artış olmaktadır. En yüksek B/E oranı değerine 6 nolu nokta deneme yangınında ve en yüksek rüzgar hızı değerinde ulaşılmıştır. Boy-En oranı değerleri, nokta deneme yangınları ve yangın zamanını gösterir grafik Şekil 32’de, 3 farklı rüzgar hızında yanan yangınların geometrik şekilleri de Şekil 33’de görüldüğü gibidir. Boy-En ve Yanan alan değerleri ile nokta deneme yangınlarına ilişkin ölçülen meteorolojik veriler Çizelge 18’de verilmiştir.



Şekil 32. Zamana bağlı olarak Boy/En oranındaki değişimler



Şekil 33. 0-4-8 km/s rüzgar hızı sınıflarında gerçekleştirilen 20, 16 ve 6 nolu nokta yangınlarının geometrik şekilleri

Çizelge 16. Boy/en ve yanan alan değerleri ile nokta deneme yangınlarına ilişkin

ölçülen meteorolojik veriler

Nokta no	Sıcaklık (°C)	Bağıl nem (%)	İbre nem (%)	Humus nem (%)	Zaman (dk.)	Boy (m)	En (m)	Ort. rüzgar (km/s)	Ort.YO (m/dk)	Boy/En Oranı	Yanan Alan (m ²)	Çevre (m)
1	32	20	9,67	18,26	11,08	7,30	3,80	5,06	0,66	1,92	21,00	18,50
2	20,6	48	14,00	19,95	23,83	4,48	2,95	1,48	0,19	1,52	9,30	11,70
3	25,5	32	13,00	21,42	15,80	9,60	3,50	5,78	0,61	2,74	26,50	22,50
4	27,6	33	12,90	18,62	18,12	10,25	3,41	7,30	0,51	3,01	28,50	23,40
5	25,6	36	12,50	26,72	21,72	12,75	5,50	6,51	0,57	2,32	50,85	30,60
6	26	32	11,00	20,73	15,20	14,41	4,75	7,37	0,86	3,03	60,00	32,55
7	32	26	11,40	13,69	36,43	10,50	8,70	1,49	0,29	1,21	66,83	30,20
8	30	33	10,60	18,43	23,88	7,03	5,90	1,47	0,29	1,19	23,00	17,41
9	29	20	10,60	18,43	23,77	7,46	6,10	1,76	0,23	1,22	32,20	20,72
10	32	17	10,30	19,32	25,27	6,39	5,50	1,47	0,14	1,16	24,66	17,83
11	28,5	19	9,58	19,32	22,38	5,58	4,85	0,76	0,17	1,15	19,00	15,85
12	27,5	22	9,80	19,85	22,03	8,20	8,21	1,95	0,29	1,00	48,25	25,38
13	27,5	20	9,02	19,85	19,05	4,80	4,64	1,58	0,16	1,03	16,02	14,71
14	28	20	10,10	18,85	26,02	7,55	6,02	1,33	0,18	1,25	32,90	20,69
15	29,5	20	9,99	18,06	32,67	8,85	6,28	0,72	0,20	1,41	41,00	23,65
16	27	30	10,40	18,27	27,75	10,50	6,94	3,54	0,34	1,51	60,00	28,30
17	26	28	10,40	15,38	18,20	4,50	3,35	1,25	0,16	1,34	10,25	11,88
18	27	30	11,20	16,15	23,15	11,20	7,42	3,03	0,36	1,51	57,90	28,48
19	25	30	11,50	15,76	22,00	10,48	7,56	2,10	0,16	1,39	57,15	27,56
20	24	40	12,20	16,67	26,92	5,81	4,91	1,05	0,14	1,18	21,60	16,40
21	19,2	56	14,50	19,75	10,58	0,70	0,34	0,77	0,04	2,06	0,10	1,51
22	19,3	61	14,50	19,75	11,83	1,77	1,28	2,47	0,12	1,38	1,61	4,75
23	22	40	12,80	17,30	20,95	3,59	2,98	3,12	0,14	1,20	7,64	10,20
24	22	43	12,30	18,64	38,40	7,00	6,88	1,10	0,13	1,02	33,65	20,83

4. TARTIŞMA

4.1. Hat Yangınları

4.1.1. Yayılma Oranı

Hat deneme yangınlarına ilişkin yapılan korelasyon analizi sonucunda, yayılma oranının rüzgar hızıyla yakından ilişkili (Ek Çizelge 1; $r=0.854$; $P<0.01$) olduğu belirlenmiştir. Çizelge 6'daki regresyon modelleri incelendiğinde, rüzgar hızının tek başına yayılma oranında gözlenen değişkenliğin % 72,9'unu (Çizelge 6; md. 1a; $R^2=0.72,9$; $P<0.01$) açıkladığı görülmektedir. Ek Çizelge 1'deki korelasyon matrisinde de görüldüğü üzere sıcaklık ile bağıl nem ve ibre nem değerleri arasında kuvvetli bir ters ilişki söz konusudur. Ölü yanıcı madde nem içeriğinin özellikle yanıcı maddelerin tutuşabilirliği (Wilson, 1985) ve yanma oranı üzerine olan bilinen etkilerinden (Rothermel, 1972; Catchpole vd., 1998) dolayı yangın davranışı üzerinde de önemli bir etkisi olacağı beklenmektedir. Bu çalışma sonuçları ile böyle bir etkinin varlığı kısmen ortaya konulmuştur. Sıcaklık artıkça bağıl nem ve ibre nem düşmekte, dolayısıyla da yayılma oranı artmaktadır. Regresyon analizine, sıcaklık ikinci değişken olarak alındığında yayılma oranının açıklanmamış değişkenliğinin önemli bir kısmını daha açıklamaktadır (Çizelge 6; md. 1b; $R^2=0.834$; $P<0.01$).

Hat deneme yangınlarında en yüksek yayılma oranı ibre nem ve humus nem değerlerinin en düşük olduğu 5 nolu hat yangınında gerçekleşmiştir. 5 nolu hat deneme yangınında ortalama rüzgar değeri 6,6 km/saat ile ikinci en yüksek rüzgar değeridir. Ölçülen en düşük yayılma oranı değeri ise rüzgar ve sıcaklık değerlerinin düşük ibre ve humus nem değerlerinin yüksek olduğu 10 nolu hat deneme yangınında gerçekleşmiştir.

4.1.2. Yanıcı Madde Tüketimi

Ölü yanıcı maddelerin nem içeriği (nem ölü) ile ölü yanıcı madde miktarı, yanıcı madde tüketimi ile yakından ilişkilidir (Küçük, 2004). Ancak, tek başına toplam yanıcı madde miktarı, yanıcı madde tüketiminde gözlenen değişkenliğin % 95,9 gibi çok büyük bir kısmını açıklamaktadır (Çizelge 6; md. 2a; $P<0.01$). Toplam yanıcı madde miktarının yanında humus nem ikinci bağımsız değişken olarak regresyona ilave edildiğinde (Çizelge 6; md. 2b; $R^2=0.961$; $P<0.01$) yanıcı madde tüketimi tahmininde önemli bir değişiklik olmamaktadır. Yanıcı madde tüketimi tahmininde yanıcı madde miktarı ve humus neminin yanında rüzgar değişkeni de dahil edildiğinde yanıcı madde tüketiminin %97,8 gibi büyük bir kısmı açıklanmış olmaktadır ($R^2=0.978$; $P<0.01$). Hat deneme yangınları sırasında parsellerdeki yanıcı maddenin yaklaşık %74 'lük kısmı yanmıştır. Yanıcı madde tüketimi en fazla 17 numaralı hat deneme yangınında gerçekleşmiştir.

4.1.3. Yangın Şiddeti

Yangın şiddeti, rüzgar ($r=0.83,6$; $P<0.01$), yanıcı madde miktarı ($r=0,797$; $P<0.01$) sıcaklık ($r=0.465$; $P<0.01$) bağıl nem ($r=-0.453$; $P<0.01$) ve humus nem ile ($r=0.393$; $P<0.01$) yakından ilişkilidir (Ek Çizelge 1). Hat deneme yangınlarında en yüksek yangın şiddeti 18 nolu hat deneme yangınında gerçekleşmiştir. Çizelge 6'daki regresyon modellerinde rüzgar tek başına (md. 3a) yangın şiddetinde gözlenen değişkenliğin % 69,8'ini açıklarken ($R^2=0.698$; $P<0.01$), yanıcı madde miktarı, rüzgar hızının yanında regresyona ikinci değişken olarak girdiğinde (md. 3b) yangın şiddeti tahminini artırmaktadır ($R^2=0.723$; $P<0.01$). Rüzgar ve yanıcı madde miktarının yanında sıcaklık da regresyona dahil edildiğinde (md. 3c) en iyi sonuç elde edilmiştir ($R^2=0.885$; $P<0.01$).

4.2. Nokta Yangınları-Bölümleme

Arazide gerçekleştirilen 24 adet nokta deneme yangınlarının gelişimini ayrıntılı olarak ortaya koyabilmek, deneme yangınları sırasında sabit olmayan rüzgarın etkisini ortadan kaldırmak ve en son aşamadaki sabit yayılma oranı değerine ulaşana kadar ki hızlanma oranlarını sağlıklı ve ayrıntılı bir şekilde ortaya koyabilmek için nokta yangınları 3 bölüme ayrılmıştır. Aynı zamanda hat yangınlarında kullanılan ortalama yangın davranışı değerlerinin nokta yangınlarında kullanımı; tutuşma, gelişme ve sabit yayılma aşaması gibi üç farklı özelliğe sahip olan nokta kaynaklı gelişen yangınların incelenmesi için sağlıklı olmamaktadır. Her bölüm ayrı birer yangın olarak değerlendirilmiştir. Her bir bölümde sadece rüzgar değişkenine bağlı olarak geliştirilen nokta yangınları YO modelleri kullanılarak üç farklı rüzgar (0, 4 ve 8 km/s) değerine göre YO hesaplatılmıştır. 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. McAlpine (1988) yangının bu davranışını duran bir otomobilin hızlanmasına benzetmektedir. Otomobil ulaşabileceği en son hız değerine başladığı noktadan ulaşamamaktadır. 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.).

Bölümleme işleminde birinci 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).

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).

Üçüncü bölüm ise, yangının sabit yayılma özelliği gösterdiği bölümdür. Üçüncü aşamanın gelişimi (yalnızca çevresel koşullar izin verirse meydana gelebilir) uzak mesafelere nokta yangını atan, yangın hortumları ve yangın fırtınası diye nitelendirilen ve ileri derecede istikrarsız yangın davranışına neden olabilen çok yüksek bir ısı yayılmasını içerir (Luke and McArthur, 1986; Pyne 1984). Genellikle, her bir safha için gerekli olan zaman yanıcı madde tipine yanıcı madde yüküne ve yanma koşullarına göre değişmektedir (Brown and Davis, 1973; Pyne, 1984).

4.2.1. Birinci Bölüm-Başlangıç Aşaması

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 deneme yangınlarının birinci bölüm-başlangıç aşamasına ilişkin yapılan analizler sonucunda rüzgar, ibre nem ve bağıl nemin başlangıç aşamasındaki örtü yangınlarında belirleyici etmenler olduğu tespit edilmiştir. Sağlam 2002'ye atfen, 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 limit bir faktördür. Yanıcı madde nemi yüksek olduğu zaman tutuşma zayıf, yayılma oranı düşük, bununla birlikte; yanıcı maddenin neminin düşük olması durumunda tutuşma kolay olup, yayılma oranı yüksektir. Yüksek ibre nem, bağıl nem ve humus nem değerleri, düşük rüzgar hızı ve en düşük sıcaklık değerinde gerçekleştirilen 21 nolu nokta yangını 11. dakika sonunda kendiliğinden sönmüştür. En yüksek yayılma oranı değeri ise; düşük ibre nem, bağıl nem ve humus nem değerlerinde büyük oranda rüzgar etmeninin etkisi altında 6 nolu nokta deneme yangınında ölçülmüştür.

Başlangıç aşamasındaki nokta deneme yangınları için ortalama yayılma oranı değeri 0,21 m/dak, ortalama yanıcı madde tüketimi 1,54 kg/m², ortalama yangın şiddetide 101,21 kW/m olarak hesaplanmıştır. Birinci aşama için geliştirilen yayılma oranı modellerinde rüzgar değişkeni tek başına yayılma oranındaki değişkenliğin %75,6'sını açıklarken (Çizelge 9; md. 1a; P<0.01), modele ibre nem ve bağıl nem değişkenleri de ilave edildiğinde yayılma oranının açıklanmamış değişkenliğinin önemli bir kısmının açıklandığı görülmektedir (Çizelge 9; md. 1c R²=0.872; P<0.01).

Nem içeriği düşük yanıcı maddeler yayılma oranı, yangın şiddeti ve yanıcı madde tüketimini artırmaktadır (Sağlam, 2002). Yanıcı madde miktarının yanında

sıcaklık değişkeninde dahil edildiği modelimiz en iyi sonucu vermektedir (Çizelge 9; md. 2b; $R^2=0.934$; $P<0.01$).

Yanıcı madde tüketimi modelinde YMM değişkenliğin %91,5 gibi oldukça yüksek bir kısmını açıklamakta ve sıcaklık değişkeni de ilave edildiğinde en iyi sonucu vermektedir (Çizelge 9; md. 2a $R^2=0.915$; $P<0.01$ ve md. 2b; $R^2=0.934$; $P<0.01$). Yangın şiddeti için geliştirdiğimiz modelde rüzgar ve ibre nem değişkenlerinin yer aldığı modelimiz YŞ tahmininde en iyi sonucu vermiştir (Çizelge 9; md. 3b; $R^2=0.822$; $P<0.01$).

4.2.2. İkinci Bölüm-Gelişme Aşaması

Bir noktadan başlayan yangının gelişimi büyük oranda rüzgarın ani ve sert esişine, yöresel rüzgar yön değiştirmelerine ve arazi şartlarındaki şiddetli rüzgar değişikliklerine bağlıdır (Cheney and Gould, 1995). Sağlam 2002'ye atfen, 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 limit bir faktördür. Yanıcı madde nemi yüksek olduğu zaman tutuşma zayıf, yayılma oranı düşük, bununla birlikte; yanıcı maddenin neminin düşük olması durumunda tutuşma kolay olup, yayılma oranı yüksektir.

Gelişme aşamasındaki yangın davranışına etkili olan etmenler rüzgar, sıcaklık, yanıcı madde miktarı ve humus nem olarak belirlenmiştir. Gelişme aşamasındaki yangınlarımız için ortalama yayılma oranı değeri 0,26 m/dak, ortalama yanıcı madde tüketimi $1,55 \text{ kg/m}^2$, ortalama yangın şiddetide $131,85 \text{ kW/m}$ olarak hesaplanmıştır. Yapılan korelasyon analizi sonucunda (Çizelge 10), yayılma oranının rüzgar hızıyla yakından ilişkili ($r=0.796$; $P<0.01$) olduğu belirlenmiştir. Çizelge 12'deki regresyon modelleri incelendiğinde, rüzgar hızının tek başına yayılma

oranında gözlenen değişkenliğin % 79,6'sını ($R^2=0.796$; $P<0.01$) açıkladığı (md. 1a) görülmektedir. Regresyon analizine sıcaklık, rüzgar hızının yanında ikinci değişken olarak ilave edildiğinde (md. 1b) yayılma oranının açıklanmamış değişkenliğinin önemli bir kısmını daha açıklamaktadır (Çizelge 12; $R^2=0.859$; $P<0.01$).

Gelişme aşaması için geliştirilen yanıcı madde tüketimi modellerinde en iyi sonucu YMM, sıcaklık ve humus nem değişkenlerinin yer aldığı 3 nolu model vermiştir (Çizelge 12; md 2c; $R^2=0.955$; $P<0.01$). Yangın şiddeti için geliştirdiğimiz modellerde rüzgar ve YMM'nin yer aldığı modelimiz YŞ tahmininde en iyi sonucu vermiştir (Çizelge 12; md 3b; $R^2=0.658$; $P<0.01$).

4.2.3. Üçüncü Bölüm-Sabit Yayılma Aşaması

Bir noktadan başlayan yangının gelişimi büyük oranda rüzgarın ani ve sert esişine, yöresel rüzgar yön değiştirmelerine ve arazi şartlarındaki şiddetli rüzgar değişikliklerine bağlıdır (Cheney and Gould, 1995). Genelde yangın şeklini belirleyen etkenlerin en önemlisi rüzgardır. Yangının yayılma oranı (YO)'nı ve çevre değerlerine ait tahminler için geliştirilen modellerde çoğunlukla rüzgar hızı esas değişken olarak alınmaktadır. Rüzgar, yangının ön cephesinin gelişmesini, alevin önündeki yanmamış yanıcı maddelere radyasyon yoluyla sıcak hava taşıyarak tutuşma ve yanmayı artırarak destekler (Burgan and Rothermel, 1984; Chandler vd., 1991).

Nokta deneme yangınlarının üçüncü bölüm-sabit yayılma aşamasına ilişkin yapılan analizler sonucunda rüzgar, yanıcı madde miktarı ve sıcaklık değişkenlerinin sabit yayılma aşamasındaki örtü yangınlarında belirleyici etmenler olduğu tespit edilmiştir.

Sabit yayılma aşamasındaki yangınlar için ortalama yayılma oranı değeri 0,37 m/dak, ortalama yanıcı madde tüketimi 1,58 kg/m², ortalama yangın şiddetide 182 kW/m olarak hesaplanmıştır. Sabit yayılma aşaması için geliştirilen yayılma oranı modellerinde rüzgar değişkeni tek başına yayılma oranındaki değişkenliğin %78,8'ini açıklamaktadır (Çizelge 15; md. 1a; P<0.01).

Deneme yangınları sırasında ölçülen rüzgar değerleri ile yangın yayılma oranı arasında oldukça kuvvetli bir ilişki bulunmuştur. Buna göre yayılma oranını rüzgar hızına bağlı olarak tahmin etmek için regresyon modeli geliştirilmiştir. Rüzgar hızının belli bir düzeyin üzerine çıkması durumunda, yanıcı madde özelliklerindeki farklılıkların yangın davranışı üzerine olan etkilerini ortadan kaldırarak, özellikle yangın yayılma oranını belirleyen tek faktör durumuna geçtiği (Bilgili, 1991; Bilgili vd., 2002) bu çalışma sonucunda da kısmen ortaya konulmuştur. Yangın yayılma oranı üzerinde yanıcı maddenin diğer özelliklerinin de etkili olacağı beklenirken böyle bir sonuç ortaya çıkmamıştır. Ölü yanıcı madde miktarının ve nem içeriklerinin yangın yayılma oranı üzerine olan etkisinin belirlenebilmesi için, farklı ölü yanıcı madde miktarı yüklerinde ve yanıcı madde nem içeriklerinin farklılık gösterebileceği değişik meteorolojik koşullarda bu tür çalışmalar yapılabilir.

4.3. Hat ve Nokta Yangınları

Hat ve nokta yangınlarının karşılaştırılması işleminde rüzgar değişkeni ana etmen olarak kabul edildi. Arazide gerçekleştirilen nokta deneme yangınları sırasında rüzgar hızındaki değişikliklerin etkisini ortadan kaldırmak için regresyon analizlerinden elde edilen modellerde, 3 farklı rüzgar hızı (0-4-8 km/s) için hesaplamalar yapılmıştır. Hat ve nokta deneme yangınları için sadece rüzgar değişkenine bağlı olarak yayılma oranı, yanıcı madde tüketimi ve yangın şiddeti

modelleri geliştirilmiştir. Nokta yangınlarında, yangının gelişimini ayrıntılı bir biçimde ortaya koyabilmek için; her bir nokta yangını başlangıcından bitimine kadar olan süreç içerisindeki gelişimleri dikkate alınarak üç bölüme ayrılmıştır: (1) Birinci bölüm-tutuşma aşaması: nokta yangının başladığı ve yanma olayında etkili şartlar altında gerçekleşen bölümdür. (2) İkinci bölüm-gelişme aşaması: nokta yangının kısmen geliştiği kısımdır. (3) Üçüncü bölüm-sabit yayılma aşaması: nokta yangının sabit bir yayılma oranına ulaştığı ve ekstrem değişiklikler olmadığı müddetçe farklı bir davranış göstermediği bölümdür.

4.3.1. Birinci Bölüm-Başlangıç Aşaması ve Hat Yangınlarının Karşılaştırılması

Başlangıç aşamasına ilişkin 0 km/s rüzgar hızına göre yapılan analizlerde, nokta yangınlarının gelişimini etkileyen değişkenler sırasıyla rüzgar, ibre nem ve bağıl nem değişkenleri olarak bulunmuştur. Başlangıç aşamasında ki yangınlarda yanıcı madde nemi yangının başlaması ve gelişip yayılmasında önemli rol oynamaktadır. Başlangıç aşaması yangınlarında yayılma oranı değerleri, 0 km/s rüzgar hızı değerinde hat yangınlarındaki yayılma oranı değerlerine ulaşamamıştır (Şekil 28)

4.3.2. İkinci Bölüm-Gelişme Aşaması ve Hat Yangınlarının Karşılaştırılması

Gelişme aşaması bölümünde 4 km/s rüzgar hızındaki nokta yangınlarımızın yayılma oranı değerleri hat yangınlarının yayılma oranı değerlerine ulaşamamıştır. Birinci bölümde yangının gelişmesinde etkili olan ibre nem ve humus nem

etmenlerinin etkisinin ortadan kalkması ile düşük rüzgar hızlarında nokta yangınları sabit yayılma oranı değerlerine büyük ölçüde yaklaşmıştır.

McAlpine, (1988)'a atfen Curry ve Fons'un nokta kaynaklı yangınlardaki hızlanma oranlarına ilişkin arazide yaptıkları gözlemlere dayanarak, 0 km/s rüzgar hızlarında hızlanmanın 2 dakika içinde tamamlanırken yüksek rüzgar hızlarında hızlanmanın fark edilebilecek şekilde 22 dakika sonrada devam ettiğini gözlemlemişlerdir. Nokta deneme yangınlarının bölümlenme-gelişme aşamasındaki 0 km/s rüzgar hızındaki yayılma oranı değeri, hat yangınlarındaki 0 km/s rüzgar hızı için hesaplanan yayılma oranı değerlerine %97 oranında yaklaştığı belirlenmiştir (Şekil 29).

4.3.3. Üçüncü Bölüm-Sabit Yayılma Aşaması ve Hat Yangınlarının Karşılaştırılması

Yangın şeklini belirleyen etkenlerin en önemlisi rüzgardır. Yangının yayılma oranı, alanı ve çevre değerlerine ait tahminler için geliştirilen modellerde çoğunlukla rüzgar hızı esas değişken olarak alınmaktadır. Rüzgar, yangının ön cephesinin gelişmesini, alevin önündeki yanmamış yanıcı maddelere radyasyon yoluyla sıcak hava taşıyarak tutuşma ve yanmayı artırarak destekler (Burgan and Rothermel, 1984; Chandler vd., 1991). Sabit yayılma aşamasına ilişkin yapılan analizlerde de yayılma oranını etkileyen tek etmen rüzgar olarak bulunmuştur.

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 olduğu belirlenmiştir. Özellikle, rüzgarın 3-8

km/sa arasındaki hızı ile yayılma oranı arasında doğrusal bir ilişki olduğu ve böyle durumda rüzgarın en etkili faktör olduğunu belirlemişlerdir.

Nokta deneme yangınları bölümlenme-sabit yayılma aşamasına ilişkin olarak yapılan yayılma oranı analizlerinde 8 km/s rüzgar hızındaki hesaplanan yayılma oranı değerleri hat yangınları yayılma oranı değerlerine %89 oranında yaklaştığı bulunmuştur (Şekil 30).

Nokta deneme yangınlarının 3 bölümüne ilişkin yapılan analizler sonucunda elde edilen en yüksek yayılma oranı değerleri, hat yangınlarının en yüksek yayılma oranı değerlerine ulaşamamıştır. Nokta yangınlarının sabit yayılma evresindeki yayılma oranı değerlerinin hat yangınlarındaki yayılma oranı değerlerine ulaşabilmesi için, belirli miktarda zamanın geçmesi gerekmektedir. Yapılan nokta deneme yangınlarında en yüksek yayılma oranı değerine 6 nolu nokta deneme yangınında ve en yüksek ortalama rüzgar 7,37 km/s değerinde ulaşılmıştır. Nokta deneme yangınlarının üçüncü bölümü olan sabit yayılma aşamasında, rüzgar değişkeninin yayılma oranı ve yangın şiddetine etkisi olan tek etmen olduğu ve %89 oranında hat yangınları yayılma oranına yaklaştığı yapılan analizlerle de ortaya konmuştur.

4.4. Boy-En (B/E) ve Yanan Alan Analizi

Anderson (1983) tarafından uzunluk-genişlik, Alexander (1985) tarafından boy-en (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). Düşük rüzgar hızlarında gerçekleştirilen nokta yangınlarımızda zamana bağlı olarak B/E oranı değerinde az veya çok az

gözlemlenebilir bir değişiklik söz konusudur. Bununla birlikte rüzgar hızı arttıkça zamana bağlı olarak B/E oranı değerinde de artış olmaktadır. En yüksek B/E oranı 3.03 değerine 6 nolu nokta deneme yangınında ve en yüksek rüzgar hızı değerinde ulaşılmıştır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

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

Çalışmada hat ve nokta deneme yangınları, farklı hava hallerinde standart bir yanıcı madde tipinde gerçekleştirilmiş olup, yayılma oranı, yanıcı madde tüketimi ve yangın şiddeti modelleri geliştirilmiştir. Yanıcı madde nem içeriklerinde meydana gelen değişikliklerin daha iyi ortaya konulabilmesi için deneme yangınları 10 günlük süre zarfında ve sıcaklığın yüksek, bağıl nemin düşük olduğu zaman dilimlerinde yapılmıştır. Sonuçta, standart bir yanıcı madde tipinde, yayılma oranı değerini tahmin etmek için rüzgar, sıcaklık, ve bağıl nem gibi meteorolojik faktörlere ve yanıcı madde miktarına bağlı olarak istatistiki modeller geliştirilmiştir. Yayılma oranını ortaya koymaya yönelik olarak geliştirilen modeller, benzer alanlarda gerçekleşmesi muhtemel olan örtü yangınlarında yayılma oranının tahmin edilmesinde kullanılabilecektir.

Çalışmanın hat deneme yangınları kısmında karaçam ölü örtüsünde yangın davranışının belirlenmesi için toplam 28 adet deneme yangını yapılmıştır. Hat deneme yangınlarında yanıcı madde özellikleri ve hava halleri arasındaki ilişkiler araştırılmıştır. Yangın davranışını karakterize eden yayılma oranı, yanıcı madde tüketimi ve yangın şiddetini tahmin etmek için regresyon modelleri geliştirilmiştir.

Hat deneme yangınlarında yayılma oranını tahmin etmek için rüzgar ve sıcaklığa bağlı olarak iki farklı regresyon modeli geliştirilmiştir. Yayılma oranı üzerinde en etkili faktör rüzgar ($R^2 = 0,729$) olmuştur. Deneme yangınları düz bir alanda yapıldığı için topografik faktörlerin etkisi ortaya konulamamıştır. Topografya

ve diğ er faktörlerin yayılma oranı üzerine olan etkisini ortaya koyabilmek için farklı yanıcı madde ve arazi koşullarında çok sayıda deneme yangını yapılmalıdır. Yanıcı madde tüketimini tahmin etmek için yanıcı madde miktarı, humus nem ve rüzgar değişkenlerinin kullanıldığı üç farklı regresyon modeli geliştirilmiştir. Üç değişkenin birlikte kullanıldığı model yanıcı madde tüketimindeki değişkenliğin %97,8'ini açıklayan en iyi model olmuştur. Yangın şiddeti ile rüzgar hızı arasında yüksek bir ilişki olup, rüzgarla birlikte yanıcı madde miktarı ve sıcaklık değişkenleri kullanıldığında yangın şiddetindeki değişkenliğin açıklanan oranı %88,5'lere çıkmaktadır. 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.

Nokta deneme yangınlarında yangın davranışının belirlenmesi için iki farklı yöntem izlenmiştir. İlk olarak 24 adet nokta yangınımızdan her bir yangın, hat yangınlarında olduğu gibi bir bütün olarak değerlendirilmeye alınmış ve yangın davranışına yönelik analizler yapılmıştır. Yayılma oranını tahmin etmek için rüzgar ve sıcaklığa bağlı olarak iki farklı regresyon modeli geliştirilmiştir. Yayılma oranı üzerinde en etkili faktör rüzgar ($R^2 = 0,792$) bulunmuştur. Rüzgar ve sıcaklık değişkenlerine göre geliştirilen model, yayılma oranının %85,7'lik kısmını açıklamaktadır. Yanıcı madde tüketimini tahmin etmek için yanıcı madde miktarı ve sıcaklık değişkenlerinin kullanıldığı iki farklı regresyon modeli geliştirilmiştir. İki değişkenin birlikte kullanıldığı model yanıcı madde tüketimindeki değişkenliğin %93,4'ünü açıklayan en iyi model olmuştur. Yangın şiddeti ile rüzgar hızı arasında yüksek bir ilişki olup, rüzgarla birlikte ibre nem değişkenleri kullanıldığında yangın şiddetindeki değişkenliğin açıklanan oranı %87,3'lere çıkmaktadır.

Nokta deneme yangınlarına ilişkin yapılan analizlerden bir diğ er y ontemde nokta yangınlarının gelişimlerini başlangıç, gelişme ve sabit yayılma aşaması olmak üzere üç farklı bölümde analiz ettiğimize bölümleme y ontemidir. Nokta deneme yangınlarının bu üç farklı bölüme g ore yapılan analizlerinde; başlangıç aşamasında yayılma oranını tahmin etmek için rüzgar, ibre nem ve bağıl nem değı kenlerine bağılı olarak üç farklı regresyon modeli geliştirilmiştir. Başlangıç aşamasında, yayılma oranı üzerinde en etkili faktör rüzgar ($R^2 = 0,756$) olarak bulunmuştur. İbre nem ve bağıl nem etmenlerinin de başlangıç aşamasındaki nokta deneme yangınlarında etkili olan etmenlerden olduğı belirlenmiştir. Gelişme aşamasındaki yayılma oranı tahmini için rüzgar ve sıcaklığı bağılı olarak iki farklı yayılma oranı modeli geliştirilmiş olup, gelişme aşamasında da rüzgar değı keni ($R^2 = 0,796$) en etkili etmen olarak bulunmuştur. Sabit yayılma aşamasına ilişkin geliştirilen modelde yayılma oranı üzerinde etkili tek değı ken rüzgar bulunmuştur ($R^2 = 0,788$).

Yanıcı madde tüketime ilişkin yapılan regresyon analizleri sonucu geliştirilen modellerde YMT'ni tahmin etmek için YMM, sıcaklık ve humus değı kenlerinin kullanıldığı regresyon modelleri geliştirilmiştir. İki değı kenin birlikte kullanıldığı model YMT'ndeki değı kenliğinin %93,4' n  açıklayan en iyi model olmuştur.

Yangın şiddetine ilişkin yapılan regresyon analizleri sonucu geliştirilen modellerde Y 'ni tahmin etmek için rüzgar, ibre nem, yanıcı madde miktarı, değı kenlerinin kullanıldığı regresyon modelleri geliştirilmiştir. Sabit yayılma aşamasında tek etkili etmen rüzgar değı keni Y 'ndeki değı kenliğinin %81,4' n  açıklayan en iyi model olmuştur.

Üç farklı rüzgar değeri için hat ve nokta deneme yangınlarına ilişkin sadece rüzgar değişkeni esas alınarak geliştirilen yayılma oranı modellerine göre, nokta deneme yangınlarının yayılma oranı değişimleri karşılaştırılmış ve ortalama 23 dakikalık süreç diliminde nokta yangınlarının yayılma oranı değerlerinin hat yangınları yayılma oranı değerlerine %89 oranında yaklaştığı bulunmuştur. Literatürde konuyla ilgili yapılan çalışmalarda %90 oranında sabit yayılma aşamasına 30 dakikalık zaman dilimi içerisinde ulaşıldığı bildirilmektedir (McAlpine and Wakimoto, 1988; McRea, 1999; Cheney and Gould, 1995, 1997).

Çalışmanın Boy-En analizi kısmında, Boy-En oranının büyük oranda rüzgarın etkisinde değiştiği, düşük rüzgar hızlarında oranın 1 değerine yakın olduğu, yüksek rüzgar hızlarında ise Boy-En oranının 2-3 değerlerine kadar yükseldiği bulunmuştur. Boy-En oranının yüksek olması rüzgar hızı ile arasındaki kuvvetli ilişkiden kaynaklanmaktadır. Yükselen Boy-En değerlerinde yangına müdahalede bulunulması gereken süre kısaltmakta ve yangına müdahale zorlaşmaktadır.

Bu çalışma ile, yangın davranışına ilişkin olarak geliştirilen modeller yardımıyla denetimli yakmalarda 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.

Orman yangınlarıyla mücadele çalışmalarında karşılaşılan problemlerin en önemlileri, belli bir alandaki gelecek günlerde yangın çıkma ihtimalinin ne olduğu ve mevcut şartlarda çıkacak bir yangının nasıl bir davranış göstereceğinin tahmin edilemeyiştir. Orman yangınlarının başladığı ve geliştiği yer olan ölü örtüde, hat ve nokta deneme yangınlarından geliştirilen YD tahmin modelleri yardımıyla, çıkan yangının yayılma oranı, yanıcı madde tüketimi ve yangın şiddeti büyük oranda

tahmin edilebilecektir. Bir çok konumsal bilgiyi depolayıp, sorgulama ve analiz edilmesine imkan veren CBS kullanılarak bilgisayar ortamında YD ilişkin tahminlerin değerlendirilmesiyle yangına müdahalede alternatif çözümlerin üretilmesi mümkün olabilecektir. Böyle bir ön tahmin, orman yangınlarını söndürme etkinliğinin önemli derecede artmasını sağlayacak ve yangın söndürme maliyetlerini düşürecektir.

Karaçam ölü örtüsünde yayılma oranı karakteristiklerinin ve yangın davranışının 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.

Aynı zamanda bu çalışma sonuçları ile; diri örtüden yoksun, alt tabakanın tamamen ölü örtüden oluştuğu ve doğal dal budanması gerçekleşmiş olgun karaçam meşcerelerinde birim zamanda ve belirli koşullar altında yanan alan miktarından yola çıkarak, belirli sayıda oluşan yangın ekiplerinin ne kadarlık bir sürede ve kaç kişi olarak yangına müdahale etmeleri gerekeceği konusunda yaklaşık bir tahmin yürütülebilecektir. 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. Ülkemizde çıkan bir orman yangının söndürülmesindeki temel ilke yangının en kısa süre içerisinde söndürülmesi esasına dayanmaktadır.

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 özelliğide taşımaktadır. Türkiye gibi yaz aylarında yangın olaylarının çok sık meydana geldiği ve ciddi boyutlarda can ve mal kayıplarına neden olduğu ölkelerde, bu konuda bir ilk olma özelliğine de sahip 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.A., 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, M.E., 1982. Calculating and Interpreting Forest Fire Intensities, Can. J. Bot., 60, pp: 349-357, 2185.

ALEXANDER, M.E., 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.

ANDERSON, H.E., 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.E., 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, D.M.İ., 2005. Kastamonu Meteoroloji Müdürlüğü.

BESSIE, W.C., JOHNSON, E.A., 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., 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.H., 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.E., 1979. Fire Danger/Fire Behavior Computation With the Texas Instrument TI-59 Calculator: User Manual. U.S. For. Serv. Gen. Tech. Report INT-61, pp: 25.

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

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

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

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

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, N.P. AND GOULD, J.S., 1995. Fire Growth in Grassland Fuels. International Journal of Wildland Fire 5(4). Pp: 237-247.

ERASLAN, İ., 1982, Orman Amenajmanı, İ.Ü. Orman Fakültesi Yayın No: 3010, 312 sayfa, İstanbul.

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.

KOURTZ, P., 1984, Decision-Making For Centralized Forest Fire Management, For. Chron. 60, pp: 320-327.

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

LUKE, R.H., AND A.G. McARTHUR., 1986. Bushfires in Australia. Revision and second printing. Aust. Govt., Can., Forest Manegement Note., No: 35., pp: 8.

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

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

OGM, 2007. Orman Genel Müdürlüğü.

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

PYNE, S.J., 1984. Introduction to Wildland Fire; Fire Management in the United States. John Wiley&Sons, Inc., New York. Pp: 455.

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

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.

STOCKS, B.J., LAWSON, B.D., ALEXANDER, M.E., VAN WAGNER, C.E., McALPINE, R.S., LYNHAM T.J. AND DUBE, D.E., 1989. Canadian Forest Fire Danger Rating System: An Overview, *For. Chron.* Pp: 450-457.

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

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

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

VAN WAGNER, C.E., 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.

W. R. CATCHPOLE, E. A. CATCHPOLE, B.W. BUTLER, R.C. ROTHERMEL, G.A. MORRIS AND D.J. LATHAM., 1998. Rate of Spread of Free-Burning Fires in Woody Fuels in a Wind Tunnel. Combust. Sci. And Tech., 1998. Vol. 131, pp: 1-37.

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

7. EKLER

Ek Çizelge 1. Hat yangınları hava halleri, yanıcı madde özellikleri ve yangın davranışı arasındaki ilişkileri gösteren korelasyon matrisi

		S	BN	HN	İN	YMM	Rr	YO	YMT	YŞ
S	Kor. Kat.	1								
	Önem S.									
	N	28								
BN	Kor. Kat.	-0,960**	1							
	Önem S.	0,000								
	N	28	28							
HN	Kor. Kat.	-0,002	0,055	1						
	Önem S.	0,992	0,779							
	N	28	28	28						
İN	Kor. Kat.	-0,749**	0,727**	0,292	1					
	Önem S.	0,000	0,000	0,132						
	N	28	28	28	28					
YMM	Kor. Kat.	0,327	-0,279	0,362	-0,257	1				
	Önem S.	0,089	0,151	0,058	0,186					
	N	28	28	28	28	28				
R	Kor. Kat.	0,223	-0,249	0,373	-0,085	0,577**	1			
	Önem S.	0,254	0,201	0,051	0,666	0,001				
	N	28	28	28	28	28	28			
YO	Kor. Kat.	0,506**	-0,51(**)	0,350	-0,296	0,662**	0,854**	1		
	Önem S.	0,006	0,005	0,068	0,126	0,000	0,000			
	N	28	28	28	28	28	28	28		
YMT	Kor. Kat.	0,332	-0,267	0,454*	-0,218	0,979**	0,513**	0,622**	1	
	Önem S.	0,085	0,170	0,015	0,265	0,000	0,005	0,000		
	N	28	28	28	28	28	28	28	28	
YŞ	Kor. Kat.	0,465*	-0,453*	0,393*	-0,250	0,797**	0,836**	0,972**	0,765**	1
	Önem S.	0,013	0,015	0,039	0,200	0,000	0,000	0,000	0,000	
	N	28	28	28	28	28	28	28	28	28

*S, sıcaklık (°C); BN, bağıl nem (%); İN, ibre nem (%); HN, humus nem(%); YMM, yanıcı madde miktarı (kg m²); R, rüzgar (km/s); YO, yayılma oranı (m min⁻¹); YMT, yanıcı madde tüketimi (kg m²); YŞ, yangın şiddeti (kW/m)

* % 5 güven düzeyinde önemli

**%1 güven düzeyinde önemli

Ek Çizelge 2. Nokta yangınları genel için hava halleri, yanıcı madde özellikleri ve yangın davranışı arasındaki ilişkileri gösteren korelasyon matrisi

		S	BN	İN	HN	YMM	R	YO	YMT	YŞ
S	Kor. Kat.	1								
	Önem S.									
	N	24								
BN	Kor. Kat.	-0,884**	1							
	Önem S.	0,000								
	N	24	24							
İN	Kor. Kat.	-0,794**	0,910**	1						
	Önem S.	0,000	0,000							
	N	24	24	24						
HN	Kor. Kat.	0,249	-0,291	-0,220	1					
	Önem S.	0,241	0,168	0,301						
	N	24	24	24	24					
YMM	Kor. Kat.	0,489*	-0,605**	-0,587**	-0,167	1				
	Önem S.	0,015	0,002	0,003	0,435					
	N	24	24	24	24	24				
R	Kor. Kat.	0,055	0,032	0,175	-0,095	-0,019	1			
	Önem S.	0,800	0,884	0,412	0,659	0,928				
	N	24	24	24	24	24	24			
YO	Kor. Kat.	0,303	-0,192	-0,092	-0,090	0,114	0,890**	1		
	Önem S.	0,150	0,369	0,668	0,676	0,596	0,000			
	N	24	24	24	24	24	24	24		
YMT	Kor. Kat.	0,348	-0,527**	-0,482*	-0,114	0,957**	0,047	0,096	1	
	Önem S.	0,096	0,008	0,017	0,594	0,000	0,827	0,656		
	N	24	24	24	24	24	24	24	24	
YŞ	Kor. Kat.	0,319	-0,244	-0,130	-0,108	0,271	0,888**	0,980**	0,268	1
	Önem S.	0,129	0,251	0,545	0,615	0,201	0,000	0,000	0,206	
	N	24	24	24	24	24	24	24	24	24

*S, sıcaklık (°C); BN, bağıl nem (%); İN, ibre nem (%); HN, humus nem(%); YMM, yanıcı madde miktarı (kg/m²); R, rüzgar (km/s); YO, yayılma oranı (m/dk); YMT, yanıcı madde tüketimi (kg/m²); YŞ, yangın şiddeti (kW/m)

* % 5 güven düzeyinde önemli

**%1 güven düzeyinde önemli