

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ORMAN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**METEOROLOJİK FAKTÖRLERE BAĞLI YANICI MADDE NEM İÇERİKLERİ
VE MAKİ TİPİ YANICI MADDELERDE YANGIN DAVRANIŞI**

127547

**Orm. Yük. Müh. Bülent SAĞLAM
Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
"Doktor"**

Ünvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 12.08.2002
Tezin Savunma Tarihi : 08.10.2002**

127547

**Tez Danışmanı : Doç. Dr. Ertuğrul BİLGİLİ
Jüri Üyesi : Prof. Dr. Mahmut EROĞLU
Jüri Üyesi : Prof. Dr. Torul MOL**

Bülent Sağlam
M. Eroğlu
T. Mol

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

Enstitü Müdürü : Prof. Dr. Asım KADIOĞLU

A. Kadıoğlu

Trabzon 2002

ÖNSÖZ

“Meteorolojik Faktörlere Bağlı Yanıcı Madde Nem İçerikleri ve Maki Tipi Yanıcı Maddelerde Yangın Davranışı” isimli bu çalışma Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Mühendisliği Anabilim Dalında Doktora Tezi olarak hazırlanmıştır.

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

Tez çalışması süresince değerli fikirlerinden yararlandığım sayın Prof. Dr. Torul MOL'a ve Prof. Dr. Mahmut EROĞLU'na, özellikle coğrafi bilgi sistemleriyle ilgili sürekli bilgisine başvurduğum sayın Prof. Dr. Emin Zeki BAŞKENT'e, istatistik konusunda yardımlarını esirgemeyen sayın Prof. Dr. Hakkı YAVUZ'a teşekkürü bir borç bilirim. Arazi çalışmalarında yardımlarını gördüğüm Arş.Gör. Ömer KÜÇÜK ile coğrafi bilgi sistemleriyle ilgili kısmın hazırlanmasında bana yardımcı olan Arş.Gör. Bahar DİNÇ'e teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmanın yürütülmesi için proje desteği sağlayan başta Orman Genel Müdürlüğü olmak üzere, Kafkas Üniversitesi ve Karadeniz Teknik Üniversitesi Araştırma Fonu Saymanlığına teşekkür ederim. Arazi çalışmalarında yardımcı olan bütün Orman İşletme Müdürlükleri ve personeline teşekkür ederim.

Çalışmalarım boyunca özveride bulunarak bana destek olan eşime ve yeterince vakit ayıramadığım kızlarım Sümeyye Berre ve Zeynep Nur'a teşekkür ederim.

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

Trabzon, 2002

Bülent SAĞLAM

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET.....	V
SUMMARY	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VII
TABLolar DİZİNİ	X
SEMBOLLER DİZİNİ.....	XI
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Literatür Araştırması	5
1.2.1. Orman Yangınları Tehlike Oranları Sisteminin Yapısı.....	8
1.2.1.1. Meteorolojik Yangın İndeksi (MYİ) Sistemi.....	8
1.2.1.1.1. Yanıcı Madde Nem Kodları	10
1.2.1.1.1.1. İnce Yanıcı Madde Nem Kodu.....	10
1.2.1.1.1.2. Humus Tabakası Nem Kodu	11
1.2.1.1.1.3. Derin Organik Tabaka Nem Kodu	11
1.2.1.1.2. Yangın Davranışı İndeksleri.....	11
1.2.1.1.2.1. Başlangıç Yayılma İndeksi.....	12
1.2.1.1.2.2. Birikmiş Yanıcı Madde İndeksi	12
1.2.1.1.2.3. Meteorolojik Yangın İndeksi (MYİ)	12
1.2.1.2. Yangın Davranışını Tahmin Sistemi.....	14
1.2.1.3. Yangın Davranışında Etkili Olan Faktörler	15
1.2.1.3.1. Yanıcı Madde Özellikleri	15
1.2.1.3.2. Hava Halleri	15
1.2.1.3.3. Topografya	16
1.2.2. Yangın Tehlike Oranları Sisteminin Uygulamaları	16
1.2.2.1. Yangın Tehlike Oranları Sisteminden Yararlanılan Alanlar.....	16
1.2.2.2. Yangın Tehlike Oranları Sistemi Uygulamalarında Coğrafi Bilgi Sistemlerinin (CBS) Kullanılması	18
1.2.3. Yapılan Çalışmanın Kavramsal Çerçevesi.....	21

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR, BULGULAR VE TARTIŞMA.....	23
2.1. Yanıcı Madde Nem İçeriklerinin Belirlenmesi	23
2.1.1. Materyal ve Metot	25
2.1.2. Bulgular	26
2.1.3. Sonuçlar ve Öneriler.....	35
2.2. Yanıcı Madde Miktarının Belirlenmesi.....	37
2.2.1. Materyal ve Metot	38
2.2.2. Bulgular	40
2.2.3. Sonuçlar ve Öneriler.....	46
2.3. Maki Tipi Yanıcı Maddelerde Yangın Davranışının Belirlenmesi	47
2.3.1. Materyal ve Metot	50
2.3.1.1. Yangın Öncesi Ölçümler.....	51
2.3.1.2. Hava Halleri	53
2.3.1.3. Yangın Öncesi Yanıcı Madde Nem İçeriklerinin Belirlenmesi	53
2.3.1.4. Yangın Anında Yapılan Ölçümler.....	53
2.3.1.5. Yangın Sonrası Ölçümler	54
2.3.2. Yangın Davranışına Ait Bulgular.....	56
2.3.3. Sonuçlar ve Öneriler.....	63
2.4. Yangın Davranışının Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) Yardımıyla Uygulamaya Aktarılması: Korudağı Örneği.....	66
2.4.1. Materyal ve Metot	66
2.4.2. Bulgular	68
2.4.3. Sonuçlar ve Öneriler.....	88
3. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	91
4. KAYNAKLAR.....	98
ÖZGEÇMİŞ	109

ÖZET

Bu çalışmada, normal kapalı çam meşcerelerinde farklı hava hallerine göre ölü örtü nem içeriklerindeki değişimler ve maki tipi yanıcı maddelerde yangın davranışıyla ilgili iki çalışmanın sonuçları analiz edilerek sunulmuştur. Aynı zamanda, hava halleri, topografya ve yanıcı madde şartlarına bağlı olarak yangın davranışı özellikleriyle ilgili örnek bir çalışma sunulmuştur. Sonuçların analiz edilmesi ve sunulmasında Coğrafi Bilgi Sistemleri kullanılmıştır.

Ölü örtü yanıcı madde bileşenleri (ince yanıcı madde ve humus) ile hava halleri arasındaki ilişki, sıcaklık, yağış miktarı, bağıl nem ve rüzgar hızının ince yanıcı madde nem içeriği üzerinde anlamlı etkisinin olduğunu göstermiş ve sıcaklık ile rüzgar hızı humus yanıcı madde nem içeriği üzerinde etkili bulunmuştur. Yangın davranışını farklı hava halleri şartlarında tahmin etmek ve yangın davranışını tahmin modelleri geliştirmek için, maki tipi yanıcı maddelerde bir seri deneme yangını yapılmıştır. Elde edilen ilişkiler yayılma oranının büyük oranda rüzgar hızı, yanıcı madde ortalama boyu, kapalılık ve toplam yanıcı madde miktarıyla tahmin edilebileceğini göstermiştir. Yanıcı madde tüketimini tahmin etmek için ortalama boy ve kapalılık iyi bir göstergedir. Yangın şiddeti, rüzgar hızı, ortalama boy ve kapalılıkla yakın ilişkilidir. Burada maki tipi yanıcı maddelerde yangın davranışını tahmin etmek için geliştirilen modeller, verilerin elde edildiği şartlara bağlıdır.

Sonuçta, bu çalışmadan elde edilen sonuçlarla birlikte tamamlanmış diğer çalışmaların sonuçları da kullanılarak örnek bir çalışma yapılmış ve sonuçlar yangın amenajmanı açısından analiz edilmiş ve öneriler getirilmiştir. Sunulan bu çalışmadan elde edilen sonuçlar, ileride oluşturulacak Türkiye yangın davranışını tahmin sistemi ve meteorolojik yangın indeksi sistemlerinin temel bir adımını oluşturmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Yanıcı Madde Nemi, Yangın Davranışı, Yangın Tehlike Oranları Sistemi, Coğrafi Bilgi Sistemleri

SUMMARY

Forest Fuel Moisture Contents Dependent on Meteorological Parameters and Fire Behavior Prediction in a Maquis Fuel Type

This study analyses and presents the results of two studies dealing with surface fuel moisture contents changes in normally stocked pine stands and fire behavior in maquis fuels under varying weather conditions. It also presents a case study in which fire behavior parameters are evaluated with respect to weather, topography and fuel conditions. To analyze and report the results of the case study Geographical Information Systems technology was utilized.

The relationships between surface fuel components (fine surface fuels and duff) and weather parameters have shown that temperature, precipitation, relative humidity and wind had a significant effect on the moisture contents of fine surface fuels, and that temperature and wind were effective on duff moisture contents. To predict fire behavior under varying weather conditions and develop fire behavior prediction models, a series of experimental burns in a maquis fuel type was conducted. The relationships obtained indicated that fire spread could be predicted with a good accuracy with wind, vegetation height, vegetation cover and total fuel available for combustion. To predict fuel consumption, mean vegetation height and vegetation cover were good predictors. Fire intensity was best related to the wind, mean vegetation height and vegetation cover. Based on the relationships generated models were developed to predict fire behavior in maquis fuels under the conditions within which the range data were gathered.

Finally, utilizing the results from this study complemented by others, a case study was conducted and the results were analyzed and discussed from a fire management point of view. The results obtained from the present study constitutes the very basic and fundamental first steps towards establishing fire weather and fire behavior prediction system in Turkey, and should be invaluable in all phases of fire management planning.

Keywords: Fuel Moisture, Fire Behavior, Fire Danger Rating System, Geographical Information Systems

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa No
Şekil 1. Orman Yangınları Tehlike Oranları Sisteminin yapısı ve bileşenleri.....	8
Şekil 2. Meteorolojik Yangın İndeksi Sisteminin yapısı ve bileşenleri (Bilgili vd., 2001)	9
Şekil 3. MYİ Sistemi elemanlarından BYİ ve HNK'na bağlı olarak oluşturulmuş yangın şiddeti sınıfları (Bilgili, 1999).....	13
Şekil 4. Yapılan çalışmanın kavramsal çerçevesi	22
Şekil 5. İnce yanıcı madde nem içeriklerinin sıcaklıklara bağlı olarak bölgelere göre dağılımı	29
Şekil 6. Humus yanıcı madde nem içeriklerinin sıcaklıklara bağlı olarak bölgelere göre dağılımı	29
Şekil 7. İnce yanıcı madde nem içeriğinin ölçülen ve sıcaklık faktörü, yağış miktarı, rüzgar hızı ve bağıl nem verilerine bağlı olarak tahmin edilen değerleri arasındaki ilişki (a) ve hata terimleri dağılımı (b).....	31
Şekil 8. İnce yanıcı madde nem içeriğinin ölçülen ve hava halleri verilerine bağlı olarak model 4 ile tahmin edilen değerleri arasındaki logaritmik dönüşüm ilişkisi (o) ile geliştirilen modelin bağımsız örneklerle test edilmesi (●).....	32
Şekil 9. İnce yanıcı madde nem içeriğinin ölçülen ve hava halleri verilerine bağlı olarak model 4 ile tahmin edilen değerleri arasındaki logaritmik hata terimleri dağılımı.....	32
Şekil 10. HN içeriğinin ölçülen ve hava halleri verilerine bağlı olarak tahmin edilen değerleri arasındaki ilişki (a) ve hata terimleri dağılımı (b)	33
Şekil 11. Humus nem içeriğinin ölçülen ve hava halleri verilerine bağlı olarak tahmin edilen değerleri arasındaki logaritmik dönüşüm ilişkisi (o) ile geliştirilen modelin bağımsız örneklerle test edilmesi (●).....	34
Şekil 12. Humus nem içeriğinin ölçülen ve hava halleri verilerine bağlı olarak tahmin edilen değerleri arasındaki logaritmik hata terimleri dağılımı.....	35
Şekil 13. Ortalama yanıcı madde boyunun belirlenmesi, homojen yanıcı madde gruplarının boyları (a) ve genişlikleri (b).....	39
Şekil 14. Yanıcı maddelerin toprak seviyesinden kesilerek alınması	40

Şekil 15. Toplam yanıcı madde miktarının ölçülen değerleriyle kapalılık ve ortalama boya bağlı olarak model 9 ile tahmin edilen değerleri arasındaki ilişki (a) ve hata terimleri dağılımı (b).....	43
Şekil 16. Toplam canlı yanıcı madde miktarının ölçülen değerleriyle kapalılık ve ortalama boya bağlı olarak model 8 ile tahmin edilen değerleri arasındaki ilişki	44
Şekil 17. Kalın canlı yanıcı madde miktarının ölçülen değerleriyle ortalama boy ve kapalılığa bağlı olarak model 6 ile tahmin edilen değerleri arasındaki ilişki	45
Şekil 18. Toplam ince yanıcı madde miktarının ölçülen değerleriyle ortalama boy ve kapalılığa bağlı olarak model 5 ile tahmin edilen değerleri arasındaki ilişki	45
Şekil 19. Orman yangınlarının en fazla meydana geldiği Nisan-Ekim aylarına ait 11 yıllık uzun dönem aylık ortalama toplam yağış miktarı ve sıcaklık değerleri	50
Şekil 20. Deneme yangınlarının yapıldığı alanın bitki örtüsü.....	52
Şekil 21. Deneme yangınlarının yapıldığı alanın genel yapısı.....	52
Şekil 22. Deneme parsellerinin yangın emniyet yollarıyla bölünmesi.....	54
Şekil 23. Deneme yangınlarının şerit halinde başlatılması	55
Şekil 24. Deneme yangınlarına ait kayıtların tutulması	55
Şekil 25. Yayılma oranının ölçülen değerleriyle rüzgar ve toplam yanıcı madde miktarına bağlı olarak tahmin edilen değerleri arasındaki ilişki.....	60
Şekil 26. Yayılma oranının ölçülen değerleriyle rüzgar ve toplam yanıcı madde miktarına bağlı olarak tahmin edilen değerleri arasındaki hata terimleri dağılımı	61
Şekil 27. Yanıcı madde tüketiminin hesaplanan değerleriyle ortalama boy ve kapalılığa bağlı olarak tahmin edilen değerleri arasındaki ilişki	61
Şekil 28. Yangın şiddetinin hesaplanan değerleriyle rüzgar ve toplam yanıcı madde miktarına bağlı olarak tahmin edilen değerleri arasındaki ilişki.....	62
Şekil 29. Uygulama alanının meşcere tipleri haritası.....	69
Şekil 30. Uygulama alanının sayısal arazi modeli	70
Şekil 31. Uygulama alanında, yangın davranış özelliklerinin şiddet sınıflarına göre alan dağılımları	72
Şekil 32. Düşük yayılma oranı değerlerinin alandaki dağılımı.....	73

Şekil 33. Düşük yayılma oranı değerlerinin toplam alan itibariyle alan gruplarındaki dağılımı	74
Şekil 34. Düşük yayılma oranı değerlerinin toplam sayı itibariyle alan gruplarındaki dağılımı	74
Şekil 35. Orta yayılma oranı değerlerinin alandaki dağılımı ve mevcut yollarla karşılaştırılmış durumu	76
Şekil 36. Yüksek yayılma oranı değerlerinin alandaki dağılımı	77
Şekil 37. Orta ve yüksek yayılma oranı değerlerinin toplam alan olarak alan gruplarındaki dağılımı.....	78
Şekil 38. Orta ve yüksek yayılma oranı değerlerinin toplam sayı itibariyle alan gruplarındaki dağılımı.....	78
Şekil 39. Düşük humus yanıcı madde tüketiminin alandaki dağılımı.....	79
Şekil 40. Düşük humus yanıcı madde tüketimi değerlerinin toplam alan olarak alan gruplarındaki dağılımı.....	80
Şekil 41. Düşük humus yanıcı madde tüketimi değerlerinin toplam sayı olarak alan gruplarındaki dağılımı.....	80
Şekil 42. Orta ve yüksek humus yanıcı madde tüketiminin alandaki dağılımı.....	81
Şekil 43. Orta ve yüksek humus yanıcı madde tüketimi değerlerinin toplam alan olarak alan gruplarındaki dağılımı	82
Şekil 44. Orta ve yüksek humus yanıcı madde tüketimi değerlerinin toplam sayı olarak alan gruplarındaki dağılımı	82
Şekil 45. Düşük yangın şiddeti sınıfının alandaki dağılımı	83
Şekil 46. Düşük yangın şiddeti sınıfının toplam alan olarak alan gruplarındaki dağılımı	84
Şekil 47. Düşük yangın şiddeti sınıfının toplam sayı olarak alan gruplarındaki dağılımı	84
Şekil 48. Orta yangın şiddeti sınıfının alandaki dağılımı.....	85
Şekil 49. Yüksek yangın şiddeti sınıfının alandaki dağılımı.....	86
Şekil 50. Orta ve yüksek yangın şiddetinin toplam alan olarak alan gruplarına dağılımı	87
Şekil 51. Orta ve yüksek yangın şiddetinin toplam sayı olarak alan gruplarına dağılımı	87

TABLolar DİZİNİ

	Sayfa No
Tablo 1. Yangın şiddeti sınıflarına göre belirlenmiş yangın tipi ve yangınlarla mücadele zorluğu durumları.	13
Tablo 2. Yanıcı madde örneklerine ait hava halleri ve nem içeriği verileri.....	27
Tablo 3. İYN ve HN içeriği ile hava halleri arasındaki korelasyon.....	28
Tablo 4. İnce yanıcı madde nem içeriklerinin belirlenmesi için geliştirilen modeller.....	30
Tablo 5. Humus yanıcı madde nem içeriklerinin belirlenmesi için geliştirilen modeller	33
Tablo 6. Deneme parsellerinde yanıcı madde özellikleri ve toplam yanıcı madde miktarları.....	41
Tablo 7. Yanıcı madde özellikleri arasındaki korelasyon.....	42
Tablo 8. Regresyon analizi sonucunda, ortalama boy ve kapalılığa bağlı olarak yanıcı madde miktarlarını tahmin etmek için geliştirilen regresyon modelleri (R^2 = belirtme katsayısı, S.H.=standart hata).	42
Tablo 9. Çalışma alanının bitki örtüsü	51
Tablo 10. Deneme yangınlarına ait yanıcı madde özellikleri.....	56
Tablo 11. Deneme yangınlarına ait hava halleri ve yangın davranış verileri.....	57
Tablo 12. Yangın davranış karakteristikleri ile yanıcı madde özellikleri ve hava halleri arasındaki korelasyon matrisi	58
Tablo 13. Regresyon analizleri sonucunda geliştirilen yangın davranışıyla ilgili modeller ve bu modellere ait belirtme katsayısı (R^2) ve standart hata (S.H.) değerleri.....	59

SEMBOLLER DİZİNİ

BYİ	: Başlangıç Yayılma İndeksi
BYMİ	: Birikmiş Yanıcı Madde İndeksi
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
DHYMT	: Düşük Humus Yanıcı Madde Tüketimi
DONK	: Orta Humus Yanıcı Madde Tüketimi
DYO	: Düşük Yayılma Oranı
DYŞ	: Düşük Yangın Şiddeti
HNK	: Humus Tabakası Nem Kodu
İYNK	: İnce Yanıcı Madde Nem Kodu
KDS	: Karar Destek Sistemleri
KS	: Kuruma Süresi
MYİ	: Meteorolojik Yangın İndeksi
OHYMT	: Orta Humus Yanıcı Madde Tüketimi
OYBS	: Orman Yangını Bilgi Sistemi
OYO	: Orta Yayılma Oranı
OYŞ	: Orta Yangın Şiddeti
SF	: Sıcaklık Faktörü
YD	: Yangın Davranışı
YDT	: Yangın Davranışının Tahmini
YHYMT	: Yüksek Humus Yanıcı Madde Tüketimi
YİT	: Yangın İhtimalini Tahmin
YM	: Yanıcı Madde
YMNK	: Yanıcı Madde Nem Kodu
YMT	: Yanıcı Madde Tüketimi
YO	: Yayılma Oranı
YŞ	: Yangın Şiddeti
YŞİ	: Yangın Şiddeti İndeksi
YTO	: Yangın Tehlike Oranı
YYO	: Yüksek Yayılma Oranı
YYŞ	: Yüksek Yangın Şiddeti

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

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 (Eraslan, 1982) etkilemektedir. Bir başka ifadeyle orman yangınları, her yıl binlerce hektar verimli ormanların yanıp kül olmasına, milyarlarca liralık yangınla savaş giderlerine ve hatta binlerce mülki ve rekreasyonel değerlerin (Kourtz, 1984) kaybolmasına neden olmaktadır. 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, 1995a).

Türkiye orman varlığı 20.7 milyon hektar civarındadır ve bu ormanlık alanların % 35'i birinci, % 23'ü ikinci, % 22'si üçüncü, % 15'i dördüncü 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 1. derecede hassas alanların en fazla olduğu bölgelerdir. Kahramanmaraş'tan başlayıp Akdeniz ve Ege'yi takiben İstanbul'a kadar uzanan 1700 km'lik sahil bandınının 160 km derinliğindeki bölümü ve bu alanda yayılış gösteren 12 milyon hektar (%58) ormanlık alan yangın bakımından birinci dereceden hassasiyet taşımaktadır. Özellikle bu yörelerimizde yaz aylarında çok miktarda orman yangını meydana gelmekte ve binlerce hektar ormanlık alan yok olmaktadır. Yangın istatistiklerinin tutulmaya başlandığı 1937 yılından 2001 yılı sonuna kadar meydana gelen orman yangınları ile toplam 1540992 hektar, yıllık ortalama olarak da 23708 hektar ormanlık alan yanmıştır (OGM, 2002).

Son 10 yıllık periyot dikkate alındığında 21646 adet orman yangınında ortalama olarak yılda 14098 hektar ormanlık alanın yandığı anlaşılmaktadır. Son 2 yıllık istatistiklere bakıldığında da; 2000 yılında 2353 adet yangına karşılık 26353 hektar alan

yanmış, 2001 yılında ise 2631 adet yangın sonucunda 7394 hektar ormanlık alan yanmıştır. Orman yangınlarıyla mücadele kapsamında 2001 yılında 57.2 trilyon TL harcanmıştır (OGM, 2001). Orman yangınlarıyla ilgili giderek artan araştırmalar sayesinde geliştirilen yeni teknik ve uygulamaların yanı sıra teknolojik yeniliklerin de kullanılmaya başlanmasıyla hem yangın adedinde hem de yanan alan miktarında büyük oranda azalma sağlanmıştır.

Yangın söndürme çalışmalarının başarısı, yangının erken görülüp ilk müdahalenin çok kısa bir süre içinde yapılabilmesine bağlıdır. Yangınların erken görülebilmesi için yangın gözetleme kulelerinin ve diğer görevlilerin yangın potansiyelinin yüksek olduğu zamanlarda daha dikkatli olmaları gerekmektedir. Bunun için sabit ve değişken çevre faktörlerine bağlı olarak farklılık gösteren yangın potansiyelinin doğru bir şekilde belirlenmesi gerekmektedir. 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 yangının şiddeti (YŞ), yayılma oranı (YO) ve yanıcı madde tüketimi (YMT) gibi yangın davranışı (YD) özelliklerinin önceden tahmin edilebilmesi son derece önemlidir. Bu özellikler, yangın organizasyonuna yapılacak müdahalenin, kullanılacak ekip, araç ve gereçlerin belirlenmesi ve konuşlandırılmasıyla ilgili karar verme aşamasında yardımcı olmaktadır. Yangın davranışının tahmin edilemediği durumlarda kararlar, deneyimli kişilerin geçmiş yangınlardan elde ettikleri tecrübelerinden istifade edilerek alınmaktadır. Bu ise, ekstrem hava hallerinde ve yanıcı madde özellikleri itibariyle özel şartlara sahip tehlikeli alanlarda her zaman isabetli olmamaktadır.

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 kaynakların 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. Diğer taraftan, yayılma eğiliminde olan bir yangın küçük bir organizasyonla söndürülmeye çalışılırken kaçırılmakta ve bunun sonucunda büyük alanlar zarar görmektedir. Aynı anda birden çok yangının çıktığı durumlarda ise, gerek koordinasyon ve gerekse kaynakların etkili kullanılamaması nedeniyle büyük sıkıntılar yaşanmaktadır. Yangın davranışı önceden tahmin

edilemediğinden, her yangının bir an önce mutlaka söndürülmesi gerektiği düşüncesiyle kaynaklar, aynı anda farklı noktalara sevk edilmektedir. Bu durumda kaynakların tehlikeli alanlara doğru büyüme eğiliminde olan yangınlara gönderilmesi aşamasında büyük sıkıntılar yaşanmaktadır. 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.

Yangınla mücadele çalışmalarında, yanıcı madde özellikleri ve hava hallerinin yangın potansiyeli ve yangın davranışı üzerine olan etkilerinin çok iyi bilinmesi gerekmektedir. Özellikle kurutucu lodos rüzgarlarının olduğu sıcak günlerde, yangınların ilk olarak başladığı ince yanıcı maddelerin nem içerikleri çok hızlı bir şekilde düşmekte ve yanmaya hazır hale gelmektedirler. Böyle zamanlarda ormandaki diğer yanıcı maddelerin de kuruması sonucu bir biri ardına bir çok yerde yangınlar çıkabilmektedir. Ülkemizde 2000 yılı 4 nisanında bir biri ardına 98 adet yangın çıkmış ve bunun sonucunda 7 127.65 ha alan yanmıştır. Özellikle genç kızılçam meşcerelerinde ve ağaçlandırma sahalarında çıkan yangınlar büyük alanlara yayılmış ve uzun süre devam etmiştir (Bilgili, Sağlam, 2002). Böyle özel yanıcı madde tiplerinde ve ekstrem hava hallerinde yangın potansiyeli ve yangın davranışının belirlenebilmesi için, önceden elde edilmiş her türlü bilginin bir araya getirilerek mevcut şartlarla birlikte çok yönlü olarak değerlendirilebilmesi ve bu bilgileri kullanarak farklı yangın şartları için alternatif çözümlerin geliştirilebilmesi gerekmektedir. Bu ise ancak, bir çok farklı bilgiyi bir arada değerlendirmeye imkan veren bir sistem dahilinde gerçekleştirilebilir.

Bugün bazı ülkeler, yangın meteoroloji istasyonlarından aldıkları gerekli bilgileri değerlendirerek o yöredeki yangın potansiyelini diğer bir deyimle "Yangın Tehlike Oranını (YTO)" hesaplayabilmektedirler. Yangın tehlike oranını tespit eden sistem, genellikle o yöredeki gelecek 24 saat içindeki yangın tehlikesinin yüzde oranı ile çıkan bir yangının gelişim durumu hakkında bilgi vermektedir. Yangın yöneticileri ihtiyaç duydukları bir çok bilgiyi bu sistem sayesinde elde edebilmektedirler.

Yangın yöneticileri yangınlarla etkili mücadele edebilmek için yapacakları planlamalara katkı sağlayacak her türlü kaynak, bilgi ve programdan faydalanmak durumundadırlar. Özellikle yangın anında, yangın amiri kendi mıntikasındaki bitki örtüsünün yapısını, topografya ve hava hallerinin bu bitki örtüsü yapısıyla ne tür tehlikeler oluşturabileceğini ve muhtemel bir yangında yangının ne tür bir davranış

sergileyebileceğini önceden tahmin edebilmelidir (Bilgili, 1996). Burada yangın istatistikleriyle birlikte hava halleri, yanıcı madde ve topografik yapıya bağlı olarak yangın davranışının tahmin edilmesi ve planlamaların da ona göre yapılması gereklidir. Bu işin yapılabilmesi ise, çok iyi bir yangın organizasyonunun varlığını gerektirmektedir. Yangın organizasyonunun başarı derecesi, yararlanılan Karar Destek Sistemleri (KDS)'nin gelişmişliğine ve Yangın Tehlike Oranı Sistemi'nin başarılı bir şekilde uygulanmasına bağlıdır (Bilgili 1995, Bilgili, 2000). Geleceğe dönük yangın potansiyelini belirlemek için geliştirilen ve bilgisayar programları ile desteklenen YTO Sistemi bu bilgileri sağlayarak, yangın organizasyonuna karar verme aşamasında yardımcı olmaktadır. Bu gibi sistemlerden yararlanmayan yangın organizasyonları etkili kararlar alamayacakları için başarıları sınırlı ve pahalı olacaktır. Yangına duyarlı Kanada, A.B.D. ve Avustralya gibi ülkelerde KDS'nin faydaları anlaşılmış olduğundan bu sistemler geliştirilmiş (ve geliştirilmekte) ve ülke çapında uygulamaya konulmuştur.

Bu güne kadar yangın tehlike oranları ve yangın davranışının tahmin edilmesinin önemi ve gerekliliği hakkında çeşitli değerlendirmeler yapılmakla birlikte (Baş, 1965; Mol, 1988; Selmi, 1988; Çanakçıoğlu, 1988; Mol, 1989; Mol vd., 1989; Mol, Selmi, 1989; Öymen, 1989) bu sistemlerin oluşturulmasına yönelik bir çalışma yapılmamıştır. Bunun yanında, hava halleriyle orman yangınları arasındaki ilişkiler incelenmiş ve buna bağlı olarak yangın sayıları ve yanan alanın önceden tahmin edilmesine yönelik olarak sadece hava hallerini dikkate alan çalışmalar (Aslan, Sağlam 1995; Sağlam, Aslan, 1997) yapılmış ve YTO sisteminin gerekliliği vurgulanmıştır. Ülkemizde YTO sisteminin uygulanabilme imkanları, yangınla mücadele çalışmalarına yapacağı katkılar ve YTO sisteminin oluşturulmasıyla yangının bir amenajman aracı olarak nasıl kullanılabileceği irdelenmiştir (Bilgili, 1995a; Bilgili, 1996; Bilgili, 1999a; Bilgili, 1999b).

Her yıl binlerce hektar ormanlık alanı yangınlardan zarar gören ülkemizde yangın potansiyeli ve yangın davranışının doğru bir şekilde belirlenebilmesi ve dolayısıyla yangınlarla daha etkili bir şekilde mücadele edilebilmesi için bir takım yardımcı sistemlere ihtiyaç vardır. Yangın tehlike oranları sistemi bu konuda büyük bir boşluğu dolduracaktır. Bu çalışmada, Türkiye için yangın potansiyeli ve maki tipi yanıcı maddelerde yangın davranışı belirlenerek YTO Sistemi'nin oluşturulmasına yönelik ilk adım atılmıştır.

1.2. Literatür Araştırması

Yangın tehlike oranı, yangın tehlikesini etkileyen faktörlerin ayrı ayrı ve bir bütün olarak sistematik bir şekilde değerlendirilmesi ve yorumlanması işlemidir. Yangın tehlike oranlarıyla ilgili geliştirilen sistemler genelde üç ana bölümden oluşmaktadır. 1- Meteorolojik Yangın İndeksi (MYİ) Sistemi, 2- Yangın Davranışını Tahmin (YDT) Sistemi ve 3- Yangın İhtimalini Tahmin (YİT) Sistemi. MYİ sistemi, sadece standart bir yanıcı madde tipi için yangın davranışı hakkında genel bir bilgi vermektedir. Bu durumda, diğer yanıcı madde tiplerinde yangın davranışının nasıl olacağı bir problem olarak ortaya çıkmaktadır. Bu problem ise, YTO sisteminin bir diğer elemanı olan ve özel yanıcı madde tiplerindeki yangın davranışı hakkında bilgi veren Yangın Davranışını Tahmin (YDT) Sistemi ile çözüme kavuşturulmaya çalışılmıştır (Lawson vd., 1985). Özellikle A.B.D., Kanada ve Avustralya gibi orman yangınlarının etkili olduğu ülkeler YTO sisteminin öncülüğünü yapmakta olup, Yeni Zelanda, Çin ve bazı Avrupa ülkeleri bu sistemleri uygulamaya başlamışlardır (Beck, 1988).

A.B.D. ve Kanada'da orman yangını tehlike oranları sistemi 1920'lerde başlayarak geliştirilmiştir. Amerikan yangın tehlike oranları sistemi için değişik yanıcı madde modelleri oluşturulmuştur. Sistem, 1964 yılında iki yanıcı madde modelinden (USDA, 1964) oluşurken, yanıcı madde modelleri 1972 yılında 9'a (Deeming vd., 1972), 1978 yılında ise 20'ye (Deeming vd., 1978) ulaşmıştır. Bu zaman zarfında, yangınların kontrol edilmesi ve yangının potansiyel zararlarının hesaplanması için yangın davranışının tahmin edilmesi görüşü ön plana çıkmıştır. Sistem, hava halleri ve yanıcı madde farklılıklarının yangın davranışı üzerindeki etkilerinin ölçüldüğü laboratuvar denemelerine dayanmaktadır. Yangın davranışının tahmin edilmesi için, yangın tehlike oranlarından farklı olarak 13 yanıcı madde modeli oluşturularak tablolar halinde düzenlenmiştir (Rothermel, 1972; Albini, 1976).

A.B.D. sisteminde, alt tabaka canlı yanıcı madde nem içeriği (otsu ve odunsu) yanıcı madde özelliklerine dayanarak hesaplanmaktadır. Bir saat kuruma süresi (KS)'ne (nem içeriklerinin 2/3'ünü kaybettikleri süre) sahip ince ölü yanıcı madde nem içeriği, güncel hava gözlemlerinden (sıcaklık ve bağıl nem) ve bir takım diğer çevresel değişkenlerden hesaplanmaktadır. Amerikan sisteminde, kuruma süresi yanıcı maddenin bir özelliği olarak görülür, laboratuvarında sabit şartlar altında ölçülmüştür, sabittir ve hava halleri ile değişmez. Yanıcı madde nem içeriklerinin belirlenmesinde otsu ve odunsu

vejetasyon ile ölü-devrik yuvarlak odundan (sürgünler, dallar) oluşan yanıcı maddeler dikkate alınmaktadır. Yukarıdaki açıklamalardan da anlaşıldığı gibi Amerikan sisteminde orman ölü örtü tabakasının nem içeriği değişimini veren bir model yoktur. Sistem, eğimin yangın davranışı üzerine mekanik etkisini dikkate almaktadır. A.B.D. sistemi laboratuvar yangınlarına ve fiziksel teorilere dayanmaktadır ve kapalılığı bozuk, açık çayırlanmış ormanda ve çalı tiplerinde uygun sonuçlar vermektedir (Van Nest, Alexander, 1999; Van Wagner, 1975).

Kanada sistemi, Avustralya'daki gibi çoğunlukla arazi bilgilerinin istatistikî analizleri sonucu gerçekleştirilmiştir. Çok sayıda deneme yangınlarından elde edilmiş bir çok sezona ait yangın davranışı bilgileri, yanıcı madde nemi ve meteorolojik parametreler birlikte kullanılarak tablolar (Anon., 1970) oluşturulmuştur. Bu konuda açıklayıcı bir rehber hazırlanmış (Lawson, 1972), daha sonra eşitliklerin bir kısmı kullanılıp sistem açıklanmış (Van Wagner, 1974) ve sistem bilgisayar için programlanmıştır. Kanada sisteminde yangın davranışının tahmin edilmesi için 16 yanıcı madde modeli tanımlanmıştır.

Kanada sisteminde ibrelî ağaç yapraklarının nem içerikleri gün, yer (enlem/boylam) ve yükseltiden hesaplanır. Kanada sisteminde kuruma süresi günlük döngü içinde ölçülerek bir günden diğerine değişimi yansıtır ve hava şartları ile değiştiği göz önüne alınır. Kanada'nın kuzey ve ılıman ormanlarında olduğu gibi orta ve derin ölü örtü tabakalarının bulunduğu ormanlarda ölü örtü tabakasının nem içeriği yangın potansiyelinin belirlenmesinin yanında, örtü yangınlarında yanıcı madde tüketimi ve yangın şiddeti üzerinde büyük etkisi vardır. Kanada sisteminde bu durum dikkate alınarak, ölü yanıcı madde nemini tahmin edecek modeller geliştirilmiştir. Kanada sistemi, eğimin yangın davranışı üzerine olan etkisini eğim katsayısı olarak hesaplamalara katmaktadır. Kanada sistemi derin ölü örtü tabakasının bulunduğu kapalı ormanlarda daha iyi sonuçlar vermektedir (Van Wagner, 1975; Van Nest, Alexander, 1999).

A.B.D. ve Kanada sistemleri, farklı nem oranları içeren üç farklı yanıcı maddeyi kullanmak suretiyle, geniş bir alan için yanıcı maddelerinin nem düzeylerini yorumlamaktadırlar. A.B.D. sistemindeki Yanma İndeksine karşılık Kanada sisteminde Meteorolojik Yangın İndeksi bulunmaktadır. Her iki sistem de yangın potansiyeli ve yayılma oranı gibi diğer yangın faktörlerinin derecesini göstermek için bir takım diğer indeksler kullanmaktadır.

Avustralya'da bir kaç farklı yangın tehlike oranı kullanılmaktadır. Daha çok McArthur (1966, 1967) tarafından bu ülkedeki okalıptüs ormanları için geliştirilen yangın tehlike oranı her bölgede kullanılabilir. McArthur, 30 ile 60 dakikaya kadar yakılan 800 test yangınında ölçülen yangın davranışı verilerine dayanan bir sayaç oluşturmuştur. Böylece, Kanada sisteminde olduğu gibi, tam manasıyla arazi ölçümlerine dayanan deneysel kökenli bir sistem oluşmuştur. Sistem daha sonra indeksler ve eşitlikler haline sokulmuş (Noble vd., 1980) ve hesap makinesinde kullanılmak üzere programlanmıştır (Crane, 1982). Avustralya sistemi aynı zamanda İspanya'nın Akdeniz bölgesinde test edilmiş ve kullanılmıştır.

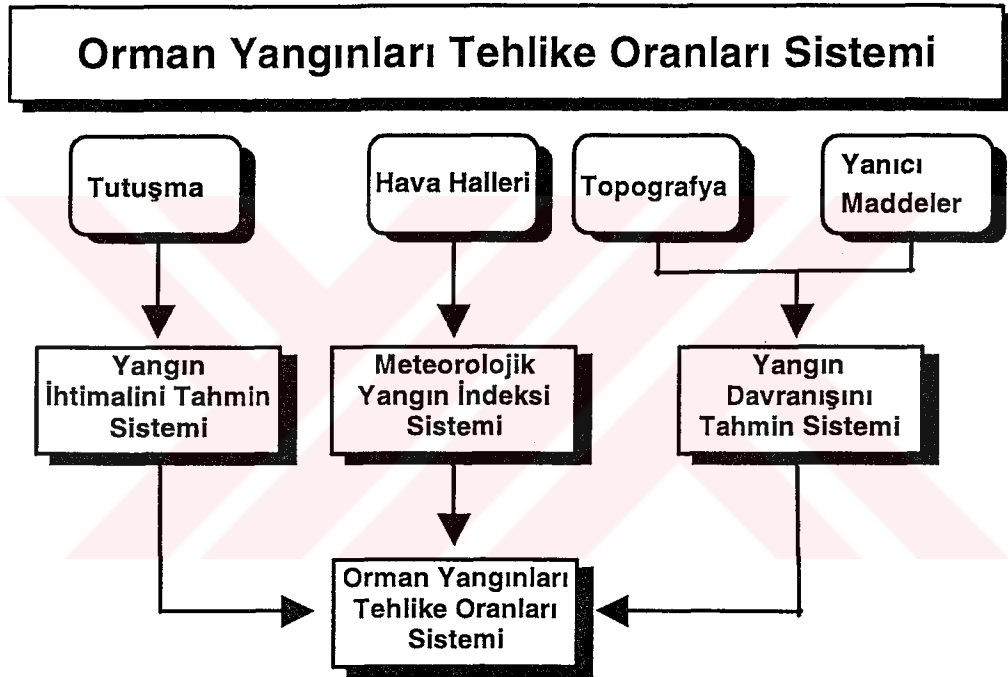
Rusya'da geliştirilmiş çok sayıda yangın tehlike oranları sistemi olmasına rağmen, yaygın olarak basit nispi tutuşma indeksi şeklinde olanı kullanılmaktadır (Nesterov, 1949). Nesterov'un sisteminde esas olarak kar örtüsünün ortadan kalktığı günden başlayarak yerel saatle 09:00'daki günlük buhar basıncı açığının toplanmasına dayanan bir değişiklik Gritsenko (1962) tarafından önerilmiştir. orman yangını tehlike indeksi olarak isimlendirilen bu sistem, oluşturulan bir tablodan sağlanan son dört günlük yağış için doğrulanmış ve sezon için aynı zamanda bir tablodan sağlanan toplanmış buhar basıncı açığına dayanmaktadır. Bu sistemin her zaman etkili bir şekilde kullanılabilmesine dair bir açıklık yoktur.

Angstrom İndeksi olarak bilinen bir İsveç yangın tehlike oranı sistemi İskandinavya'nın bir bölgesindeki beklenen orman yangınının başlaması için bir gösterge olarak kullanılmaktadır. Bu sistem, bütün yangın tehlike oranları içerisinde en basit olanıdır. İndeksler, yağış ve rüzgarın etkilerine önem vermemekte ve bağıl nem, sıcaklık ve yanıcı madde nemi arasındaki ilişkileri doğru bir şekilde yansıtmamaktadır (Chandler vd., 1991).

Görüleceği gibi orman yangınlarının büyük zararlara yol açtığı ülkelerin hemen hepsinde uzun yıllardan beri yangın tehlike oranları kullanılmaktadır. Yukarıdaki açıklamalardan da anlaşılacağı gibi orman yangınlarına duyarlı A.B.D., Kanada ve Avustralya gibi ülkelerde kullanılan YTO sistemleri arasında bazı küçük farklılıklar olmasına rağmen genel olarak aynı değişkenleri (hava halleri, topografya ve yanıcı madde) kullanmaktadırlar. Bunlardan Kanada sisteminin yapısı daha basit olması ve ülkemiz şartlarına daha kolay adapte edilebileceğinden, ülkemize göre düzenlenerek ele alınmıştır.

1.2.1. Orman Yangınları Tehlike Oranları Sisteminin Yapısı

Yangın tehlike oranları sistemi 1900'lü yılların başlarından beri çalışılarak geliştirilmiş ve günümüzde de sürekli yeni ilavelerle geliştirilmeye çalışılmaktadır. Sistemler yapılarında ve formülasyonlarında farklılıklar bulunmasına rağmen genelde üç ana bölümden oluşmaktadır. 1- Meteorolojik Yangın İndeksi (MYİ) Sistemi, 2- Yangın Davranışını Tahmin (YDT) Sistemi ve 3- Yangın İhtimalini Tahmin (YİT) Sistemi (Şekil 1). YİT Sistemi henüz geliştirilme aşamasında olduğundan ayrıca ele alınıp incelenmeyecektir.



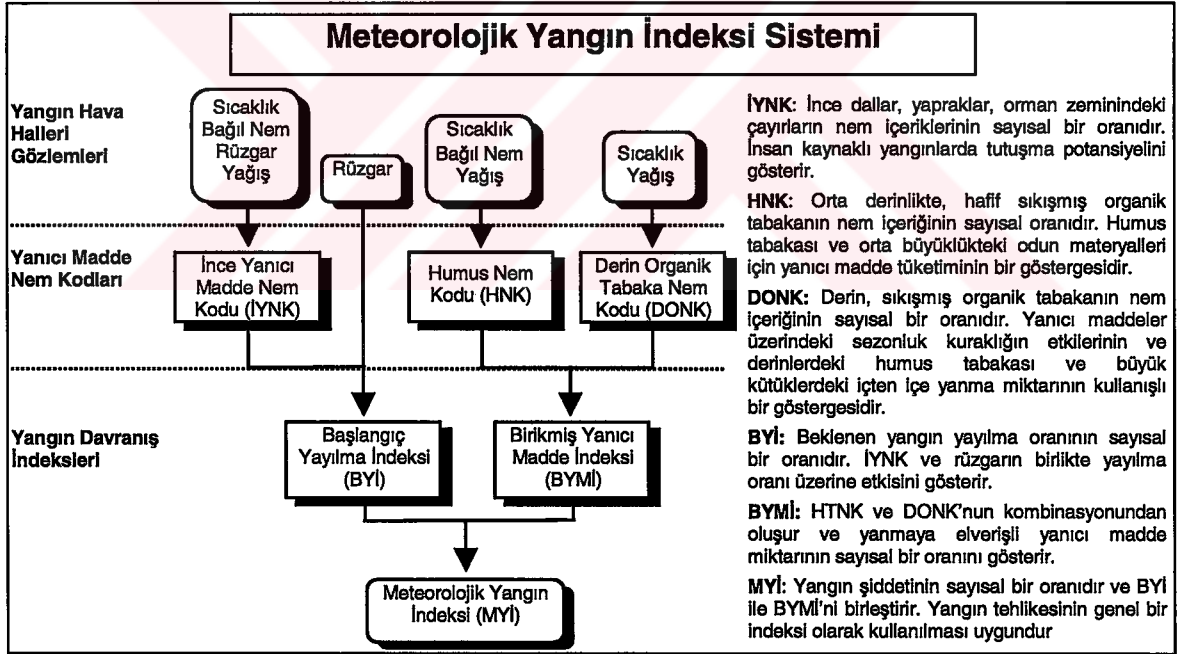
Şekil 1. Orman Yangınları Tehlike Oranları Sisteminin yapısı ve bileşenleri

1.2.1.1. Meteorolojik Yangın İndeksi (MYİ) Sistemi

MYİ sistemi altı bölümden oluşmaktadır. Bu bölümler teker teker veya kolektif olarak, sadece yanıcı madde nemi ve rüzgarın yangın davranışı üzerindeki etkilerini açıklarlar. Bu bölümlerden üçü yanıcı madde nemini temsil eder ve Yanıcı Madde Nem Kodları (YMNK) adını alırlar. Üç standart yanıcı madde modeli üzerine geçmiş ve bu günkü hava hallerinin etki derecelerini anlatır. Potansiyel yangın oluşumu, yangın yayılması, yanıcı madde tüketimi ve yangın şiddeti indekslerinin oluşumunu sağlar. MYİ sistemi, nispi sayısal oran, ölü ve organik tabakanın nem içeriklerinin günlük olarak hesaplanması, uygulamaların yangın sezonu boyunca devam eden bir şekilde yapılması, en

fazla yangının gözlemlendiği zaman için yangın davranışının durumunun tahmini, yanıcı madde nem kodları ve yangın davranışı indekslerinden oluşur.

Toprak üstü yanıcı maddeleri (ölü örtü) derinlik ve yapı itibarıyla değişik kuruma oranlarına sahip olduklarından, bir yıllık ince yanıcı maddelerin oluşturduğu İnce Üst Yanıcı Maddeler Tabakası, ayrışmaya yüz tutmuş Humus Tabakası ve mineral toprak üzerinde bulunan derin katmanlarda sıkışmış Derin Organik Tabaka olarak sınıflandırılırlar. Diğer üç bölüm ise yangın davranışını temsil eder. Bunlar sırasıyla Başlangıç Yayılma İndeksi (BYİ), Birikmiş Yanıcı Madde İndeksi (BYMİ) ve Yangın Şiddeti İndeksi (YŞİ)'dir. MYİ sistemi elemanları sadece sıcaklık, bağıl nem, rüzgar hızı ve son 24 saatlik yağış ölçümlerine bağlıdır. Ölçümler yerel saatle öğle saat 13:00'de yapılır. Bu ölçümlerin nasıl yapılacağını Turner ve Lawson (1978) açıklamıştır. MYİ sistemi sadece meteorolojik verilere dayandığından hava tahmin raporlarından yararlanarak kolayca hesaplanıp yangın tehlike tahminlerinde kullanılabilir (Şekil 2).



Şekil 2. Meteorolojik Yangın İndeksi Sisteminin yapısı ve bileşenleri (Bilgili vd., 2001)

Yukarıda belirtilen yanıcı madde nem kodlarının (YMNK) görevi aslında yağış miktarının muhasebesini yapmaktır. Yani, YMNK bir yağıştan sonra ne kadar yağış miktarının hangi yanıcı madde (ölü örtü) tabakalarında tutulduğunu ve kurumaya bağlı olarak bu tabakalardan ne kadar nem kaybı olduğunu açıklar. Nem indekslerinden her biri

yağışla ıslanma ve yağıştan sonra kuruma olarak iki safhada incelenir. Çünkü, bu yanıcı madde tabakaları birbirlerinden oldukça farklıdırlar. Humus tabakası ve derin organik tabaka yağışlara karşı (ıslanma ve kuruma bakımından) yavaş reaksiyon gösterirler. Öte yandan ince üst tabaka tüm dış faktörlere açık olduğundan reaksiyonu daha hızlıdır. Örneğin, yoğun bir yağıştan sonra iki üç günlük güneşli, kurumaya elverişli bir durum, yüksek bir İnce Yanıcı Madde Nem Kodu (İYNK) meydana getirirken, Humus Nem Kodu (HNK) düşük seviyede kalır. Bunun tersi olarak uzun kurak geçen günlerden sonra, hafif bir yağış İYNK'nu düşürürken diğer nem kodları yüksek kalır.

1.2.1.1.1. Yanıcı Madde Nem Kodları

MYİ sistemi, havanın ormandaki ölü yanıcı maddeler üzerine önceki ve şimdiki etkilerini kullanarak yangın davranışını ve yanıcı madde nem içeriklerini belirler. Üç ayrı yanıcı madde tipi için üç yanıcı madde nem kodu oluşturulmaktadır. Nem kodları, kaybedilen veya kazanılan nemin muhasebesi gibi bir günlük ıslak ve kuru safhaların net etkilerini hesaplar.

1.2.1.1.1.1. İnce Yanıcı Madde Nem Kodu

İYNK içerdikleri ince dallar, yapraklar, orman zeminindeki çayırların nem içeriklerinin sayısal bir oranıdır. Bu yanıcı maddelerin çapları 0.6 cm'den küçük olup, 1-2 cm derinlikte bulunmaktadır. İYNK sıcaklık, rüzgar hızı, bağıl nem ve yağıştan etkilenmektedir. Bununla birlikte, yağışın orman vejetasyonu tarafından tutulması nedeniyle 24 saatlik toplam yağış 0.5 mm veya daha az olması durumunda ince yanıcı maddeler bundan etkilenmemektedirler. Dolayısıyla İYNK'nun etkilenmesi için minimum yağış miktarı 0.6 mm olmalıdır. İYNK hesaplamaları için yangın meteoroloji istasyonlarından alınacak gözlemler yerel saatle 13:00'de yapılmalıdır. Yeni bir hesaplama için ertesi gün beklenmelidir. İYNK'nun hesaplanmasında bir önceki günün değeri alınır, ayrıca o günkü sıcaklık, yağış, rüzgar hızı ve bağıl nem değerleri alınır. Normal hava şartlarında ince yanıcı maddeler nem içeriğinin 2/3'ünü 6 saatte kaybetmektedirler. Sabahleyin bir yağmurdan sonra ince üst tabakanın nem içeriği % 100'dür. Fakat, aradan 6 saat geçtikten sonra ince yanıcı maddeler yanmaya elverişli bir hale gelecektir. Bu durum nem içeriklerinin % 35'lere düşmesi demektir ki, bu insanların neden oldukları yangınlarda tutuşma potansiyeline karar vermede önemli rol oynar. İYNK, ayrıca potansiyel yayılma ve meydana gelen yangının büyümesinde, yangın şiddetinin tespitinde dolaylı rol oynar.

1.2.1.1.1.2. Humus Tabakası Nem Kodu

Humus tabakası nem kodu, 5-10 cm derinlikte bulunan, 0.6-5 cm çapındaki, hafif sıkışmış organik tabakanın nem içeriğinin sayısal oranıdır. Yağışın bir kısmının ince yanıcı maddeler ve orman örtüsü tarafından tutulmasından dolayı humus tabakasının etkilenebileceği 24 saatlik minimum yağış miktarı 1.5 mm'dir. Bu tabakanın ormanın zeminindeki ölü örtünün altında bulunmasından dolayı rüzgar hızı bu tür yanıcı maddelerin nem değişimine etki etmemektedir. Bu tür yanıcı maddeler nem içeriklerinin 2/3'ünü 12 günde kaybetmektedirler. HNK, yangının tutuşması, yanıcı madde yoğunluğunun derecesinin belirlenmesinde kullanılır ve yangın şiddeti indeksinde dolaylı rol oynar. Ayrıca, yangınla mücadele ve soğutma çalışmalarında karşılaşılabilecek zorluğun olduğu kadar, yangının toprağa olan etkisinin de bir göstergesidir.

1.2.1.1.1.3. Derin Organik Tabaka Nem Kodu

Üçüncü nem kodu olan Derin Organik Tabaka Nem Kodu (DONK), 10 cm derinlikten mineral toprağa kadar olan mesafedeki organik tabakadır. Bu tabakayı oluşturan organik materyallerin çapları 5 cm den daha kalındır. Bu tabakanın 24 saatlik yağıştan etkilenebilmesi için yağışın 2.8 mm'den fazla olması gerekmektedir. Bu yanıcı madde tabakasının derinliğinden dolayı bağıl nem ve rüzgar hızının yanıcı madde nemini etkilememesine rağmen sıcaklık ve yağış miktarı yanıcı madde nemini etkilemektedir. Derin organik tabaka yanıcı maddeleri çok düşük kuruma oranlarına sahiptirler. Bu tür yanıcı maddeler nem içeriklerinin 2/3'ünü 52 günde kaybetmektedirler. Potansiyel yanıcı madde tipi yoğunluğunun (organik tabaka derinliği ve ölü yanıcı maddenin genişliği) ve mevsimsel su seviyesi değişimlerinin belirlenmesinde etkindir. Bu tür yanıcı maddeler Türkiye ormanlarında pek görülmemektedir.

1.2.1.1.2. Yangın Davranışı İndeksleri

MYİ sistemi, yanıcı madde nem içeriklerine bağlı olarak yayılma oranı, yangın şiddeti ve yanıcı madde tüketimi gibi yangın davranışı verilerini tahmin eder. Böylece potansiyel yangın davranışını oransal olarak ortaya koymaya çalışır.

1.2.1.1.2.1. Başlangıç Yayılma İndeksi

Başlangıç yayılma indeksi potansiyel yangın davranışının ilk göstergesidir. İnce yanıcı madde nem kodu ve rüzgara bağlı olarak beklenen yangın yayılma oranını sayısal olarak veren bir MYİ indeksidir. BYİ muhtemel bir yangında yangın hızının bir göstergesi olduğundan oldukça önemlidir.

1.2.1.1.2.2. Birikmiş Yanıcı Madde İndeksi

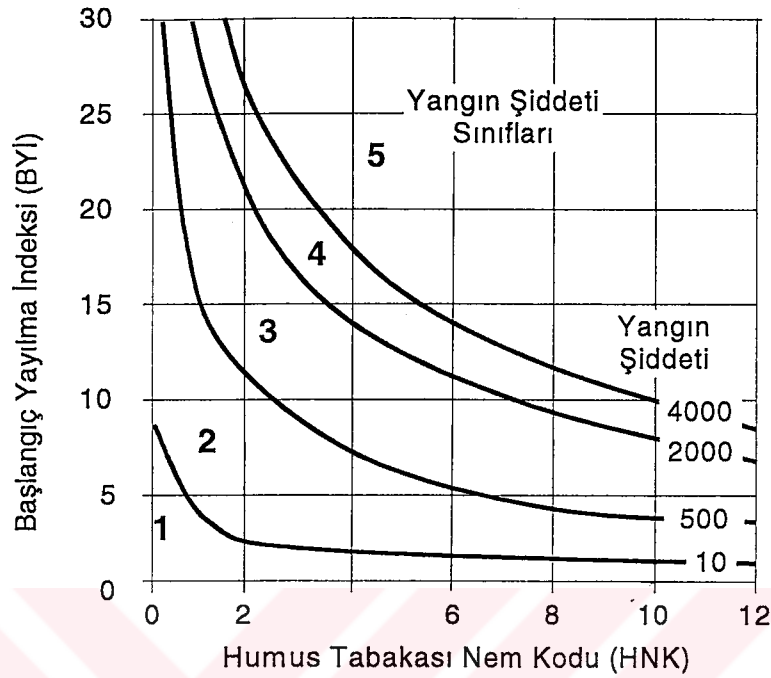
Birikmiş Yanıcı Madde İndeksi, HNK ve DONK'nun kombinasyonundan oluşur ve tutuşmaya elverişli yanıcı maddelerin toplam miktarını belirtir. Toprağa en yakın yanıcı maddelerin nem oranlarının ve buna bağlı olarak yanabilir yanıcı madde miktarının bir göstergesi olması nedeniyle yangının kontrol güçlüğüne bir ifadesidir. Bu nedenle muhtemel bir yangında ilk müdahale planlarının yapılmasında başvurulması gerekli indekslerdendir. Ayrıca, ekolojik olarak yangının toprağa olan etkisinin de bir göstergesi olup, amaçlı yakmalarda kontrol edilmesi gerekli indekslerden birisidir. HNK, BYMİ değeri üzerinde en fazla etkiye sahiptir. Örneğin, DONK ne olursa olsun HNK'nun sıfır olduğu bir yerde BYMİ değeri de sıfır olmaktadır. DONK, HNK yüksek değerde olduğu zaman BYMİ üzerinde güçlü bir etkiye sahiptir.

1.2.1.1.2.3. Meteorolojik Yangın İndeksi (MYİ)

Meteorolojik yangın indeksi, BYİ ve BYMİ'nin bir bileşkesi olup potansiyel yangın şiddetini rölatif olarak ifade eden bir indekstir. MYİ sistemi yangını değişik yönleriyle göz önüne serip, yangın tehlikesi hakkında bilgiler verir. Bu da özellikle idari amaçların belirlenmesinde çok önemli bir yer tutar. Buna rağmen günlük yangın potansiyelini tek bir sayı ile belirtmek oldukça zordur. Yanıcı madde tutuşabilirliği üzerinde geçmiş ve şimdiki hava hallerinin etkisinin tam olarak değerlendirilebilmesi için MYİ sisteminin diğer bileşenlerinin de anlaşılması gerekir. Çünkü, her bir MYİ sistemi elemanı yangın potansiyelinin belirli bir yönü hakkında bilgi verir.

Uygulamada farklı MYİ Sistemi elemanları birbiriyle ilişkiye getirilerek yangın şiddeti sınıfları oluşturulmakta (Şekil 3) ve bu yangın şiddeti sınıflarına göre yangınla mücadele çalışmalarında gerekli strateji ve taktikler (Tablo 1) belirlenebilmektedir (Bilgili, 1999). MYİ dereceleri tüm ülke çapında aynıdır ve standart bir yanıcı madde tipini (örneğin: Kızılçam) temsil eder. Ancak değişik bölgelerde hava hallerinin büyük ölçüde

değişiklik göstermesi, bu bölgeler için hazırlanan yangın tehlike oranları değerlerinin de farklı olmasını gerektirmektedir.



Şekil 3. MYİ Sistemi elemanlarından BYİ ve HNK'na bağlı olarak oluşturulmuş yangın şiddeti sınıfları (Bilgili, 1999)

Tablo 1. Yangın şiddeti sınıflarına göre belirlenmiş yangın tipi ve yangınlarla mücadele zorluğu durumları

Yangın Şiddeti Sınıfı	Yangın Şiddeti (kW/m)	Yangın Tipi ve Mücadele Zorluğu
1	<10	Yangının kendi başına devam etmesi zor.
2	10 - 500	Yavaş ilerleyen düşük şiddetli örtü yangını. Baş ve yanlardan yangına doğrudan müdahale mümkün. Açılan şeritler yangının kontrol altına alınmasında yeterli olabilir.
3	500 - 2000	Orta ve yüksek şiddetli örtü yangını. El aletleriyle yapılmış şeritlerin yangını tutması zor olabilir. Bu gibi yangınlarda dozer gibi ağır makinelerle uçak ve helikopterler önemlidir.
4	2000 - 4000	Yüksek şiddetli örtü yangını. Yangının baş kısmında yapılacak uğraşlar başarılı olamayabilir.
5	>4000	Orta derecede ve sonrasında aktif tepe yangını. Kontrol altına alınması çok zor. Çalışmalar yanlara kaydırılmalı ve dolaylı müdahale düşünülmeli.

Tespit edilecek idari amaçlar bakımından ele alındığında, MYİ sistemi çok büyük bir öneme sahiptir. Uzun yıllardan beri elde edilen verilerin analizleri, yangın çıkma

ihtimali ve yanan alan ile Yangın Şiddeti İndeksi (YŞİ) arasında çok kuvvetli bir ilişkinin olduğunu ortaya koymuştur (Turner, 1973; Stocks, 1974; Kill vd., 1977). Öte yandan MYİ sistemi sadece standart bir yanıcı madde tipindeki yangın davranışı hakkında genel bir bilgi vermektedir. Bu durumda diğer yanıcı madde tiplerinde yangın davranışının nasıl olacağı problem olarak ortaya çıkmaktadır. Bu problem ise, YTO Sisteminin ana elemanlarından biri olan Yangın Davranışını Tahmin (YDT) Sistemi ile çözüme kavuşturulmaya çalışılmaktadır (Lawson vd., 1985).

1.2.1.2. Yangın Davranışını Tahmin Sistemi

MYİ Sisteminin özel yanıcı madde komplekslerine genişletilmesi olan YDT sistemi kontrollü ve kontrolsüz yangınlar için bir rehber durumundadır. YDT sistemi her ülkenin yanıcı madde tiplerine göre geliştirilmiş yangın davranış modellerinden oluşur. Bu modellerin çalışabilmesi için hava halleriyle birlikte topografya ve yanıcı madde özelliklerinin de bilinmesi gerekmektedir. Hava halleriyle ilgili veriler MYİ sisteminden alınır. Yanıcı madde özellikleri, yanıcı madde tipleri olarak belirlenmiş ve değişik ülkelerde değişik sayıda olan yanıcı madde modelleri aracılığıyla hesaplamalara katılır. Bu modellerde yanıcı madde tipleri daha ziyade nitelik olarak açıklanır. Meşcere yapısı ve kompozisyonu, ölü ve diri örtü durumu, yanıcı madde tiplerinde kullanılan kriterlerin başlıcalarıdır.

Sonuç olarak her hangi bir yerde çıkabilecek bir yangının mevcut hava halleri, topografya ve yanıcı madde özelliklerinde nasıl bir davranış sergileyeceği kantitatif olarak ortaya konulur. Elde edilen değerler MYİ sisteminde elde edilen değerlerin aksine sayısal değerlerdir.

Aynı yanıcı madde ve topografik şartları taşıdığı kabul edilen iki farklı yangında MYİ sisteminin bir bileşeni olan BYİ ve YDT sisteminin bir bileşeni olan yayılma oranında değişiklikler olsun. Bu değişiklikler, BYİ dikkate alındığında ancak oransal olarak değerlendirilebilirken, YO dikkate alındığında değişikliğin kaç m/dk olduğu sayısal olarak açık bir şekilde ortaya koyulabilmektedir. Yani, MYİ sistemi genel ve nispi bilgiler verirken, YDT sistemi özel ve gerçek durumu ifade eden sayısal bilgiler vermektedir (Hirsch, 1996).

Yapı olarak YDT Sistemi dört ana tahminde bulunur. Bunlar; yayılma oranı (m/dk), yanıcı madde tüketimi (kg/m^2), yangın şiddeti (kW/m) ve yangın türü (örtü, tepe)'dür.

Bunlarla birlikte, arka ve yan yangın yayılma oranı ve uzaklığı (m/dk ve m), yanan alan (ha) ve yangının çevre uzunluğu (km veya m) gibi değerler de sonuç olarak elde edilebilir.

1.2.1.3. Yangın Davranışında Etkili Olan Faktörler

Yangın davranışının doğru ve sağlıklı bir şekilde tahmin edilebilmesi için, yangın davranışı üzerine etkili olan faktörler çok iyi bilinmelidir. Burada yangın davranışı üzerinde etkili olan faktörlerden yanıcı madde özellikleri, hava halleri ve topografya ele alınıp incelenecektir.

1.2.1.3.1. Yanıcı Madde Özellikleri

Yanıcı maddeler, toprakta, toprak üstünde ve daha yüksekte bulunabilen ve tutuşup yanabilen, yanmaya veya tutuşmaya eğilimli herhangi bir madde ya da karışım olarak tanımlanmıştır (Robertson, 1971). Yanıcı maddeler yangının başlamasına ve yayılmasına zemin teşkil ederler. Bu sebeple, yanıcı madde özelliklerinin yangın davranışı açısından ne anlama geldiğinin bilinmesi, yapılacak yangın öncesi planlamalarda ve yangınla mücadele çalışmalarında büyük önem arz etmektedir (Bilgili, 1998). Genel olarak yangın davranışına etki eden yanıcı madde (YM) özellikleri yanıcı maddenin boyutu, düzeni ve sürekliliği, miktarı, nemi, tipi ve arazi üzerindeki dağılımı ile meşcere yapısı ve özellikleridir.

1.2.1.3.2. Hava Halleri

Orman yangınlarıyla hava halleri arasındaki ilişkiler konuyla ilgilenen insanların sürekli ilgisini çekmiştir. Bununla ilgili olarak öncelikle yanmaya elverişli yanıcı madde miktarı ve bu yanıcı maddelerin nem içeriklerinin önemi üzerinde durulmuştur. İklimin bu iki özellik üzerindeki etkileri araştırılmıştır. İklimin uzun vadede, ormanların kuruluşunu ve büyümesini, dolayısıyla yanıcı madde miktarını kontrol ettiği, kısa vadede ise, yanıcı maddelerdeki nem miktarını, dolayısıyla yanıcı maddelerin tutuşma ve yanma kabiliyetini belirlediği ortaya konulmuştur. Daha sonra, hava hallerinin yangının davranışı üzerinde de etkili olduğu tespit edilmiş ve bu konuda araştırmalar genişletilmiştir (Chandler vd., 1991).

Bütün bu araştırmaların sonucunda orman yangınları üzerinde en fazla etkili olan hava elemanlarının yağış, rüzgar, bağıl nem ve sıcaklık olduğu ortaya çıkmıştır (Byers, 1944; Gisborne, 1941; Defant, 1951; Byram, 1954; Schroeder, Buck, 1970; Fischer, Hardy, 1976; Williams, 1963; Countryman, 1971; Ryan, 1977).

1.2.1.3.3. Topografya

Topografya, orman yangınları üzerinde etkili olan sabit faktörlerden biridir. Arazi şekillerindeki değişiklikler, orman yangınlarının davranışını önemli ölçüde etkilemektedir. Bu değişiklikler hem yanıcı maddeler üzerinde hem de hava şartları üzerinde belirleyici etkiye sahiptir. Bu nedenle yangın davranışının iyi bir şekilde tahmin edilebilmesi için topografik özelliklerin yangın davranışı üzerindeki etkilerinin çok iyi bilinmesi gerekir. Bunlar eğim, baki, yükselti ve arazi şekli olup aşağıda açıklanmıştır.

1.2.2. Yangın Tehlike Oranları Sisteminin Uygulamaları

Orman yangınları tehlike oranları sistemi orman yangınlarına hassas Kanada, A.B.D., Avustralya gibi bir çok ülkede geliştirilmiş ve uygulanmaktadır. Bunun yanında Yeni Zelanda, Fiji, Çin, Şili, Rusya gibi ülkelerde, mevcut sistemler kendi şartlarına uygulanarak gerekli değişiklik ve ilaveler yapılarak kullanılmaya başlanmıştır. Tehlike oranları sistemi yangın amenajmanı çalışmalarında kullanılırken işletmelerin istekleri, yangın probleminin durumu, işletme arazisinin yapısı, yanıcı madde tipleri, mevcut kaynaklar ve bütçe imkanları dikkate alınmaktadır.

1.2.2.1. Yangın Tehlike Oranları Sisteminden Yararlanılan Alanlar

Yangın tehlike oranları sistemi bir bölgede gelecek günlerdeki yangın potansiyelinin belirlenmesinin yanında bir çok kullanım alanına sahiptir. Aşağıda bu alanlarla ilgili kısa bilgiler verilmektedir.

Yangın Davranışı İle İlgili Eğitim: Orman yangınlarıyla mücadele organizasyonu mevcut şartlar altında çıkacak bir yangının nasıl bir davranış göstereceğini önceden tahmin etmek ister. Yangın tehlike oranları sistemi tanımlanmış belirli yanıcı madde tiplerinde meydana gelecek yangınların davranışlarını sayısal olarak ortaya koyar. Böylece çıkabilecek bir yangının farklı hava hallerinde ne tür davranışlar sergileyebileceği ortaya konularak yangın organizasyonunda görev alacak elemanlar eğitilerek alternatif planların hazırlanmasına çalışılır.

Koruma Önlemlerinin Planlanması: Yangın tehlike oranları gelecek 24 saat içindeki yangın çıkma potansiyelini tahmin ettiğinden yöre halkı ile ilgili kişi ve kuruluşlar uyarılarak daha dikkatli olunması ve gerekli önlemlerin alınması sağlanır. Bunun yanında yangın tehlikesinin yüksek olduğu orman alanlarında ormancılık faaliyetleri de durdurulur.

Aynı zamanda ormanda avlanma, kamp ateşi ve anız yakmak yasaklanır. Bazen çok tehlikeli durumlarda orman alanlarına giriş çıkışlar kontrol altına alınır veya yasaklanır.

Yangına Karşı Hazırlıklı Olma Planlarının Yapılması: Yangın tehlike oranları sisteminden yanıcı madde tiplerine göre sağlanan yayılma oranı, yangın şiddeti ve yanıcı madde tüketimi gibi yangın davranış verilerine bağlı olarak eldeki mevcut kaynakların planlanması yapılır. Buna göre yangına en kısa sürede ulaşmak için ilk müdahale ekiplerinin yeri planlanır. Mevcut yanıcı madde tiplerinin dağılımları ve yangın davranışları dikkate alınarak söndürme araç ve gereçleri en uygun yerlerde konuşlandırılır.

Yangın Gözetleme Faaliyetlerinin Planlanması: Yangınların gözetlenmesi için yangına hassas alanlarda gözetleme kuleleri planlanmıştır. Yangın gözetleme kulelerinde orman yangınlarının en fazla gözlemlendiği dönemlerde (Mayıs-Ekim) görevliler bulundurulmakta, yangın sezonunun dışında kulübeler kapalı tutulmaktadır. Yangın tehlike oranları sistemi yangın gözetleme kulübelerinin açık kalacağı yangın sezonunun belirlenmesinde kullanılmaktadır. Ayrıca, yangın tehlikesinin çok yüksek olduğu günlerde, özellikle yanıcı madde özellikleri açısından büyük önem arzeden tehlikeli alanlar üzerinde uçak veya helikopterler ile gözetleme uçuşları planlanmaktadır. Gözetleme uçuşlarının zamanı ve yerinin tespit edilmesinde yine yangın tehlike oranlarından faydalanılır.

Yangına İlk Müdahalenin Planlanması: Çıkan bir yangına yapılacak ilk müdahale çok önemlidir. Yerinde, zamanında ve uygun kaynaklarla yapılacak ilk müdahale ile yangının söndürülmesi veya kontrol altına alınması mümkündür. Yangın çıkmış alanla ilgili gerekli yangın davranışı bilgileri elde edilebilirse daha sağlıklı bir ilk müdahale ekibi oluşturulabilir. Yangın tehlike oranları gerekli yangın davranışı bilgilerini sağlayarak en uygun ilk müdahale şeklinin belirlenmesine yardımcı olur. Böylece hem gereksiz kaynak kullanımının önüne geçilmiş olur hem de tehlikeli olabilecek yangınlara karşı yetersiz ilk müdahalelerden kaçınılmış olur.

Yangın Söndürme Çalışmalarının Planlanması: Gelişmiş veya gelişmekte olan bir yangının söndürülebilmesi veya kontrol altına alınabilmesi için gerekli taktik ve stratejilerin belirlenmesi aşamasında alanın yanıcı madde özelliklerinin ve yangın davranışı bilgilerinin elde edilebilmesi son derece önemlidir. Yangın tehlike oranlarının yanıcı madde özelliklerine göre sağlamış olduğu yayılma oranı, yangın şiddeti ve yanıcı madde tüketimi gibi yangın davranış verileri, müdahalede hangi tür araç ve gereçlerin

kullanılacağıının, yangın müdahale hattının nerede açılacağıının ve gerektiğinde karşı ateş uygulama yerlerinin belirlenmesine yardımcı olmaktadır.

Kontrollü ve Amaçlı Yakmaların Planlanması: Yangından çeşitli amaçlar için faydalanılmaktadır. Bunun için kontrollü ve amaçlı yakmalar yapılmaktadır. Amaçlı yakmalar her ne kadar yangın tehlikesinin olmadığı günlerde yapılıyor olsa da hem yakılan alandaki hem de komşu alanlardaki yanıcı madde özelliklerinin bilinmesinde fayda vardır. Kontrollü yakma çalışmaları ise tehlikeli yanma koşullarında yapılmaktadır. Dolayısıyla, yakmanın yapılacağı güne ait yangın potansiyelinin bilinmesi gerekmektedir. Eğer yangın tehlikesi çok yüksek ise yakmanın iptal edilmesi bile düşünülmelidir. Kontrollü yakma yapılacak alan ve çevresinin yangın davranışı özellikleri çok iyi bilinmeli ve tedbirler ona göre alınmalıdır. Yangın tehlike oranları yanma şartları ve belirli yanıcı madde tiplerinde yangın davranışı hakkında bilgi vererek kontrollü yakma çalışmalarının yürütülmesinde faydalı olmaktadır.

Yangın Zarar Tespitlerinin Yapılması: Orman yangınlarının neden olduğu zarar yangının şiddetiyle yakından ilişkilidir. Genelde yangınlardan sonra zararın, özellikle ölen ağaçların miktarı (veya yüzdesi), genç çam meşcerelerinde zarar gören iğne yaprak yüzdesi gibi hususların gelecek vejetasyon mevsimine kadar tespiti veya tahmini çok zordur. Fakat, yangın esnasındaki yanma koşulları, yangının şiddeti ve sıcaklığına ait özel bilgiler elde edilebilirse, yangın kontrol altına alındıktan hemen sonra oldukça güvenilir tahminler yapmak mümkün olur (Davis, 1973; Forestry Canada, 1992; Çanakçıoğlu, 1993).

Şimdiye kadar elde edilen uygulama sonuçları sistemin hem kontrollü yakma ve hem de yangın davranışı tahminleri bakımından (Stocks, Flannigan, 1987) oldukça başarılı olduğu kanaatini uyandırmaktadır.

1.2.2.2. Yangın Tehlike Oranları Sistemi Uygulamalarında Coğrafi Bilgi Sistemlerinin (CBS) Kullanılması

Geleceğe dönük yangın potansiyelini belirlemek için geliştirilen Yangın Tehlike Oranları Sistemleri hava halleri, yanıcı madde ve topografik yapıya bağlı olarak yangın davranış bilgilerini sağlayarak, yangın organizasyonuna karar verme aşamasında yardımcı olmaktadır. Ancak, YTO Sisteminin etkin bir şekilde çalışabilmesi için gerekli bilgilerin güncel, doğru ve kullanılabilir bir formda olması gerekir. Bugün varolan orman envanterleri, farklı birimlerin isteği doğrultusunda hazırlanmış ve çok değişik formlardadır.

Dolayısıyla, özel amaçlar için ihtiyaç duyulan bilgilerin farklı birimlerden derlenip hazır hale getirilmesi ve kullanılabilir bir forma dönüştürülmesi çok zaman almaktadır. Bunun için, farklı bilgileri depolayabilen ve bilgilerin kaydedilmesini, analiz edilmesini ve istenilen formda sonuç raporlarının alınabilmesini sağlayan sistemlere ihtiyaç vardır (Bilgili, 1999). Günümüzde bir çok uygulama alanına sahip olan CBS bu konuda önemli katkılar sağlayabilir. Coğrafi bilgi sisteminin en önemli özelliklerinden biri, planlama, yönetim ve karar vermede önemli bir yardımcı araç olmasıdır. Bu özellik, onun konumsal sorgulama ve analiz yeteneğinden kaynaklanmaktadır. CBS kullanılarak basit ve karmaşık bir çok sorgulama ve klasik olarak gerçekleştirilmesi mümkün olmayan coğrafi analizler gerçekleştirilebilmektedir (Bilgili vd., 2001).

CBS gibi Karar Destek Sistemleri (KDS)'nden yararlanmayan yangın organizasyonlarının başarısının sınırlı ve pahalı olacağı açık bir gerçektir. Bunun bilincine varmış olan Kanada, A.B.D. ve Avustralya gibi ülkelerde bu sistemler geliştirilmiş ve ülke çapında uygulamaya konulmuştur. Ülkemizde de bu gibi sistemlerin uygulanmasıyla orman yangınlarıyla daha etkin ve ekonomik bir şekilde mücadele edilmesi ve aynı zamanda yangının bir amenajman aracı olarak kullanılması mümkün olacaktır (Bilgili, 1995a).

Esasında konumsal veri tabanı işletim sistemi olan CBS, teknik işlevleri itibariyle konuma dayalı her türlü kararların alınmasında etkili olan konumsal verileri (grafik/harita ve öznitelik/tablo) toplamak, saklamak, sorgulamak, analiz etmek, modellemek ve değerlendirmek için etkili bir karar destek aracıdır (Başkent, 1997). CBS'nin çok basit haritaların sayısal olarak hazırlanmasından karmaşık analiz ve modellerin oluşturulmasına kadar tüm aşamalarda kullanımı, karar vericilere hizmet eder. Bu önemli faydalarının temeli öznitelik verilerle grafik veri tabanında birbirlerini mükemmel bir şekilde entegre etmesine dayanmaktadır. Bu önemli özelliğinden dolayı diğer çevre bilimlerinde olduğu gibi, yangın veri tabanının oluşturulması ve kullanılması YTO Sisteminde de önemli bir teknolojik araç olarak karşımıza çıkmaktadır (Bilgili vd., 2001).

Coğrafi bilgi sistemlerine dayalı olarak oluşturulacak Orman Yangını Bilgi Sistemi (OYBS) veri tabanı, verilerin sürekli güncelleştirilmesiyle en son bilgilere sahip olacaktır. Yangın yöneticileri CBS'ni kullanarak, veri tabanında bulunan her tür bilgiye anında ulaşabilecekler ve sorumluluk alanlarıyla ilgili daha etkin ve sağlıklı planlamalar yapabileceklerdir. Yangın tehlike oranları sistemi ile CBS kullanılarak, hava halleri ve

yanıcı madde özelliklerine göre yangın potansiyeli ve yangın davranışı tahminleri daha hızlı ve daha doğru bir şekilde yapılabilmektedir. CBS kullanılarak orman yangını yayılma oranı haritalanması yapılabilmektedir. Yangın yayılma oranının tespit edilmesinde kullanılan yarıcı madde tipine ait bilgiler OYBS veri tabanından elde edilirken hava hallerine ait veriler en yakın meteoroloji istasyonlarından alınmaktadır. Çıkan bir yangında yayılma oranı, yarıcı madde özellikleri, yollar, emniyet yol ve şeritleri, su kaynakları ve yangın ekipleri gibi bir çok bilgi aynı anda elde edilebildiğinden, en uygun söndürme taktik ve stratejilerinin tespiti yapılarak, yangınlara en kısa sürede ve en etkili bir şekilde müdahale edilebilmektedir. Böylece, CBS sayesinde kaynakların etkin kullanılmasıyla hem masraflar en aza indirilmekte hem de yangınların büyümeden söndürülmesi mümkün olmaktadır.

Bunların yanında CBS, orman yangınlarıyla ilgili yangın öncesi planlama, yarıcı madde amenajmanı ve koruma alanlarında da etkili bir şekilde kullanılabilir. Şöyleki;

Yangın Öncesi Planlama: Yangın çıkmadan önce, herhangi bir yere ulaşma zamanı ve alternatif yolların bilinmesi yapılacak analizler için önemlidir. CBS ile belli bir yere ulaşmak için kullanılacak en kısa yol güzergahı ve alternatif yollar kolaylıkla belirlenebilmektedir. Ayrıca yangın gözetleme kuleleri, su havuzları, yangın ekipleri ile araç ve gereçlerin en uygun yerlerde konuşlandırılması CBS ile rahatlıkla yapılarak haritalar üzerinde kolaylıkla gösterilebilir.

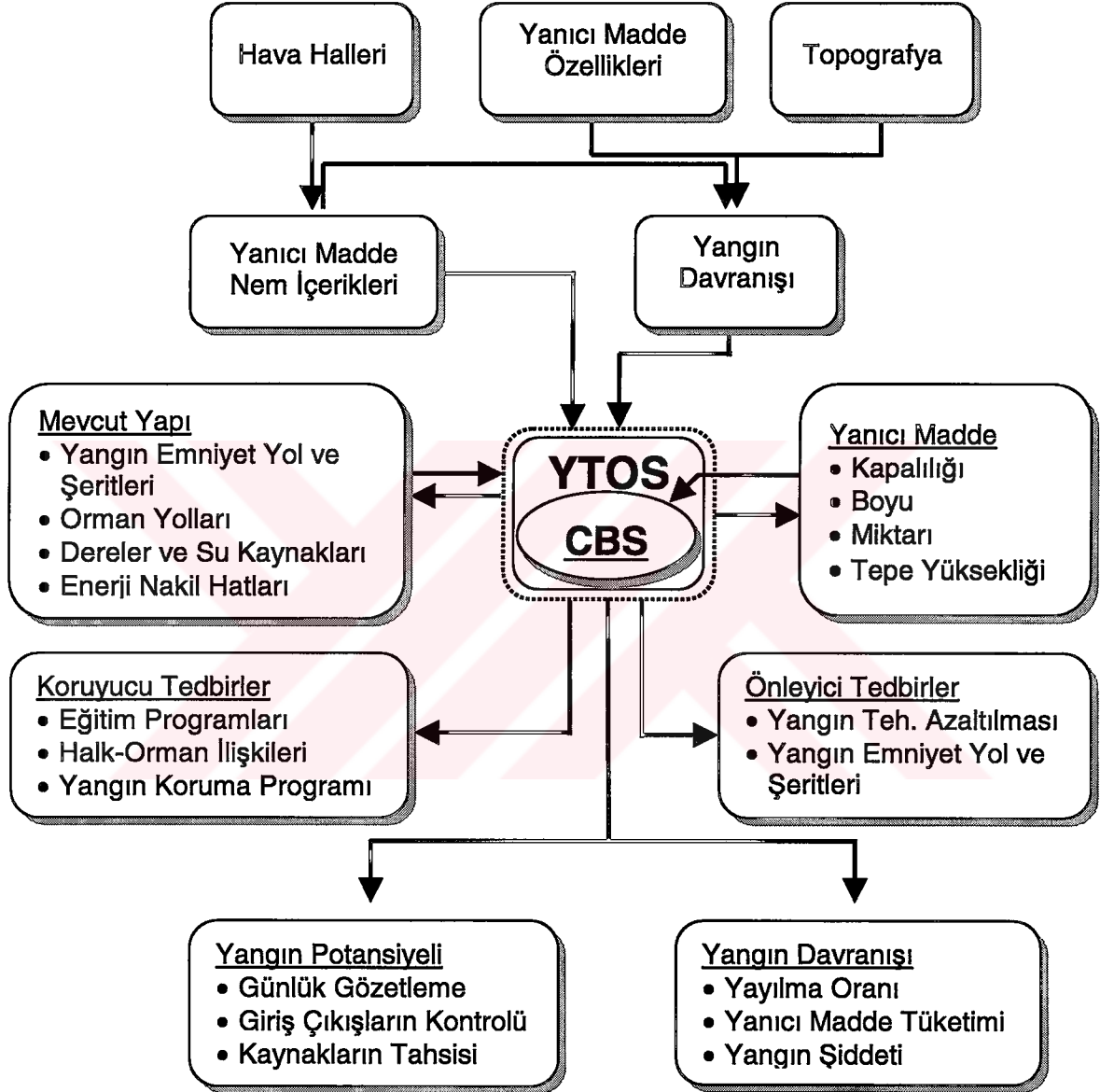
Yarıcı Madde Amenajmanı: Yangın tehlikesinin azaltılmasında kontrollü yakma programlarının önemli bir etkisi vardır. CBS, karar vericilerin kontrollü yakma çalışması yapılacak alanla ilgili ihtiyaç duyacağı her türlü verinin hızlı ve kullanılabilir formda elde edilmesi için kullanılabilir. Böylece, yangın yöneticileri CBS teknolojisi ile bölgenin sorunlarını, yangın potansiyelini, yarıcı madde özelliklerini, büyüklüğünü, yanma şartlarını, kontrollü yangının önceliğini belirleyerek etkili bir uygulama gerçekleştirirler.

Koruma: Yangın tehlikesi yüksek alanlar CBS ile çok kısa bir sürede belirlenerek yangın yöneticilerinin gerekli koruma önlemlerini zamanında ve etkili bir şekilde almaları sağlanabilir.

1.2.3. Yapılan Çalışmanın Kavramsal Çerçevesi

Bu çalışmada, yangın yöneticilerinin ihtiyaçlarına büyük oranda cevap veren YTO sisteminin etkin bir şekilde kullanılabilmesi için CBS teknolojisi ile güçlendirilmiştir. Bunun için geniş kapsamlı kavramsal bir çerçeve oluşturulmuştur (Şekil 4). Temelinde CBS ile güçlendirilmiş YTO sistemi bulunan bu çerçevede; hava halleri, yanıcı madde özellikleri ve topografyaya bağlı olarak belirlenen, yanıcı madde nem içerikleri ve yangın davranışı bilgilerinin yanında, mevcut yapısı ve yanıcı madde özelliklerine ait bilgiler CBS teknolojisine girilerek veri tabanı oluşturulmuştur.

YTO ile elde edilen bilgilerle aynı anda çeşitli konumsal bilgiye (grafik ve öznitelik) çok kısa sürede ulaşılarak istenilen şekilde birbirleriyle sorgulama ve analizleri yapılmıştır. Burada elde edilen sonuçlar görsel olarak kullanılarak yangın öncesi koruyucu ve önleyici tedbirlerin yanında, yangın potansiyeli ve yangın davranış özelliklerinin belirlenmesiyle yangın organizasyonunun yangınla mücadele çalışmalarında ihtiyaç duyduğu bilgiler ortaya konulmuştur.



Şekil 4. Yapılan çalışmanın kavramsal çerçevesi

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR, BULGULAR VE TARTIŞMA

2.1. Yanıcı Madde Nem İçeriklerinin Belirlenmesi

Yanıcı madde nemi özellikle yangınların çıkmasında etkili olan bir faktördür. Yanıcı maddeler, nem içerikleri %35'lerin altında düşmedikçe, bir başka ifadeyle kurumadıkları müddetçe yanmazlar. Nem içerikleri yüksek olan yanıcı maddeler kurumak için uzun süreye ihtiyaç duyarlar, bu da yangınların başlamasını ve ilerlemesini yavaşlatan bir faktördür. Orman yanıcı maddelerinin tutuşabilirliği büyük oranda nem içeriği tarafından etkilenmektedir (Schroeder, Buck, 1970; Countryman, 1974; Montgomery, Cheo, 1971; Olsen, 1960; Trabaud, 1976).

Orman yangınları ilk olarak ormanın zemininde bulunan ölü örtü tabakasında başlar ve duruma göre gelişerek diğer yanıcı maddelerde 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 ıslanma ve kuruma oranlarına sahiptirler. Hava hallerine bağlı olarak süratle kuruyan ibreler yanmaya elverişli bir örtü tabakası oluşturmaktadırlar. 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. Özellikle tepe yangınlarında canlı yaprakların nem içerikleri yangın davranışı üzerinde etkili olmakta, nem içeriği düşük yapraklar yayılma oranı ve yangın şiddetini artırmaktadır.

Orman yangınlarının etkili olduğu geniş alanlarda yanıcı madde nem içeriklerinin doğrudan ölçülmesi hem çok zor hem de çok zaman ve para gerektirmektedir. Çok hızlı

kararların alınması gereken orman yangınlarında yanıcı madde nem içeriklerinin kolay, doğru ve hızlı bir şekilde tahmin edilmesi yangın davranış modelleri ve yangın tehlike oranları sistemi için son derece önemlidir (Pook, 1993).

Hava hallerinin veya yanıcı maddelerin yangın davranışına olan etkilerinin belirlenmesi için günümüze kadar bir çok araştırma yapılmıştır. Bir taraftan, yanıcı madde birikimi (Heinselman, 1973; Romme, Knight, 1981; Lotan vd., 1985), yanıcı maddelerin kimyasal özellikleri (Mutch, 1970), tepe çatısı ve alt tabaka yanıcı madde yapısı (Despain and Sellers 1977) ve yanıcı madde toplumlarının gelişimi veya büyümesi (Habeck, Mutch, 1973; Agee, Huff, 1987; Clark, 1988; Despain, 1990) çoğunlukla yangın davranışının belirlenmesinde esas faktör olarak düşünülmüştür. Diğer taraftan, bazı bilim adamları tarafından da hava hallerindeki değişimler yangın davranışının belirlenmesinde esas olarak kabul edilmektedir (Schroder vd., 1964; Anderson, 1968; Finklin, 1973; Newark, 1975; Alexander vd., 1983; Harrington vd., 1983; Street, 1985; Flannigan, Harrington, 1986; Stock, Flannigan, 1987; Harrington, Flannigan, 1987; Fryer, Johnson, 1988; Swetnam, Betancourt, 1990; Johnson, Larsen, 1991; Johnson, Wowchuck, 1993; Swetnam, 1993).

Hava halleri, her şeyden önce yanıcı madde nem içeriğini değiştirdiğinden yangın davranışı üzerinde etkili olmaktadır. Yanıcı madde nem içeriklerinin tahmin edilmesi için çoğunlukla deneysel çalışmalara dayanan bir çok model geliştirilmiştir. Bunlardan Avustralya'da okaliptüs (McArthur, 1962; McArthur, 1967; Sneeuwjagt, Peet, 1985) ve çayır yanıcı maddelerde (McArthur, 1960; McArthur, 1966; McArthur, 1977; Noble vd., 1980) ince ölü yanıcı madde nemini tahmin etmek için sadece sıcaklık ve bağıl nem değerlerine ihtiyaç duyan deneysel modeller geliştirilmiştir. Kanada'da standart bir yanıcı madde tipinde ince ölü yanıcı madde nem içeriğini tahmin etmek için sıcaklık, bağıl nem, rüzgar hızı ve yağış miktarını kullanan modeller geliştirilmiştir (VanWagner, Pickett, 1985; Van Wagner, 1987). Ayrıca, her bir meşcere için ot, çalı ve ölü odun nem içeriğinin tahmin edilmesi için eşitlikler geliştirilmiştir (Bradshaw vd., 1984). Likenlerin nem içeriklerinin tahmin edilmesi için ise Pech (1989) tarafından eşitlikler geliştirilmiştir. Amerika'da ise ölü yanıcı madde nem içerikleri asıl olarak sıcaklık ve bağıl neme bağlı olmakla birlikte yükselti, eğim, bakı gibi bir takım çevresel değişkenler de kullanılarak hesaplanmaktadır (Rothermel, 1983). Amerikan sisteminde ölü yanıcı madde nem içeriklerinin belirlenmesinde otsu ve odunsu vejetasyon ile sürgün ve dal gibi yanıcı maddeler dikkate alınmaktadır.

Görüleceği gibi, yanıcı madde nem içerikleri genelde standart bir yanıcı madde tipinde, sıcaklık, bağıl nem, rüzgar hızı ve yağış miktarı gibi hava halleri verilerinin hepsi veya bir kaçına bağlı olarak tahmin edilmektedir. Yanıcı madde nem içeriğinin tahmin edilmesinde kullanılacak modeller, geniş alanlarda yayılış gösteren ve yangınlar açısından tehlike oluşturan ormanları ve yanıcı madde özelliklerini çok iyi temsil etmelidir. Yanıcı madde nemi tahminlerinin hızlı ve her şeyden önemlisi doğru bir şekilde yapılabilmesi gerekmektedir. Bunun için geliştirilecek modeller, çevre şartları ve yanıcı madde özellikleri benzer olan diğer alanlarda rahatlıkla uygulanabilir olmalıdır.

Ülkemizde yanıcı madde nem içeriklerini tahmin etmek için bu güne kadar bir çalışma yapılmamıştır. Bu çalışmayla, yapı ve kompozisyon olarak değişik kuruma faktörleri tarafından etkilenen, yangınların ilk olarak meydana geldiği ince ölü yanıcı maddeler ve humus tabakası nem içeriklerindeki değişimler araştırılmıştır. Yangınların en fazla meydana geldiği ve geniş bir yayılış alanına sahip kızılçam ve karaçam ormanlarını yangınlar için standart bir yanıcı madde tipi olarak kabul etmek mümkündür. Çalışma, değişik iklim özelliklerinin yanıcı madde nem içerikleri üzerindeki etkilerini ortaya koymak için bu tür orman alanlarının bulunduğu değişik bölgelerde yürütülmüştür. Sonuçta, standart bir yanıcı madde tipinde yangın potansiyelini ortaya koymaya yönelik olarak hava halleriyle yanıcı madde nem içerikleri arasındaki ilişkiler ortaya konularak, benzer alanlarda ölü yanıcı madde nem içeriklerinin tahmin edilmesinde kullanılmak üzere istatistiki modeller geliştirilmiştir.

2.1.1. Materyal ve Metot

Bu çalışma, ülkemizde geniş bir yayılış alanına sahip olan ve orman yangınlarının çok büyük bir kısmının meydana geldiği kızılçam ve karaçam ormanlarında yürütülmüştür. Çalışma için belirlenen meşcerelerin aynı yaşlı, normal kapalılığa ulaşmış ve ağaç tepelerinin belli yüksekliğe ulaşmış olmasına dikkat edilmiştir. Böyle meşcerelerin belirlendiği İzmir, Kastamonu ve Trabzon Orman Bölge Müdürlüğü ormanlarında örnekleme alanları alınmıştır.

Araştırmada sıcaklık, yağış miktarı, bağıl nem oranı, rüzgar hızı çalışma alanına en yakın meteoroloji istasyonundan alınmıştır. Yanıcı madde (ölü örtü) nemi, ince üst tabaka (L tabakası) ve ayrışmakta olan organik madde tabakasında (F tabakası) ayrı ayrı olmak üzere her gün veya yağış durumuna göre birkaç günde bir düzenli olarak alınmıştır.

Örnekler, her bir alandan ortalama 5'er adet olmak üzere 10cm çapındaki silindir örnek alma aletiyle alınarak ölçülmüştür. Bir yağıştan sonra birkaç gün sürekli örnekler alınırken, yanıcı madde nem içeriklerinin normal değerlere düşmesinden sonra ani değişiklikler olmamışsa örnekler iki üç günde bir alınmıştır. Böylece yanıcı madde nem içerikleri, her türlü hava halleri değişimlerine bağlı olarak belirlenmiştir. Sonuçta, yanıcı maddelerin kurumaları açısından yangın sezonu süresince hava hallerinde karşılaşılabilecek tüm durumlar temsil edilmeye çalışılmıştır.

Yanıcı maddelerden alınan örnekler; naylon torbalara konularak, laboratuarda elektronik terazi ile 0.01 gram hassasiyetinde tartıldıktan sonra, 100 °C de 12 saat süreyle ya da ağırlıklarında bir değişme olmayıncaya kadar kurutma fırınında kurutulmuşlardır. Kurutulan örnekler tekrar tartularak kaydedilmiştir. Nem oranları kurutma öncesi ve sonrası ağırlıklara bağlı olarak belirlenmiştir. Sonuçta, L ve F tabakalarına ait yanıcı maddelerin nem içerikleri belirlenmiştir.

Yukarıda açıklandığı şekilde örnekler alınırken kaydedilen hava hallerinden, yağış miktarı, bağıl nem, sıcaklık, rüzgar hızı ile yanıcı madde nem içerikleri arasındaki ilişkiler ortaya konulmuştur. Analizler için SPSS istatistik yazılım programı kullanılmıştır. Sonuçta hava hallerine bağlı olarak, yanıcı madde nem içeriklerinin tahmin edilmesinde kullanılacak modeller geliştirilmiştir.

2.1.2. Bulgular

Yanıcı madde nem içeriklerinin belirlenmesi için İzmir, Kastamonu ve Trabzon'da tespit edilen deneme alanlarından yangın sezonu boyunca her gün veya yağış durumuna göre iki günde bir ince yanıcı madde ve humus tabakasına ait örnekler alınmıştır. Örnekler 1998-2000 yılları arasındaki üç yıllık dönemde, değişik kuruma oranlarını yakalamak için farklı hava hallerinde alınmıştır. Yanıcı madde örneklerine ait hava halleri ve nem içeriği verileri Tablo 2'de verilmiştir. Buna göre, ölçümler boyunca en düşük rüzgar değerleri 0.4 ile 37.4 km/s arasında, bağıl nem %22 ile 83 arasında, yağış miktarı 0 ile 22mm arasında, sıcaklık 4.2 ile 39.7°C arasında kaydedilmiştir. Bu hava halleri verilerine göre belirlenen ince yanıcı madde nem içeriği %4.5 ile 60.32 arasında, humus nem içeriği ise 6.17 ile 70.18 arasında olmuştur.

Tablo 2. Yanıcı madde örneklerine ait hava halleri ve nem içeriği verileri

Örnek no	Rüzgar (km/s)	Bağıl nem (%)	Sıcaklık (°C)	Yağış (mm)	Gün sayısı	LYN (%)	HN (%)	Sıcaklık faktörü
1	29,9	65	27,7	0	12	9,19	11,62	2,11
2 ¹	19,1	40	29,1	0	12	6,88	8,74	2,01
3	28,1	39	28,5	0	12	5,37	11,22	2,06
4	16,9	45	33,0	0	12	5,41	9,87	1,70
5	16,9	37	34,1	0	12	5,99	8,96	1,60
6	7,2	29	36,7	0	3	5,67	10,93	1,93
7	16,2	40	35,1	0	5	7,64	9,98	1,96
8	25,6	45	28,6	0	7	8,15	10,27	2,37
9	20,9	49	32,2	0	10	6,68	10,65	1,88
10	7,2	38	36,7	0	12	7,25	10,84	1,35
11	13,7	34	38,4	0	12	7,01	8,71	1,17
12	13,7	36	36,0	0	12	4,5	9,36	1,42
13	7,6	30	39,7	0	12	7,22	6,57	1,03
14	19,1	41	37,2	0	12	5,71	6,17	1,30
15	13,3	35	35,3	0	12	5,73	6,6	1,49
16	9,4	33	35,0	0	12	5,75	9,27	1,52
17	15,8	39	33,7	0	12	5,51	8,95	1,64
18	14,4	24	35,7	0	12	4,95	9,63	1,45
19	10,8	30	34,0	0	12	4,54	7,9	1,61
20	22,0	49	28,6	0	12	8,49	8,47	2,05
21	23,0	54	30,5	0	12	6,15	7,61	1,91
22	29,2	38	29,6	0	12	6,19	13,01	1,97
23	14,4	29	30,8	0	12	6,72	9,69	1,88
24	23,0	51	31,4	0	12	8,00	11,57	1,83
25	18,4	59	28,9	0	12	7,29	9,9	2,03
26	23,0	56	30,0	0	12	8,06	10,83	1,94
27	19,1	50	31,0	0	12	8,73	10,43	1,87
28	18,4	52	25,3	0	1	23,91	60,67	2,89
29	37,4	55	24,5	8,6	0	16,81	58,34	2,76
30	24,1	44	26,8	0	1	10,04	48,38	2,80
31	16,2	41	26,8	0	2	10,79	48,73	2,80
32	11,2	58	25,8	0	0	18,81	54,92	2,68
33	20,9	51	28,1	1	0	29,28	62,41	2,53
34	5,0	34	29,8	0	4	7,81	42,62	2,48
35	7,6	22	27,6	0	5	9,79	24,37	2,58
36	11,2	43	26,8	0	6	7,66	21,83	2,56
37	6,1	76	22,4	2,6	0	35,42	55,51	2,87
38	0,4	54	27,9	9,5	0	18,46	54,5	2,54
39	2,9	70	17,2	10	0	48,4	67,74	3,09
40	8,6	33	26,2	0	1	11,02	54,54	2,84
41	15,8	33	28,3	0	4	11,36	43,36	2,59
42	13,0	22	32,7	0	8	11,8	19,92	1,97
43	0,4	29	34,9	0	10	9,00	20,43	1,64
44	5,0	79	24,7	9	0	47,59	62,76	2,75
45	11,2	59	29,4	4	0	47,14	62,76	2,43
46	9,7	55	25,9	2,1	0	20,23	60,19	2,67
47	13,0	50	31,7	1,1	0	18,25	53,48	2,25
48	9,7	30	28,7	0	2	13,39	41,58	2,67
49	6,1	67	11,0	0	8	43,14	61,83	3,02
50	13,7	78	11,0	0	9	34,3	63,93	2,96
51	8,3	80	8,5	8	0	57,07	69,13	3,23
52	15,1	35	16,2	0	1	45,76	68,62	3,30
53	19,1	22	21,8	0	2	16,75	58,81	3,09
54	10,8	69	8,5	7	0	51,99	63,77	3,23
55	6,0	34	18,1	0	1	32,41	63,08	3,24

Tablo 2'nin devamı

Örnek no	Rüzgar (km/s)	Bağıl nem (%)	Sıcaklık (°C)	Yağış (mm)	Gün sayısı	İYN (%)	HN (%)	Sıcaklık faktörü
56	5,0	80	7,5	0	2	23,45	55,31	3,42
57	8,0	73	4,2	12	0	60,07	70,18	3,21
58	8,0	64	7,3	3	0	58,00	68,18	3,23
59	5,0	70	10,0	3	0	60,32	66,94	3,23
60	4,0	58	8,0	0	2	38,54	65,34	3,42
61	7,5	60	11,0	0	3	35,65	66,68	3,36
62	5,0	48	15,0	0	4	29,37	65,03	3,23
63	7,8	83	10,4	0	5	29,34	62,96	3,24
64	18,0	75	10,2	0	6	21,00	60,96	3,17
65	15,0	50	17,0	0	4	19,49	62,68	3,17
66	8,0	42	22,0	0	5	22,07	64,98	2,91
67	7,0	55	17,5	0	6	19,01	61,88	3,02
68	6,5	72	15,1	0	7	40,99	60,01	3,02
69	8,0	60	18,0	0	8	19,17	51,18	2,86
70	15,0	55	19,0	0	10	14,56	31,34	2,70
71	6,0	61	19,7	0	11	16,57	41,24	2,61
72	9,0	34	25,0	0	12	14,29	38,75	2,29
73	12,0	35	24,0	0	12	13,21	30,05	2,34
74	10,0	70	14,0	3	1	33,92	46,4	3,36
75	8,0	75	10,0	10	1	58,43	62,26	3,41
76	5,0	54	20,1	0	3	23,65	57,98	3,12
77	11,9	74	18,4	4	1	52,83	62,66	3,23
78	5,0	72	19,8	0	2	41,70	62,94	3,18
79	7,2	71	20,4	0	3	28,89	63,6	3,11
80	12,0	72	18,9	0	4	26,85	62,21	3,11
81	12,0	49	22,2	0	5	19,49	55,74	2,90
82	7,0	54	22,8	0	2	40,34	60,89	3,04

¹ Koyu renkle verilen örnekler, geliştirilen modellerin test edilmesinde kullanılmıştır

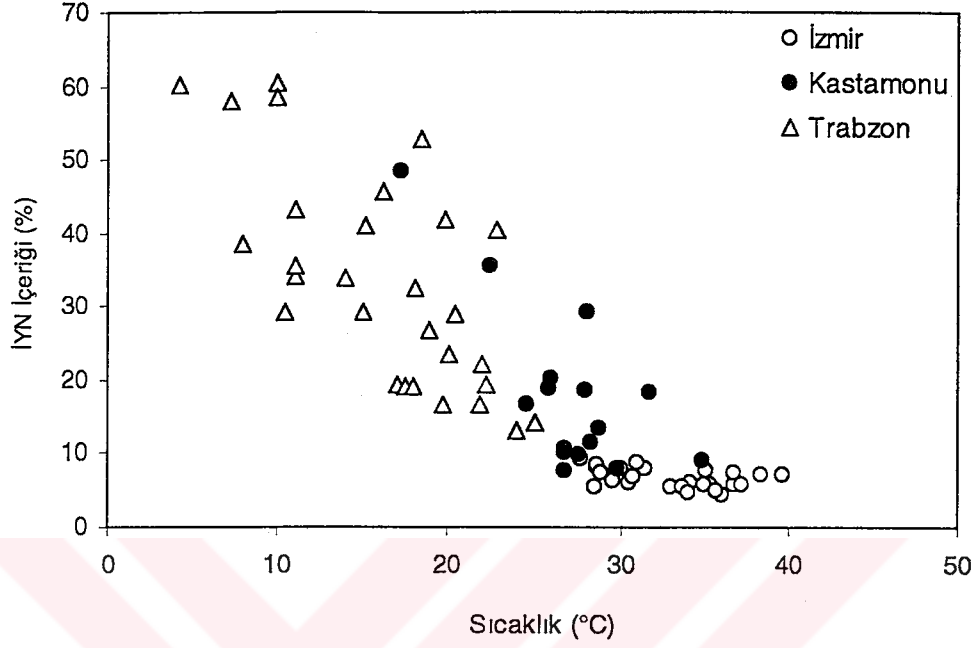
Tablo 3. İYN ve HN içeriği ile hava halleri arasındaki korelasyon

	Rüzgar	Bağıl Nem	Sıcaklık	Yağış	Gün	İYM nemi	HT Nemi
Rüzgar	1,00						
Bağıl Nem	-,190	1,00					
Sıcaklık	,344**	-,717**	1,00				
Yağış	-,174	,459**	-,366**	1,00			
Gün	,356**	-,412**	,551**	-,502**	1,00		
İYM Nemi	-,446**	,697**	-,797**	,606**	-,684**	1,00	
HT Nemi	-,443**	,586**	-,803**	,404**	-,834**	,803**	1,00

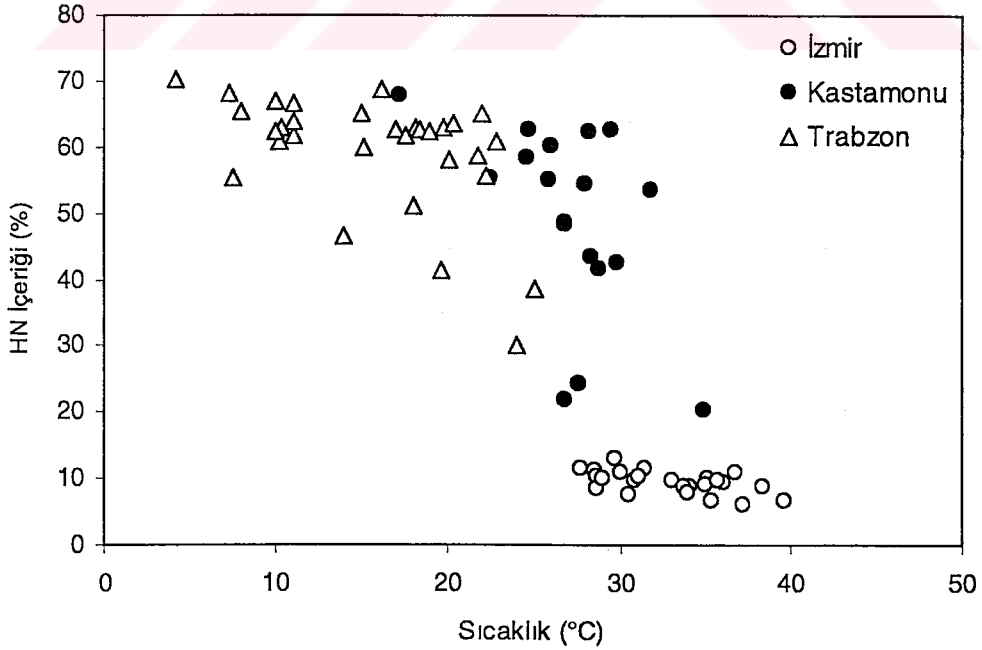
** 0.01 güven düzeyinde anlamlı

Yanıcı madde nem içerikleriyle hava halleri arasındaki ilişkiyi ortaya koymak için SPSS istatistik yazılım programı kullanılarak korelasyon ve regresyon analizleri yapılmıştır. Tablo 3'de görüldüğü gibi, 82 örnek üzerinde yapılan korelasyon analizi sonucunda İYN ve HN içeriği ile sıcaklık arasında kuvvetli bir ilişkinin ($r=0.797$, $r=0.803$) olduğu ortaya çıkmıştır ($P<0.01$). Yağmurdan sonra geçen gün sayısı ile İYN ve HN içeriği arasında da benzer şekilde kuvvetli bir ilişki ($r=0.684$, $r=0.834$) ortaya çıkmıştır ($P<0.01$).

Burada da görüldüğü gibi yanıcı madde nem içerikleri üzerinde en fazla etkiye sahip olan hava halleri verileri sıcaklık ve yağmurdan sonra geçen gün sayısıdır.



Şekil 5. İnce yanıcı madde nem içeriklerinin sıcaklıklara bağlı olarak bölgelere göre dağılımı



Şekil 6. Humus yanıcı madde nem içeriklerinin sıcaklıklara bağlı olarak bölgelere göre dağılımı

Ölçülen yanıcı madde nem içerikleri, örneklerin alındığı bölgelere göre dikkate alındığında belirgin bir farklılığın olduğu ortaya çıkmıştır. Bu farklılığın nedeni araştırıldığında, yanıcı madde nem içerikleri üzerinde en etkili faktör olan sıcaklık değerlerinin bölgeler arasında büyük değişiklikler gösterdiği anlaşılmıştır (Şekil 5 ve 6). Bölgesel farkları ortaya koymak için, bölgelerin sıcaklık ortalamaları (İzmir 32 °C, Kastamonu 27 °C ve Trabzon 15 °C) alınarak bir ölçek belirlenmiştir. Buna göre ortalama sıcaklık değerlerine bağlı olarak İzmir için 3.2, Kastamonu için 2.7 ve Trabzon için 1.5 değerleri sıcaklık katsayısı olarak atanmıştır. Daha sonra, her örnek için sıcaklık katsayıları tahmin edilmiştir. Bunun için nem içerikleri üzerinde en fazla etkili olan sıcaklık ve yağmurdan sonraki gün sayısını kullanan aşağıdaki model geliştirilmiştir (md. 1). Yağmurdan sonraki gün sayısının hata terimleri dağılımı, tahmin edilen değerler boyunca homojen olmadığından değerlere logaritmik dönüşüm yapılmıştır. Bundan sonraki analizlerde yağmurdan sonraki gün sayısının bu logaritmik değerleri kullanılmıştır.

$$SF=a+bS+cS^2+d\ln G+e\ln G^2 \quad (\text{md. 1})$$

Burada, SF; sıcaklık faktörünü, S; sıcaklığı, G; yağmurdan sonraki gün sayısını, a, b, c, d, e ise sırasıyla 3.123 (Standart Hata (S.H.)=0.256), 0.028 (S.H.=0.0233), 0.002 (S.H.=0.001), 0.429 (S.H.=0.170) ve 0.235 (S.H.=0.065) olarak hesaplanan katsayıları göstermektedir. Bu modele göre yapılan analizde sıcaklık faktörü ile sıcaklık ve yağmurdan sonraki gün sayısı arasında kuvvetli bir ilişki ortaya çıkmıştır ($R^2=0.799$). Böylece bölgeler arası farklılıkları ortaya koyabilen sıcaklık faktöründeki değişkenliğin %80'i, sıcaklık ve yağmurdan sonraki gün sayısı ile açıklanabilmektedir.

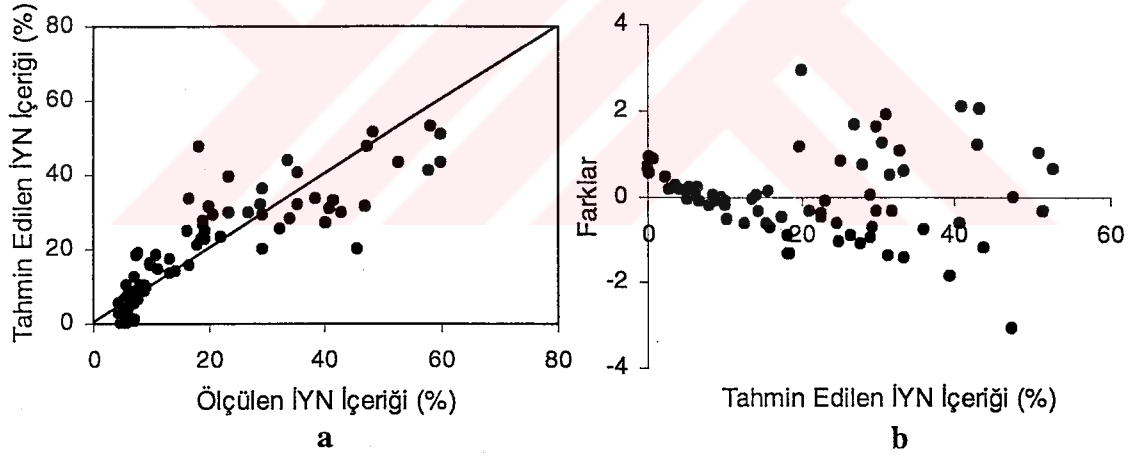
Yanıcı madde nem içerikleriyle hava halleri arasındaki ilişkiyi ortaya koymak için yapılan regresyon analizi sonucunda; ince yanıcı madde nem içeriğiyle sıcaklık faktörü, yağış miktarı, rüzgar hızı ve bağıl nem arasında kuvvetli bir ilişki ortaya çıkmıştır ($R^2=0.779$, $P<0.01$). İnce yanıcı madde nem içeriğinin ölçülen ve sıcaklık faktörü, yağış miktarı, rüzgar hızı ve bağıl nem verilerine bağlı olarak tahmin edilen değerleri arasındaki ilişki ve hata terimleri dağılımı Şekil 7'de görülmektedir.

İYN değerlerine Tek Örnekli Kolmogorov-Smirnov (K-S) testi kullanılarak normal dağılım kontrolü yapıldığında; normal dağılım göstermedikleri anlaşılmıştır. Bunun üzerine İYN değerlerine logaritmik dönüşüm uygulanarak doğal logaritmaları alınmıştır. Aynı şekilde, sıcaklık faktörü, yağmurdan sonraki gün sayısı ve yağış miktarı değerleri de

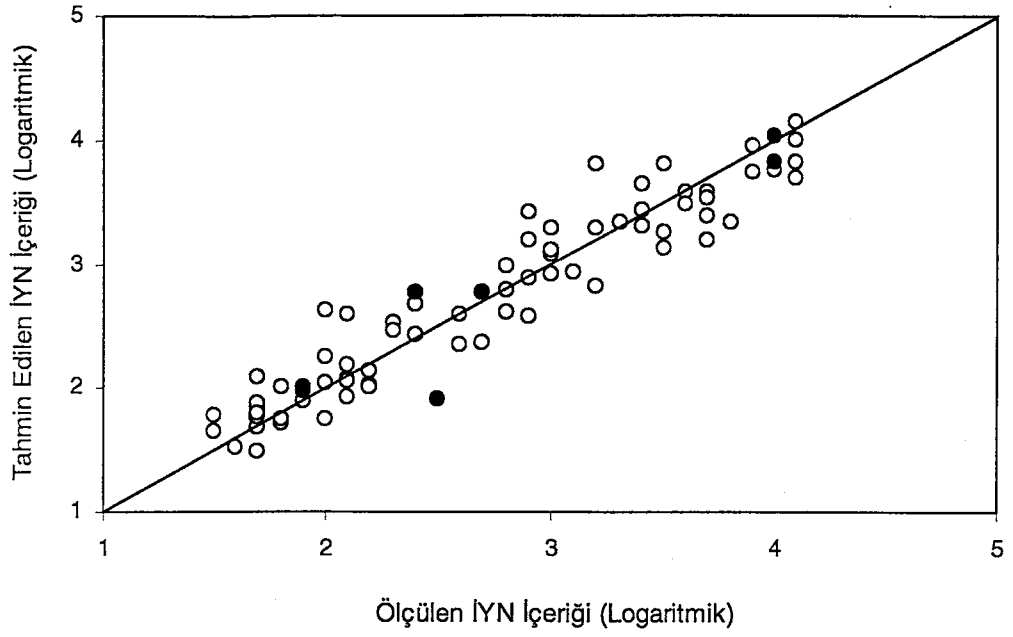
normal dağılım göstermediğinden logaritmik dönüşüm yapılarak analizlerde bu yeni değerler kullanılmıştır. Böylece oluşturulan yeni logaritmik değerler ile yapılan analiz sonucunda İYN içeriği ile sıcaklık faktörü arasında standart hatası 0.37 olan kuvvetli bir ilişki ($R^2=0.789$, $P<0.01$) ortaya çıkmıştır (md. 1). Geliştirilen bu modele yağış miktarı ikinci bağımsız değişken olarak ilave edildiğinde (md. 2) açıklanan İYN değişkenliği artarak %86'ya çıkmaktadır (S.H.=0.30, $P<0.01$). Açıklanan İYN değişkenliği, modele sıcaklık faktörü ve yağış miktarının yanında üçüncü değişken olarak bağıl nem dahil edildiğinde %88'e (md. 3), dördüncü değişken olarak rüzgar hızı dahil edildiğinde ise %91'e yükselerek en iyi ilişki (md. 4) ortaya çıkmaktadır (S.H.=0.25, $P<0.01$) (Tablo 4).

Tablo 4. İnce yanıcı madde nem içeriklerinin belirlenmesi için geliştirilen modeller

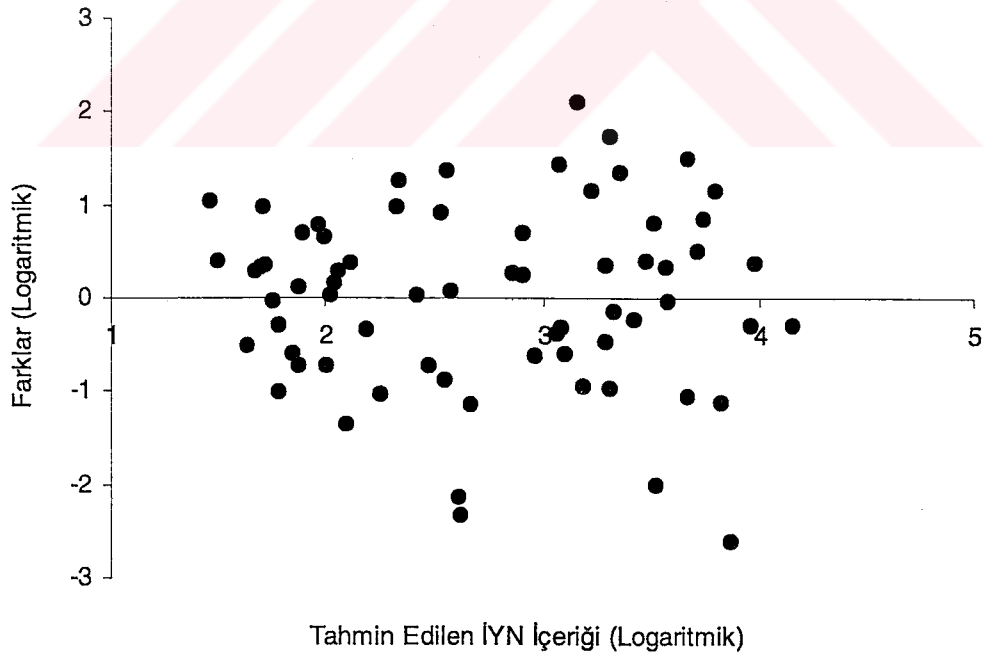
No	Regresyon Modeli	R^2	S.H.
1	$\ln IYN=1.093*\ln SF-0.03705$	0.789	0.37
2	$\ln IYN=0.977*\ln SF+0.316*\ln Y+0.159$	0.860	0.30
3	$\ln IYN=0.846*\ln SF+0.251*\ln Y+0.009697*BN+0.1434$	0.883	0.28
4	$\ln IYN=0.738*\ln SF+0.195*\ln Y+0.01136*BN-0.02126*R+0.475$	0.909	0.25



Şekil 7. İnce yanıcı madde nem içeriğinin ölçülen ve sıcaklık faktörü, yağış miktarı, rüzgar hızı ve bağıl nem verilerine bağlı olarak tahmin edilen değerleri arasındaki ilişki (a) ve hata terimleri dağılımı (b)



Şekil 8. İnce yanıcı madde nem içeriğinin ölçülen ve hava halleri verilerine bağlı olarak model 4 ile tahmin edilen değerleri arasındaki logaritmik dönüşüm ilişkisi (○) ile geliştirilen modelin bağımsız örneklerle test edilmesi (●)



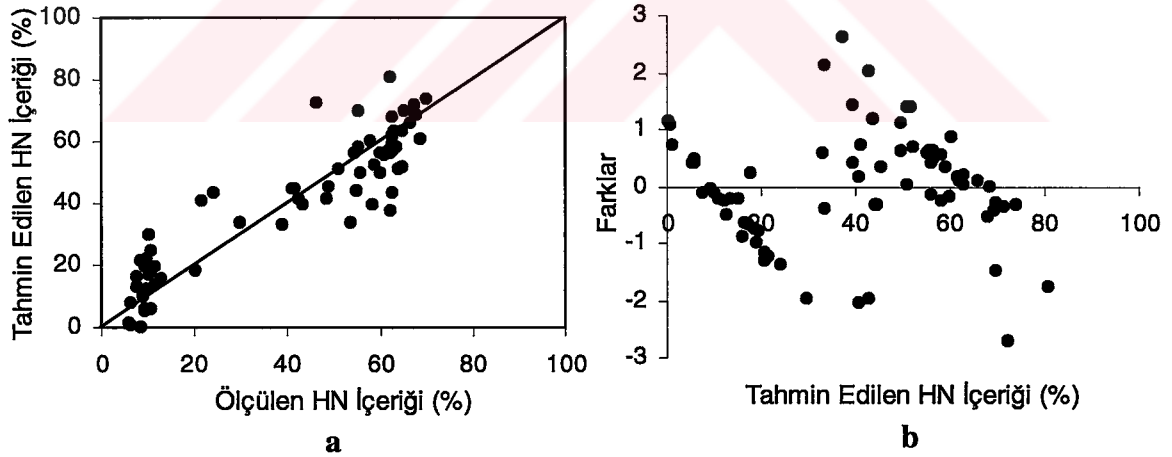
Şekil 9. İnce yanıcı madde nem içeriğinin ölçülen ve hava halleri verilerine bağlı olarak model 4 ile tahmin edilen değerleri arasındaki logaritmik hata terimleri dağılımı

İnce yanıcı madde nem içeriğinin ölçülen ve hava halleri verilerine bağlı olarak model 8 ile tahmin edilen değerleri arasındaki logaritmik dönüşüm ilişkisi Şekil 8’de ve hata terimleri dağılımı Şekil 9’da verilmiştir. Geliştirilen bu model, analizlerde kullanılmayan rasgele seçilmiş 7 adet bağımsız örnekle test edilmiş ve bu örneklere göre model 8 kullanılarak tahmin edilen İYN içeriği değerleri Şekil 7’deki grafik üzerinde (●) simgesiyle gösterilmiştir.

Humus nem içeriğinin tahmin edilmesinde en anlamlı ilişki ($R^2=0.862$) sıcaklık faktörü, yağış miktarı ve rüzgar hızının birlikte regresyona girmesiyle ortaya çıkmıştır ($P<0.01$). Humus nem içeriğinin ölçülen ve hava halleri verilerine bağlı olarak tahmin edilen değerleri arasındaki ilişki ve hata terimleri dağılımı Şekil 10’da gösterilmiştir.

Tablo 5. Humus yanıcı madde nem içeriklerinin belirlenmesi için geliştirilen modeller

No	Regresyon Modeli	R^2	S.H.
1	$\ln HN = 1.194 * \ln SF - 0.367$	0.869	0.32
2	$\ln HN = 0.951 + 1.089 * \ln SF - 0.02683 * R$	0.907	0.27



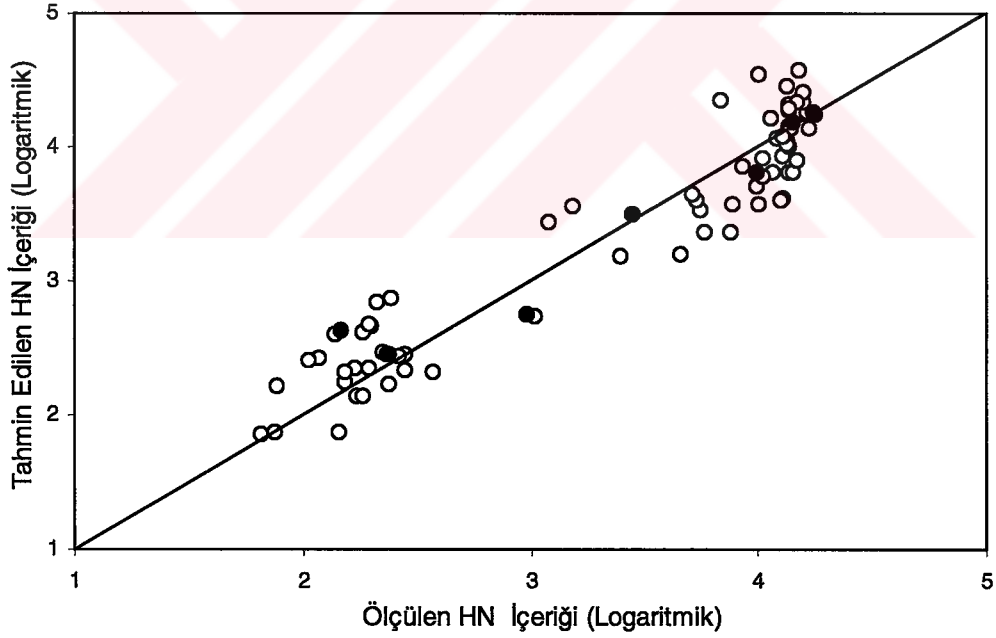
Şekil 10. HN içeriğinin ölçülen ve hava halleri verilerine bağlı olarak tahmin edilen değerleri arasındaki ilişki (a) ve hata terimleri dağılımı (b)

Şekil 10 incelendiğinde, HN içeriğinin ölçülen ve tahmin edilen değerleri arasındaki ilişki ve hata terimleri dağılımının normal dağılıma uymadığı görülmektedir. Yapılan normal dağılım testleri sonucunda humus nem içeriği değerlerinin normal dağılım göstermedikleri görülmüştür. Bunun üzerine HN değerlerinin doğal logaritması alınarak logaritmik dönüşüm yapılmıştır. Elde edilen yeni logaritmik değerlerle yapılan analiz

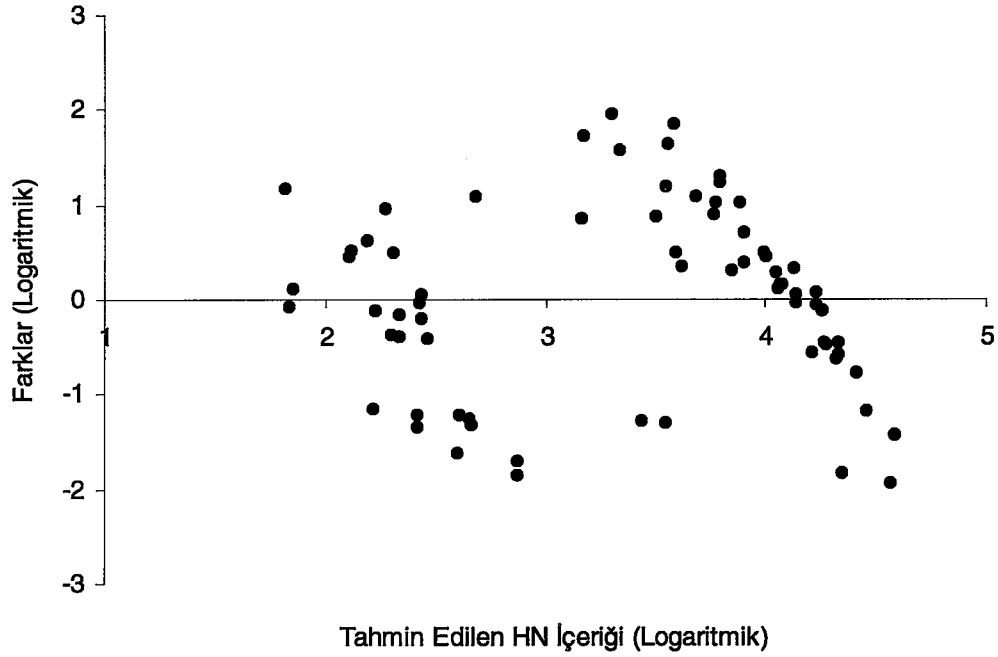
sonucunda humus nem içeriği ile sıcaklık faktörü arasında (Tablo 5, md. 1) kuvvetli bir ilişki ($R^2=0.869$, S.H.=0.32, $P<0.01$) ortaya çıkmıştır.

Bu modele sıcaklık faktörünün yanında rüzgar hızı ikinci değişken olarak ilave edildiğinde (md. 2) açıklanan humus nem içeriği değişkenliği yükselmiştir ($R^2=0.907$, S.H.=0.27, $P<0.01$). Humus nem içeriğinin ölçülen ve hava halleri verilerine bağlı olarak model 2 ile tahmin edilen değerleri arasındaki ilişki Şekil 11’de ve hata terimleri dağılımı Şekil 12’de verilmiştir. Humus nem içeriğini tahmin etmek için geliştirilen model 2, analizlerde kullanılmayan 7 adet rasgele seçilmiş bağımsız örnekle test edilmiş ve tahmin edilen HN içeriği değerleri Şekil 11’de gösterilmiştir.

Sonuçta, hava halleri verilerinden rüzgar, bağıl nem, yağış ve sıcaklık ile en son yağmurdan sonra geçen gün sayısına bağlı olarak ince yanıcı madde ve humus tabakası nem içeriğindeki değişimin %91’lik kısmının açıklanabildiği modeller geliştirilmiştir (Tablo 4 ve 5).



Şekil 11. Humus nem içeriğinin ölçülen ve hava halleri verilerine bağlı olarak tahmin edilen değerleri arasındaki logaritmik dönüşüm ilişkisi (○) ile geliştirilen modelin bağımsız örneklerle test edilmesi (●)



Şekil 12. Humus nem içeriğinin ölçülen ve hava halleri verilerine bağlı olarak tahmin edilen değerleri arasındaki logaritmik hata terimleri dağılımı

2.1.3. Sonuçlar ve Öneriler

İnce yanıcı madde ve humus nem içeriklerinin belirlenmesi için yapılan bu çalışmada, özellikle hava sıcaklığı ve en son yağmurdan sonra geçen gün sayısının yanıcı madde nem içeriklerinin değişimi üzerinde en fazla etkili olan faktörler olduğu ortaya çıkmıştır. Yanıcı madde nem içeriklerindeki değişimlerin daha iyi yakalanması için örnekler farklı hava hallerinin hakim olduğu bölgelerden alınmıştır. Bu bölgelerde hava sıcaklığının büyük değişiklikler göstermesi nem içeriklerinde de belirgin bir farklılığın ortaya çıkmasına neden olmuştur. Bu farklılığı ortadan kaldırmak için bölgelerin sıcaklık ortalamalarını yansıtan bir ölçek hazırlanmıştır. Bu sıcaklık ortalamalarına bağlı olarak bölgeler için sıcaklık katsayıları belirlenmiştir. Daha sonra, her örnek için sıcaklık katsayılarını tahmin etmek için nem içerikleri üzerinde en fazla etkili olan sıcaklık ve yağmurdan sonraki gün sayısını kullanan doğrusal olmayan (non-lineer) regresyon modeli geliştirilmiştir. Bu modele göre yapılan analizde sıcaklık faktörü ile sıcaklık ve yağmurdan sonraki gün sayısı arasında kuvvetli bir ilişki ortaya çıkmıştır (md. 1). Böylece bölgeler arası farklılıkları ortaya koyabilen sıcaklık faktöründeki değişkenliğin %80'i sıcaklık ve

yağmurdan sonraki gün sayısı kullanılarak geliştirilen bu model yardımıyla tahmin edilmiştir.

Yapılan analiz sonucunda ince yanıcı madde nem içeriği ile sıcaklık faktörü arasında kuvvetli bir ilişki ortaya çıkmıştır. Geliştirilen bu modele yağış miktarı, bağıl nem ve rüzgar hızından her biri bağımsız değişken olarak ilave edilmesiyle geliştirilen modelle ince yanıcı madde nem içeriğinde açıklanan değişkenliğin oranı artmaktadır. Sonuçta en iyi ilişkinin ortaya çıktığı, sıcaklık faktörü, yağış miktarı, bağıl nem ve rüzgar hızına bağlı olarak ince yanıcı madde nem içeriğinin tahmin edilmesinde kullanılacak bir model geliştirilmiştir (Tablo 4). Yapılan analiz sonucunda humus nem içeriği ile sıcaklık faktörü arasında da kuvvetli bir ilişki ortaya çıkmıştır. Bu modele sıcaklık faktörünün yanında rüzgar hızının ikinci değişken olarak ilave edilmesiyle humus nem içeriğinin tahmin edilebileceği en iyi model geliştirilmiştir (Tablo 5).

Genel olarak rüzgarın, doğrudan temas etmediğinden humus nemindeki değişim üzerinde bir etkisinin olmaması beklenir. Fakat, çalışmanın yapıldığı alanlardaki ince üst yanıcı maddelerin hem miktarı az olduğundan hem de iBRElerin yapısından kaynaklanan gevşek bir istiflenme nedeniyle rüzgarın alt tabakada bulunan humus nemini etkilemesi söz konusu olmuştur. Bu nedenle çalışmamızda humus nem içeriği ile rüzgar arasında bir ilişki ortaya çıkmıştır ($r=0.443$, $P<0.01$).

Sonuçlar irdelendiğinde, diğer faktörler değişmediği sürece yağışlardan sonra nem içeriğinin giderek azaldığı, ancak 12. günden sonra değişmediği ortaya konulmuştur. Bu durum humus tabakası için kaynaklarda verilen 12 günlük kuruma süresiyle (nem içeriklerinin 2/3'ünü kaybettikleri süre) tam bir uyum göstermektedir (Van Wagner, 1987).

Yağışlı günlerden sonra nem içeriğindeki değişimlerin yakalanması için özellikle sıcaklık ortalamasının yüksek olduğu bölgelerde bu gibi çalışmalar yağış sezonunun içine kaydırılarak yapılmalıdır. Bu çalışmanın yapıldığı dönemde özellikle sıcaklık ortalamasının yüksek olduğu İzmir bölgesinde çok az yağış kaydedilmiştir.

Bu çalışma ile ortaya konulan yanıcı madde nem içerikleri tahmin modelleri yangın tehlike oranları sisteminin ana bileşenlerinden biri olan meteorolojik yangın indeksi sisteminin ilk adımını oluşturmaktadır. Bu şekilde oluşturulan tahmin modelleriyle çok geniş alanlarda yanıcı madde nem içerikleri günlük olarak hesaplanabilecek ve yangın potansiyeli tahmin edilebilecektir. Bu çalışma ile elde edilen yanıcı madde nem içerikleri

yangın tehlike oranları sisteminin diğer bileşeni olan yangın davranışının tahmin edilmesi çalışmalarında da kullanılacaktır.

2.2. Yanıcı Madde Miktarının Belirlenmesi

Yangın davranışı değişken ve sabit çevre faktörlerinden hava halleri, topografik özellikler ve yanıcı madde özelliklerinin etkileşiminin ortak bir sonucudur. Dolayısıyla, yangın davranışının doğru bir şekilde tahmin edilebilmesi bu faktörler hakkında detaylı bilgilerin olmasını gerektirir. Bunun için de yangın davranışı üzerinde oldukça etkili olan yanıcı madde özelliklerinin belirlenmesi gereklidir (Bilgili, 1998). Yanıcı madde miktarı, yangın davranışında etkili olan önemli yanıcı madde özelliklerindedir.

Orman yangınları açısından büyük önem arzeden yanıcı maddeler, orman biyoması olarak da, su rejimi, yaban hayatı, ekoloji, toprak koruma, amenajman, hasılat, silvikültür, rekreasyon ve orman yangınları gibi birçok bilim dalını ilgilendiren temel bir altlıktır. Bu bilim dalları biyomasın ağaç türü, ağaç türü karışımı, kapalılığı, çap ve yaş sınıfları dağılımı, yaş, artım, hektardaki serveti ve ekolojik özellikleri gibi farklı yönleriyle ilgilendirler (Sağlam, Bilgili, 2002).

Orman yangınlarında, hem yayılma oranı hem de alev yüksekliği yanıcı madde miktarı ile doğrusal bir ilişki göstermektedir. Yanıcı madde miktarının artmasıyla yangın şiddeti, yayılma oranı ve belli şartlar altında yanıcı madde tüketiminde de artış meydana gelir. Yanıcı madde miktarındaki artışın yayılma oranı üzerine olan etkisi yanıcı maddelerin yapıları ve boyutlarıyla yakından ilişkilidir. Yayılma oranında meydana gelen artış kalın yanıcı maddelere oranla daha hızlı yanma eğiliminde olan ince yanıcı maddelerde daha fazla olmaktadır. Zira, çıkan bir yangının davranışı ve alınacak önlemler diğer faktörlerle birlikte yanıcı madde özelliklerine de bağlıdır.

Konunun öneminden dolayı, biyomasla ilgili çok yoğun araştırmalar yapılmıştır. Yapılan çalışmalarda kolay ölçülebilen yaş, boy ve kapalılık gibi değişkenler arasındaki ilişkilerden faydalanılmıştır. Bu gibi değişkenler kullanılarak geliştirilen regresyon eşitlikleri, benzer yapıdaki diğer alanlarda aynı değişkenlere bağlı olarak biyomasın belirlenmesinde kullanılmaktadır (Catchpole, Wheeler, 1992). Bunlardan dendrometrik ve hasılatla ilgili ölçümlerde çap ve boy, bazılarında bunlarla birlikte tepe boyu, tepe çapı ve kök boğazı çapı gibi değişkenler de isteğe ve amaca uygun olarak kullanılmıştır (Küçük, Bilgili, 2001). Kullanılan modeller; basit doğrusal regresyon analizlerinden, hiperbolik,

parabolik ve üstel fonksiyonlara kadar uzanan değişik biçimlerde oluşturulmuştur (Küçük, 2000).

Ağaçlarda yanıcı madde miktarının hesaplanması için yapılan bir çok araştırma sonucunda, özellikle tepe boyu, tepe çapı, göğüs yüksekliği çapı, yaş, ağaç boyu gibi değişkenlerin kullanıldığı modeller geliştirilmiştir (Alemdag, 1984; Storey vd., 1955; Olson, Fahnestock, 1955; Stiell, 1965; Stiell, 1966; Stiell, Berry, 1977; Stocks, 1989; Alexander vd., 1984). Çalı formlarında ise yanıcı madde miktarı ile özellikle gövde çapı, kapalılık, ortalama boy ve yaş arasında kuvvetli ilişkiler olduğu ortaya çıkmıştır (Van Wilgen, Richardson, 1985; Van Wilgen vd., 1985; Van Wilgen vd., 1990; Marsden-Smedley, Catchpole, 1995; Fogarty, Pearce, 2000).

Özellikle orman yangınları dikkate alındığında çok geniş alanlarda yanıcı madde özelliklerinin ortaya konulması gerekmektedir. Bunun için hem araştırmacılar hem de yangın yöneticileri bu bileşenleri hesaplamak için daha hızlı ve daha az masraflı metotlara ihtiyaç duymaktadırlar.

Uygulamada, doğrudan fidan veya ağaç özellikleri (çap, boy, tepe çapı, tepe boyu vs.) ölçülerek yanıcı madde miktarının tespit edilebilmektedir. Ayrıca, gelişen teknolojiye paralel olarak uzaktan algılama, hava fotoğrafları ve uydu verilerinden de yanıcı madde özelliklerinin belirlenmesi ve dolayısıyla, yanıcı madde miktarlarının da tahmin edilebilmesi mümkündür (Alemdag, 1986). Özellikle genç plantasyonlarda hava fotoğrafları ve uydu verilerine bağlı olarak tepe boyutları ve kapalılık belirlenerek biyomas tahminleri kolaylıkla yapılabilmektedir (Oladi, 1996).

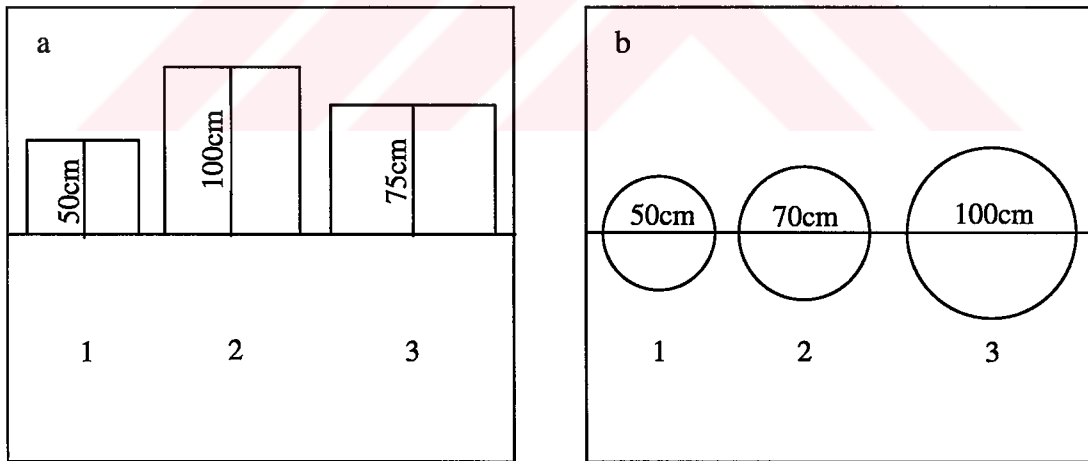
Bu çalışma kapsamında maki tipi yanıcı maddelerde örnek deneme alanları alınarak mevcut yanıcı madde miktarları bileşenlerine ayrılarak belirlenmiştir. Daha sonra yanıcı madde yapısına ilişkin kolay ölçülebilen değişkenlerle yanıcı madde miktarı arasındaki ilişkiler araştırılmıştır. Sonuçta yanıcı madde miktarının belirlenmesine yönelik olarak basit olarak ölçülebilen değişkenleri kullanan regresyon eşitlikleri geliştirilmiştir.

2.2.1. Materyal ve Metot

Bu çalışma, Ege ve Akdeniz bölgesi maki vejetasyonunu temsil eden, Aydın Orman İşletme Müdürlüğü Söke Orman İşletme Şefliği sınırları içinde bulunan maki florası ile kaplı bir alanda gerçekleştirilmiştir. Araştırma alanı 27°20'26" doğu boylamı ile 37°28'53"

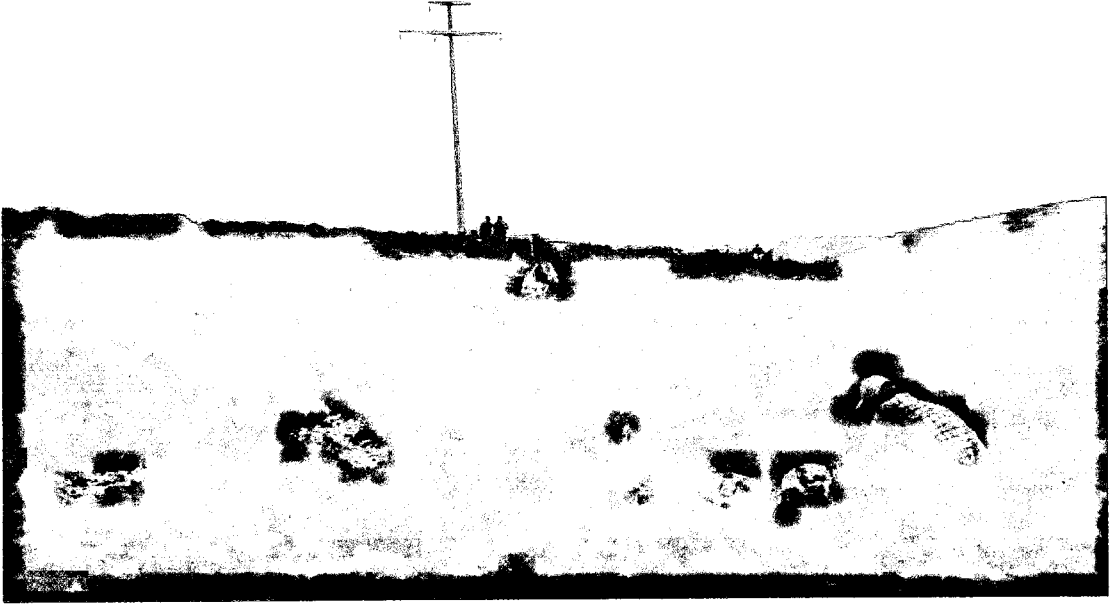
kuzey enlemleri arasında ve denizden 80 metre yükseklikte yer almaktadır. Kireçtaşı ana kayası üzerinde ranker toprak türüne sahiptir ve ortalama eğimi %5'tir. Ortalama yıllık yağış miktarı 657.7 mm' dir (DMİ, 2000).

Yanıcı madde miktarının belirlenmesinde 15 adet 2x2m örnek parsel alınmıştır. Yanıcı madde yapısına ilişkin olarak birim alandaki yanıcı madde miktarı; diri örtü (kg/m^2) ve ölü örtü miktarı (kg/m^2), yanıcı maddenin (tepe çatısının) toprağı kapatma oranı (kapalılık) (%) ve ortalama yanıcı madde boyu (cm) belirlenmiştir. Ortalama yanıcı madde boyu belirlenirken, 2m uzunluğundaki hat boyundaki homojen yanıcı madde gruplarının genişlikleri. Her bir homojen grubun, ortalama boyları ölçülmüştür. Grupların genişlikleriyle ortalama boyların oranlanmasıyla ağırlıklı boylar belirlenmiştir. Yanıcı madde ortalama boyları bu ağırlıklı boylara göre hesaplanmıştır. Şekil 13 (a)'da görülen 1, 2 ve 3 numaralı örnekleme yapılan homojen yanıcı madde gruplarının boy ortalamaları alındığında ortalama yanıcı madde boyu 75 cm olmaktadır. Ancak, homojen yanıcı madde gruplarının genişlikleri (b) hesaplamaaya katılarak ağırlıklı ortalamalar hesaplandığında, ortalama yanıcı madde boyu 77.3 cm olmaktadır. Bu nedenle yanıcı madde ortalama boyları belirlenirken ağırlıklı ortalama dikkate alınmıştır.



Şekil 13. Ortalama yanıcı madde boyunun belirlenmesi, homojen yanıcı madde gruplarının boyları (a) ve genişlikleri (b)

Örnek parsellerdeki toprak üzerindeki kuru ölü yanıcı maddelerle canlı yanıcı maddelerin hepsi toprak seviyesinden kesilerek alınmıştır (Şekil 14).



Şekil 14. Yanıcı maddelerin toprak seviyesinden kesilerek alınması

Kesilen ve toplanan örnekler kuru ve canlı olarak iki kısma ayrıldıktan sonra budanarak 0.6cm'den küçük, 0.6-2.5cm arası ve 2.5cm'den büyük olmak üzere üç çap sınıfına ayrılmıştır. Bunlara ek olarak toprak üstü yanıcı maddelerinden dökülmüş yapraklar (ölü yanıcı maddeler) da toplanarak analizlere katılmak üzere ince ölü yanıcı maddelere eklenerek saklanmıştır.

Yanıcı maddelerin hepsi hassas terazi ile tartılarak alandaki toplam yanıcı maddelerin yaş ağırlıkları belirlenmiştir. Ağırlık tespitinin hemen sonrasında her bir çap sınıfını temsil edecek kadar yanıcı madde örnekleri alınarak tartılmış ve fırın kurusu ağırlıklarının belirlenmesi için laboratuara getirilmiştir. Örnekler, kurutma fırınlarında 105 °C' de 24 saat ya da ağırlıklarında bir değişme olmayıncaya kadar kurutulduktan sonra tekrar tartılarak fırın kurusu ağırlıkları belirlenmiştir. Kurutma öncesi ve kurutma sonrası ağırlıklarından yararlanarak örnekleme alanlarındaki her çap sınıfı için yanıcı madde miktarları hesaplanmıştır.

2.2.2. Bulgular

Deneme parsellerinde yanıcı madde özellikleri ve toplam yanıcı madde miktarları ile ortalamaları ve standart sapmaları (S.S.) Tablo 6'da verilmiştir. Örnekleme yapılan parsellerdeki yanıcı maddelerin kapahlığı %40 ile 95, yüksekliği ise 30 ile 130 cm arasında

değişmektedir. Bu parsellerdeki toplam canlı yanıcı maddeler fırın kurusu ağırlık olarak 0.71 ile 3.89 kg/m² arasında değişirken, toplam ölü yanıcı maddeler 0.18 ile 1.24 kg/m² arasında değişmektedir. Örneklem parsellerindeki toplam yanıcı madde miktarları 1.06 ile 5.13 kg/m² arasında değişmektedir

Yanıcı madde miktarını tespit etmek için yapılan örneklemeler sonucunda belirlenen farklı özelliklerdeki yanıcı madde miktarları ile bağımsız değişkenler olan yanıcı madde ortalama boyu ve yanıcı madde kapalılığı arasında korelasyon ve regresyon analizi yapılmıştır.

Tablo 6. Deneme parsellerinde yanıcı madde özellikleri ve toplam yanıcı madde miktarları.

Parsel No	Kapalılık (%)	Boy (cm)	Yanıcı Maddelerin Fırın Kurusu Ağırlıkları (kg/m ²)							
			Canlı Yanıcı Maddeler			Ölü Yanıcı Maddeler			Genel	
			İnce	Kalın	Toplam	İnce	Kalın	Toplam	Toplam İnce	Toplam
1	50	45	1.49	0.34	1.83	0.16	0.04	0.20	1.65	2.02
2	85	70	1.04	1.56	2.60	0.35	0.07	0.41	1.39	3.02
3	50	75	0.69	1.68	2.37	0.82	0.03	0.85	1.51	3.22
4	45	70	1.15	0.27	1.42	0.33	0.10	0.43	1.48	1.85
5	30	65	0.99	0.22	1.21	0.27	-	0.27	1.26	1.47
6	70	95	1.84	1.75	3.58	0.86	-	0.86	2.70	4.44
7	35	65	0.72	0.16	0.88	0.18	-	0.18	0.90	1.06
8	40	70	0.64	0.25	0.88	0.53	0.08	0.61	1.17	1.50
9	35	50	0.74	0.07	0.80	0.41	0.04	0.44	1.15	1.24
10	70	90	1.60	1.12	2.71	0.88	0.13	1.02	2.48	3.73
11	30	40	0.62	0.09	0.71	0.40	0.12	0.51	1.02	1.21
12	35	55	0.62	0.50	1.12	0.15	0.07	0.22	0.77	1.35
13	35	40	0.83	0.14	0.97	0.16	0.11	0.26	0.99	1.23
14	50	60	0.63	0.73	1.36	0.55	0.09	0.64	1.18	2.00
15	130	95	1.77	2.13	3.89	1.17	0.08	1.24	2.94	5.13
Ortalama	53	66	1.02	0.73	1.76	0.48	0.08	0.54	1.51	2.30
SS	26	17	0.43	0.69	1.00	0.31	0.03	0.31	0.65	1.25

Korelasyon analizi sonucu toplam yanıcı madde miktarı (YM_{gt}) ile yanıcı madde ortalama boyu (YM_b) ve kapalılık (YM_k) arasında kuvvetli ilişki olduğu ortaya çıkmıştır (r=0.892, r=0.844; P<0.01). Aynı şekilde toplam canlı yanıcı madde miktarı (YM_{tc}) ile ortalama boy ve kapalılık arasında da kuvvetli ilişki bulunmaktadır (r=0.889, r=0.814; P<0.01). Yapılan korelasyon analizleri ortalama boy ve kapalılığın yanıcı madde miktarı üzerinde belirleyici etkisinin olduğunu göstermiştir (Tablo 7).

Tablo 7. Yanıcı madde özellikleri arasındaki korelasyon

	YM _b	YM _k	YM _{ic}	YM _k	YM _{tc}	YM _{iö}	YM _{tö}	YM _{gt}	YM _{ti}
YM _b	1,000								
YM _k	,707**	1,000							
YM _{ic}	,707**	,647**	1,000						
YM _k	,853**	,783**	,583*	1,000					
YM _{tc}	,889**	,814**	,828**	,939**	1,000				
YM _{iö}	,734**	,807**	,546*	,799**	,783**	1,000			
YM _{tö}	,729**	,773**	,527*	,768**	,753**	,991**	1,000		
YM _{gt}	,892**	,844**	,791**	,942**	,986**	,872**	,851**	1,000	
YM _{ti}	,813**	,808**	,918	,763**	,916**	,833**	,816**	,934**	1,000

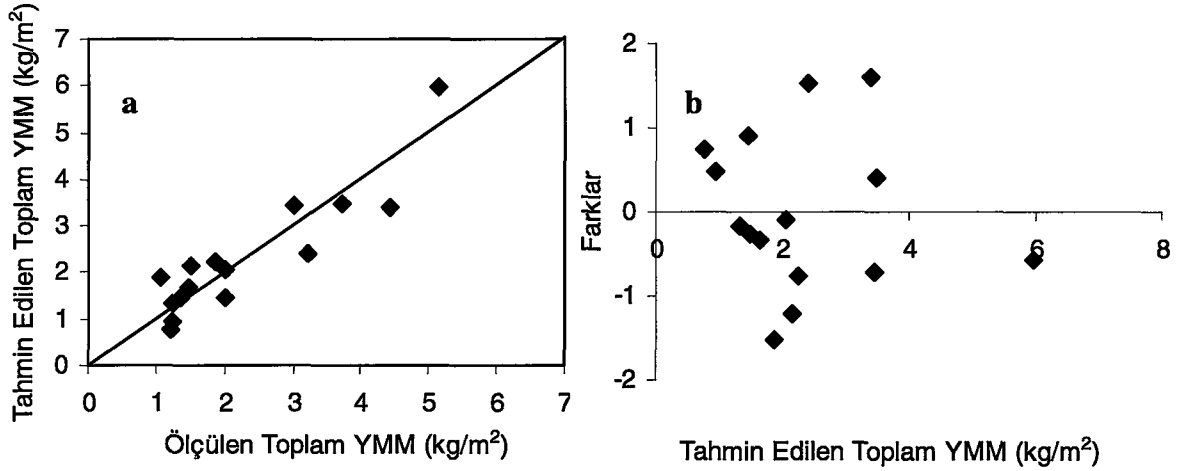
** 0.01 güven düzeyinde anlamlı

* 0.05 güven düzeyinde anlamlı

Yapılan regresyon analizi sonucunda, ortalama boy ve kapalılığa bağlı olarak yanıcı madde miktarlarını tahmin etmek için regresyon modelleri geliştirilmiştir (Tablo 8). Regresyon analizleri sonucunda kapalılık ve ortalama boy ile genel toplam (YM_{gt}), toplam canlı (YM_{tc}), ince ölü (YM_{iö}) ve toplam ölü (YM_{tö}), yanıcı madde miktarları arasında kuvvetli ilişkiler olduğu ortaya çıkmıştır.

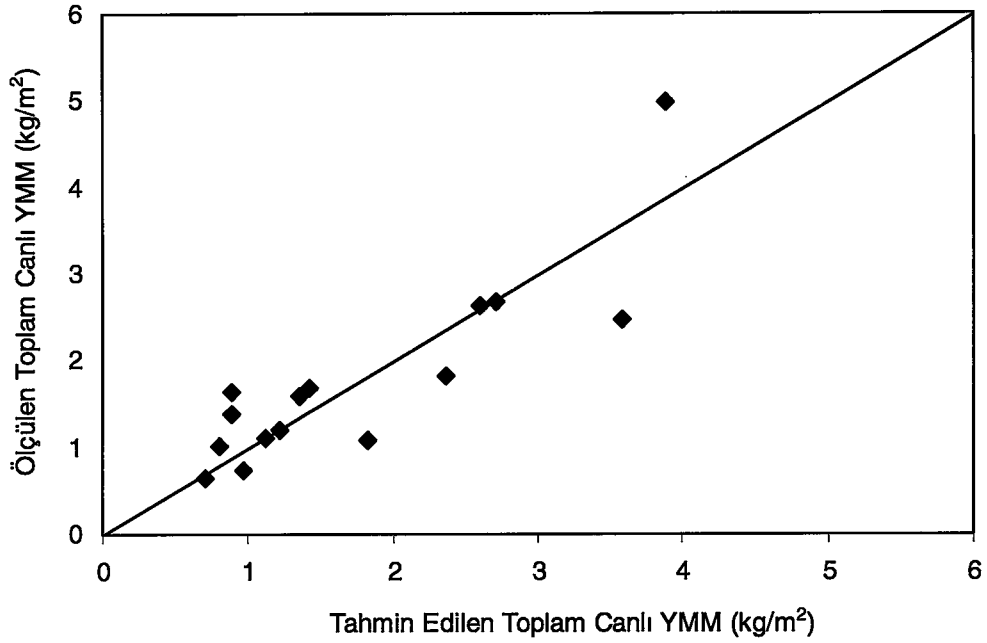
Tablo 8. Regresyon analizi sonucunda, ortalama boy ve kapalılığa bağlı olarak yanıcı madde miktarlarını tahmin etmek için geliştirilen regresyon modelleri (R²= belirtme katsayısı, S.H.=standart hata).

No	Regresyon Modeli	R ²	S.H.
1	YM _{ic} = 0.00721* <i>Kap</i> + 0.008186* <i>Boy</i> + 0.12	0.543	0.32
2	YM _{tö} = 0.009222* <i>Kap</i> + 0.004398* <i>Boy</i> - 0.295	0.664	0.20
3	YM _{iö} = 0.01005* <i>Kap</i> + 0.003853* <i>Boy</i> - 0.381	0.705	0.19
4	YM _{gt} = 0.06051* <i>Kap</i> - 1.675	0.713	0.72
5	YM _{ti} = 0.01726* <i>Kap</i> + 0.01204* <i>Boy</i> - 0.261	0.771	0.35
6	YM _k = 0.01421* <i>Kap</i> + 0.01591* <i>Boy</i> - 1.037	0.792	0.35
7	YM _{gt} = 0.03143 + 0.04304* <i>Boy</i>	0.796	0.61
8	YM _{tc} = 0.02127* <i>Kap</i> + 0.02409* <i>Boy</i> - 0.91	0.859	0.42
9	YM _{gt} = 0.03048* <i>Kap</i> + 0.02854* <i>Boy</i> - 1.208	0.887	0.47



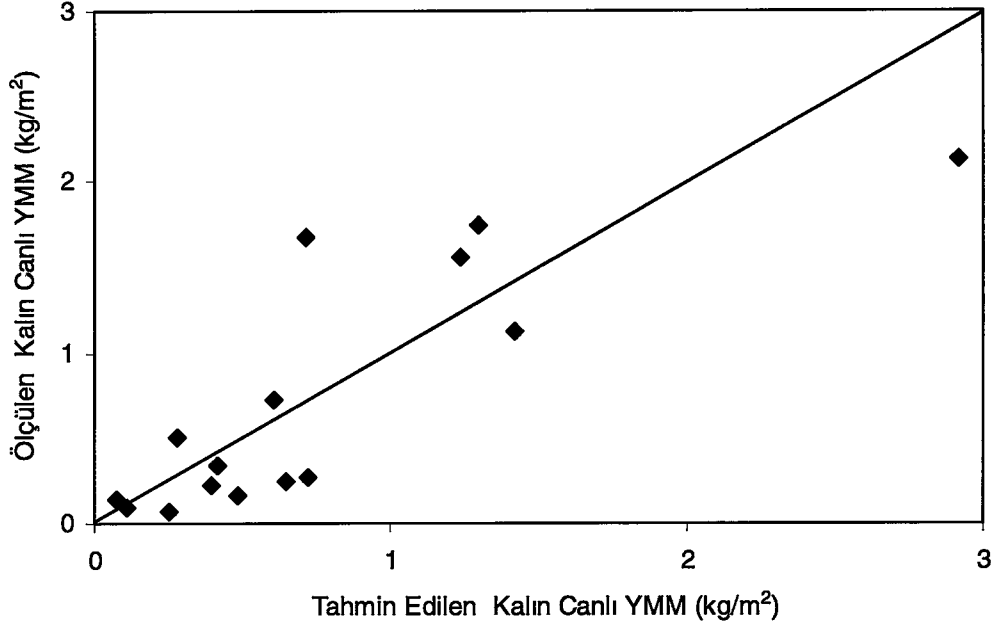
Şekil 15. Toplam yanıcı madde miktarının ölçülen değerleriyle kapalılık ve ortalama boya bağlı olarak model 9 ile tahmin edilen değerleri arasındaki ilişki (a) ve hata terimleri dağılımı (b)

Tablo 8 incelendiğinde, geliştirilen modellerle yanıcı madde miktarındaki değişkenliğin toplam yanıcı maddelerde %89 (md. 9), canlı yanıcı maddelerde %86 (md. 8) ve ölü yanıcı maddelerde %66'lık bir kısmı (md. 2) ortalama boy ve kapalılığa bağlı olarak açıklanmıştır. Regresyona giren değişkenler normal dağılım göstermekte olup, hata terimleri rasgele bir dağılım göstermekte olup ortalamaları sıfırdır. Genel toplam yanıcı madde miktarının hesaplanan değerleriyle kapalılık ve ortalama boya bağlı olarak tahmin edilen değerleri arasındaki ilişki ve hata terimleri dağılımı Şekil 15'de gösterilmektedir. Toplam canlı yanıcı madde miktarının hesaplanan değerleriyle kapalılık ve ortalama boya bağlı olarak tahmin edilen değerleri arasındaki ilişki Şekil 16'da gösterilmektedir.

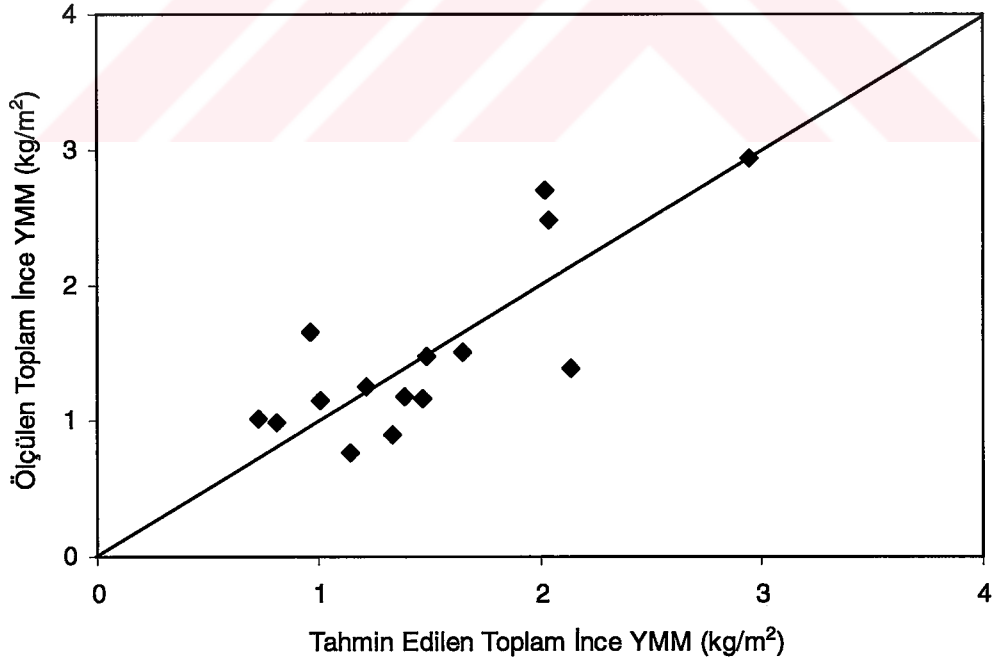


Şekil 16. Toplam canlı yanıcı madde miktarının ölçülen değerleriyle kapalılık ve ortalama boya bağlı olarak model 8 ile tahmin edilen değerleri arasındaki ilişki

Yanıcı madde ortalama boyu tek başına toplam yanıcı madde miktarındaki değişkenliğin %80'ini açıklarken (Tablo 8, md. 7), kapalılık tek başına %71'ini açıklamaktadır (Tablo 8, md. 4). Her ikisinin de regresyona katılmaları durumunda belirtme katsayısı %89'a yükselmektedir (Tablo 8, md. 9). Ayrıca, yanıcı maddelerdeki değişkenliğin kalın canlı yanıcı maddelerde %79 (Tablo 8, md. 6), toplam ince yanıcı maddelerde %77 (Tablo 8, md. 5), canlı ince yanıcı maddelerde %54'lük kısmı (Tablo 8, md. 1) ortalama boy ve kapalılığa bağlı olarak açıklanmıştır. kalın canlı ve toplam ince yanıcı madde miktarlarının ölçülen ve ortalama boy ve kapalılığa bağlı olarak tahmin edilen değerleri arasındaki ilişki Şekil 17 ve 18'de gösterilmiştir.



Şekil 17. Kalın canlı yanıcı madde miktarının ölçülen değerleriyle ortalama boy ve kapalılığa bağlı olarak model 6 ile tahmin edilen değerleri arasındaki ilişki



Şekil 18. Toplam ince yanıcı madde miktarının ölçülen değerleriyle ortalama boy ve kapalılığa bağlı olarak model 5 ile tahmin edilen değerleri arasındaki ilişki

2.2.3. Sonuçlar ve neriler

Bu çalışmada öncelikle 15 adet örnekleme alanı alınarak yanıcı madde özellikleri belirlenmiştir. Bunlara bağlı olarak yapılan regresyon analizleri sonucunda maki tipi yanıcı maddelerde kapalılık ve ortalama boy ile toplam, canlı, ince ölü ve ölü yanıcı madde miktarları arasında kuvvetli ilişkiler ortaya çıkmıştır.

Analizler sonucunda, yanıcı madde özelliklerinden ortalama boy ve kapalılığı kullanarak, genel toplam, toplam canlı, kalın canlı ve ince lü yanıcı madde miktarı geliştirilen regresyon modelleriyle tahmin edilmiştir. Burada geliştirilen modeller kullanılarak, benzer alanlarda yanıcı madde ortalama boyu ve kapalılık kullanılarak yanıcı madde miktarı tahminleri pratik bir şekilde yapılabilecektir.

Toplam yanıcı madde miktarını sadece yanıcı madde ortalama boyuna bağlı olarak tahmin eden bir model geliştirilmiştir. Benzer şekilde, yanıcı madde miktarını kapalılığa bağlı olarak da tahmin eden bir model geliştirilmiştir. Yanıcı madde ortalama boyu ve kapalılık modele birlikte girdiklerinde yanıcı madde miktarının tahmin edilmesinde kullanılabilecek en iyi model ortaya çıkmıştır. Ayrıca, ortalama boy ve kapalılığa bağlı olarak kalın canlı, toplam ince, ince canlı, ölü ve ince lü yanıcı madde miktarlarını tahmin modelleri geliştirilmiştir (Tablo 8).

Bu alışma kapsamında örnekleme çalışması yapılan parsellerin yanıcı madde miktarları 1.06 ile 5.13 kg/m² arasında olmuştur. Yapılacak bu tür çalışmaların sayısı artırılarak yanıcı madde miktarlarının daha fazla olduğu alanlarda örnek alanlar alınarak bu tür tahmin modellerinin hassasiyeti yükseltilebilir ve uygulama alanları genişletilebilir.

Yapılan bu çalışmayla, yanıcı madde miktarını tahmin modelleri geliştirilmiştir. Modellere bakıldığında, yanıcı madde miktarı ile yanıcı madde ortalama boyu ve kapalılık arasında çok yakın ilişkiler olduğu görülmektedir. Orman yangınlarıyla ilgili olarak çok geniş alanlarda yanıcı madde miktarlarının belirlenmesi gerekmektedir. Günümüzde, uzaktan algılama, uydu ve hava fotoğrafları kullanılarak meşcerelerin ortalama boyu ve kapalılıkları kolaylıkla tahmin edilebilmektedir. Dolayısıyla, geliştirilen bu modeller yardımıyla, yanıcı madde miktarının belirlenmesi için yanıcı madde ortalama boyu ve kapalılığı rahatlıkla kullanılabilir. Bu modeller kullanılarak, çok az zaman ve para harcanarak çok geniş alanlarda yanıcı madde miktarları belirlenebilir.

Bu çalışma yangın tehlike oranları sisteminin ana bölümlerinden biri olan yangın davranışının tahmini kısmında kullanılacak yanıcı madde modelini oluşturmaktadır. Yangına hassas bölgelerde bulunan diğer yanıcı madde tiplerinde de yangın davranışlarının belirlenebilmesi için bu tür araştırmalar yapılarak yanıcı madde modelleri oluşturulmalıdır. Bu modeller, yanıcı madde miktarının belirlenmesinin önemli olduğu bütün alanlarda rahatlıkla kullanılabilir.

2.3. Maki Tipi Yanıcı Maddelerde Yangın Davranışının Belirlenmesi

Yangın davranışının tahmin edilmesinin, orman yangınlarıyla ilgili yapılacak yangın öncesi planlamalar, yangınla mücadele şekillerinin belirlenmesi ve planlanması aşamasında karar verme organlarına önemli katkıları olmaktadır. Bunun yanında yangınlardan sonra vejetasyonun nasıl bir gelişim izleyeceğinin ve ne kadar etkileneceğinin belirlenmesi için de yangın davranışının doğru bir şekilde tahmin edilmesi gerekmektedir. Orman yangınları, etrafının açık olması ve ormandaki yanıcı maddelerin çoğu zaman bir süreklilik arzemesinden dolayı her an şekil ve boyut değiştirebilecek yapıdadır. Bu sebeple, geniş alanlarda etkili olan orman yangınlarının gözlenmesi, kaydedilmesi ve envanterinin çıkartılması zordur. Yangınlar, değişik yanıcı madde özellikleri ve hava şartları altında farklı davranışlar gösterirler. Bunların en önemlileri yangın yayılma oranı, yanıcı madde tüketimi ve yangın şiddetidir.

Yangın davranış özelliklerinin önceden kolaylıkla tahmin edilememesinden dolayı, yapılacak müdahale şeklinin belirlenmesi ve kaynakların kullanımı her zaman doğru ve etkin olamamaktadır. Özellikle büyük yangınlarda veya aynı anda birden çok yangının çıktığı durumlarda gerek koordinasyon ve gerekse kaynakların etkin kullanılmaması nedeniyle büyük sıkıntılar yaşanmaktadır. Yangın davranışının doğru bir şekilde tahmin edilmesi karar vericilerin kaynakların kullanımı ve mücadele şekillerinin belirlenmesinde de doğru kararlar almalarına yardımcı olacaktır.

Yangın davranışının tahmini yanıcı madde tiplerine göre geliştirilmiş yangın davranış modellerinden oluşur. Bu modellerin kullanılabilmesi için hava halleriyle birlikte topografya ve yanıcı madde özelliklerinin de bilinmesi gerekmektedir. Sonuç olarak her hangi bir yerde çıkabilecek bir yangının mevcut hava halleri, topografya ve yanıcı madde özelliklerine bağlı olarak nasıl bir davranış sergileyeceği sayısal olarak ortaya konulmaktadır.

Yangın davranışıyla ilgili güvenilir sayısal verilerin toplanması zaman alıcı ve yavaş bir işlemdir. Bu konuda dünyada yangına hassas ülkeler tarafından uzun yıllardan beri çok kapsamlı araştırmalar yapılmaktadır. Kuzey Amerika'da altmışlı yıllardan sonra yapılan çalışmalarla yangınlar kapsamlı bir şekilde ele alınarak yangın verileri toplanmaya başlanmıştır (Anderson, 1968; Sando, Haines, 1972; Walker, Stocks, 1972; Stocks, Walker, 1973; Wade, Ward, 1973; Stocks, 1975; Alexander vd., 1983; Simard vd., 1983; Street, Stocks, 1983). Ülke genelinde yapılan bu gibi çalışmalarla elde edilen bilgiler bir araya getirilerek orman yangını veri tabanları oluşturulmuştur. Bunun yanında, Kanada yangın araştırmacıları *Pinus resinosa* ağaçlandırması (Van Wagner, 1968a), *Pinus contorta* doğal meşcereleri ((Lawson, 1973), *Pinus banksiana* yüksek dağ ormanları (Quintilio vd., 1977) ve *Pinus banksiana* kesim artıklarının bulunduğu alanlar (Stocks, Walker, 1972) gibi önemli yanıcı madde tiplerinde deneme yangınları yaparak daha önce oluşturulan yangın veri tabanına ilaveler yapmışlardır. Kanada'da uzun süreden beri çıkacak bir yangında, yangın yayılma oranı, yanıcı madde tüketimi ve yangın şiddetinin tahmin edilebileceği, orman yangını tehlike oranları sisteminin bir ara parçasını oluşturan yanıcı madde tipine özel yangın davranış modelleri kullanılmaktadır. Buna bağlı olarak hem doğal meşcerelerde (Stocks, 1985) hem de tıraşlama kesim artıklarında (Stocks, Walker, 1972; McRae, 1985), deneme yangınları yapmışlardır. Küçük boyuttaki deneme yangınlarından elde edilen veriler ve önemli yanıcı madde tiplerinde çıkan yangınlardan elde edilen verilerle yangın davranış modelleri oluşturularak mevcut yangın davranışını tahmin sistemlerini oluşturmuşlardır.

Amerikan yangın tehlike oranları sistemi için değişik yanıcı madde modelleri oluşturulmuştur. Sistem, 1964 yılında iki yanıcı madde modelinden (USDA, 1964) oluşurken, yanıcı madde modelleri 1972 yılında 9'a (Deeming vd., 1972), 1978 yılında ise 20'ye (Deeming vd., 1978) ulaşmıştır. Bu zaman zarfında, yangınların kontrol edilmesi ve yangının potansiyel zararlarının hesaplanması için yangın davranışının tahmin edilmesi görüşü ön plana çıkmıştır. Sistem, hava halleri ve yanıcı madde farklılıklarının yangın davranışı üzerindeki etkilerinin ölçüldüğü laboratuvar denemelerine dayanmaktadır. Yangın davranışının tahmin edilmesi için, yangın tehlike oranlarından farklı olarak 13 yanıcı madde modeli oluşturularak tablolar halinde düzenlenmiştir (Rothermel, 1972; Albini, 1976).

Yangın tehlike oranlarının ve yangın davranışının sayısal temelleri, matematiksel yangın davranış modellerinin geliştirilmesiyle oluşturuldu (Rothermel (1972). Bu model Albini (1976) tarafından grafikler veya nomogramlarda kullanılacak şekilde düzenlendi ve Burgan (1979) tarafından programlanabilir bir mikro işlemci geliştirilerek hesap makinelerinde kullanılabilir hale getirildi (Rothermel, 1983).

Yangın tehlike indeksleri veya yangın davranışının belirlenmesi için geliştirilen matematik modeller, yanıcı madde özelliklerinin tanımlanmasına ihtiyaç duymaktadır. Yanıcı madde özelliklerinin belirlenmesi yanıcı madde modelleri olarak ortaya çıkmış ve çayır, çalı/maki, ağaçlar ve kesim artıkları olmak üzere dört gruba ayrılmıştır. Bu yanıcı madde gruplarındaki yanıcı maddelerin miktarı, derinliği, yoğunluğu, nem içeriği ve kimyasal bileşimi gibi farklı özellikleri yangın davranışlarında da farklılıklara neden olmaktadır (Anderson, 1982).

Amerikan yangın tehlike oranları sistemi, özel bir alan için yangın davranışını tahmin etmekten öte genel olarak yangın potansiyelini ortaya koymaktadır. Yangın tehlike oranı, belli bir alanda yangın davranışını tahmin etmek için kullanılamaz. Bunun yanında, yangın davranışı tahmin sistemi (BEHAVE) (Andrews, 1986) veya yangın büyüme simülasyonu (Finney, 1994; Andrews, Bevins, 1993) gibi diğer araçlar, belli bir alandaki yangın davranışını tahmin etmek için kullanılmaktadır. Bu gibi araçlarla yangın davranışının tahmin edilmesi için rüzgar hızı ve yönü, eğim oranı, yanıcı madde nem içeriği ve bir yanıcı madde modeli kullanılmaktadır. Yangın davranışının tahmin edildiği süre boyunca yanıcı madde, yanıcı madde nemi, rüzgar ve eğimin sabit kaldığının kabul edilmesi bu araçların eksikliğidir (Andrews, Bradshaw, 1996).

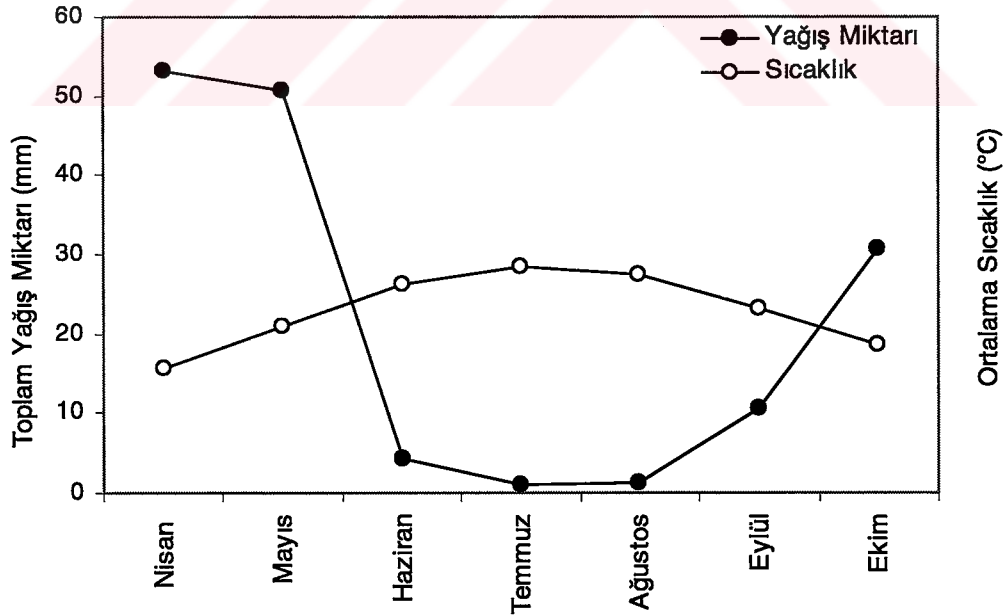
Avustralya'da yangın tehlike oranları sistemi daha çok McArthur tarafından geliştirilen çayırılık alanlar yangın tehlike indeksi ve okalıptüs ormanlarında geliştirilen orman yangın tehlike indeksinden oluşan iki yangın modeline dayanmaktadır (McArthur, 1966; McArthur, 1967). McArthur, 30 ile 60 dakikaya kadar yakılan 800 test yangınında ölçülen yangın davranışı verilerine dayanan bir sayaç oluşturmuştur. Böylece, Kanada sisteminde olduğu gibi, tam manasıyla arazi ölçümlerine dayanan deneysel kökenli bir sistem oluşmuştur. Sistem daha sonra indeksler ve eşitlikler haline sokulmuş (Noble vd., 1980) ve hesap makinesinde kullanılmak üzere programlanmıştır (Crane, 1982). McArthur'un orman modelini kullanarak yangın tehlikesinin hesaplanmasında sadece hava halleri verileri yeterli iken, çayırılık alan modelinde hava hallerinin yanında yanıcı

maddenin sertleşmiş kısmının (ölü materyalin yüzdesi) da bilinmesi gerekmektedir (Gill vd., 1996).

Yukarıda verilen örneklerde olduğu gibi yangına duyarlı ülkelerin çoğunda yangın davranış modelleri altmışlı yıllardan beri uygulanmaya başlanmıştır. Türkiye’de ise yangın davranış modelleri henüz uygulanmaya başlanılmadığı gibi bu konuda model oluşturmak için kullanılabilir yeterli ve kapsamlı bir araştırma da yapılmamıştır. Yapılan bu araştırmayla, ileride oluşturulması planlanan Türkiye Yangın Tehlike Oranları Sisteminin (TYTOS) küçük bir bölümü açıklanmaya çalışılarak bu konuda bir başlangıç yapmak amaçlanmıştır.

2.3.1. Materyal ve Metot

Maki tipi yanıcı maddelerde yangın davranışını tespit edebilmek için yapılan araştırma, Ege ve Akdeniz bölgesi maki vejetasyonunu temsil eden, Aydın Orman İşletme Müdürlüğü Söke Orman İşletme Şefliği sınırları içinde bulunan maki florası ile kaplı bir alanda gerçekleştirilmiştir. Araştırma alanı 27°20’26” doğu boylamı ile 37°28’53” kuzey enlemleri arasında ve denizden 80 metre yükseklikte yer almaktadır.



Şekil 19. Orman yangınlarının en fazla meydana geldiği Nisan-Ekim aylarına ait 11 yıllık uzun dönem aylık ortalama toplam yağış miktarı ve sıcaklık değerleri

Araştırma alanı, kireçtaşı ana kayası üzerinde ranker toprak türüne sahiptir ve ortalama eğimi %5'tir. Ortalama yıllık yağış miktarı 657.7 mm' dir. Şekil 19'da, orman yangınlarının en fazla meydana geldiği Nisan-Ekim aylarına ait 11 yıllık uzun dönem aylık ortalama toplam yağış miktarı ve sıcaklık değerleri verilmiştir (DMİ, 2000).

Deneme yangınlarının yapıldığı alan bitki örtüsü olarak maki elemanlarından oluşmaktadır (Tablo 9). Şekil 20'de alanın bitki örtüsünden bir bölüm ve Şekil 21'de genel yapısı görülmektedir.

Tablo 9. Çalışma alanının bitki örtüsü

Bitki Adı	Familya Adı
1 <i>Arbutus andrachne</i> L.	<i>Ericaceae</i>
2 <i>Cistus creticus</i> L.	<i>Cistaceae</i>
3 <i>Hypericum empetrifolium</i> Wild.	<i>Guttiferae</i>
4 <i>Olea europae</i> L. var. <i>oleaster</i>	<i>Oleaceae</i>
5 <i>Pistacia lentiscus</i> L.	<i>Anacardiaceae</i>
6 <i>Quercus coccifera</i> L.	<i>Fagaceae</i>
7 <i>Sarcopoterium spinosum</i> L.	<i>Rosaceae</i>

2.3.1.1. Yangın Öncesi Ölçümler

Yanıcı madde miktarının belirlenmesinde 15 adet 2x2m örnek parsel alınmıştır. Örnek parsellerdeki yanıcı maddelerin hepsi budanarak, bunlardan ölü (kuru) ve canlı olanlar sürgün ve dal çapları itibariyle 0.6cm'den küçük, 0.6-2.5cm arası ve 2.5cm'den büyük olmak üzere üç bölüme ayrılmıştır. Bunlara ek olarak toprak üstü yanıcı maddelerinden dökülmüş yapraklar (ölü yanıcı maddeler) da toplanarak analizlere katılmak üzere saklanmıştır. Yanıcı maddelerin hepsi hassas terazi ile tartılarak alandaki toplam yanıcı maddelerin ağırlıkları belirlenmiştir. Her bir farklı yanıcı maddeden örnekler alınarak ağırlıkları tespit edilip, kurutma fırınlarında 105 °C' de 24 saat ya da ağırlıklarında bir değişme olmayıncaya kadar kurutulduktan sonra tartılarak fırın kurusu ağırlıkları belirlenmiştir. Kurutma öncesi yaş ağırlıklarıyla fırın kurusu ağırlıkları karşılaştırılarak nem içerikleri belirlenmiştir. Bu örnekleme alanlarında her çap kademesindeki yanıcı maddelerin nem içerikleri ayrı ayrı belirlenerek toplam kuru yanıcı madde miktarları hesaplanmıştır. Yanıcı madde yapısına ilişkin olarak birim alandaki yanıcı madde miktarı (diri örtü) (kg/m^2), ölü örtü miktarı (kg/m^2), yanıcı maddenin (tepe çatısının) toprağı kapatma oranı (kapalılık) (%) ve yanıcı madde yüksekliği (cm) belirlenmiştir.



Şekil 20. Deneme yangınlarının yapıldığı alanın bitki örtüsü



Şekil 21. Deneme yangınlarının yapıldığı alanın genel yapısı

2.3.1.2. Hava Halleri

Deneme yangınlarından bir hafta önce çalışma alanında kurulan seygar meteoroloji istasyonundan günlük hava halleri (sıcaklık, bağıl nem, yağış miktarı, rüzgar hızı) ölçülüp bilgisayara kaydedilmiştir. Bu veriler daha sonraki analizlerde yangın davranışı ile ilişkiye getirilerek yangın davranış modellerinin geliştirilmesinde kullanılmıştır.

2.3.1.3. Yangın Öncesi Yanıcı Madde Nem İçeriklerinin Belirlenmesi

Yanıcı madde ile ilgili olarak deneme yangınlarından hemen önce ölü ve diri örtüden örnekler alınmıştır. Bu yanıcı madde örnekleri, hassas terazi ile tartılarak yanıcı maddelerin yaş ağırlıkları belirlenmiştir. Her bir örnek, kurutma fırınlarında 105 °C' de 24 saat ya da ağırlıklarında bir değişme olmayıncaya kadar kurutulduktan sonra tartılarak fırın kuru ağırlıkları belirlenmiştir. Deneme yangını parsellerindeki ölü ve diri yanıcı madde örneklerinin kurutma öncesi yaş ağırlıklarıyla fırın kuru ağırlıkları karşılaştırılarak nem içerikleri ayrı ayrı belirlenmiştir.

2.3.1.4. Yangın Anında Yapılan Ölçümler

Kontrollü yakma yapılacak olan 10x20m boyutlarındaki 25 parsel, dozerle sürülerek rüzgar yönünde oluşturulmuş ve parsellerin etrafı 3m genişliğinde emniyet şeritleriyle bölünmüştür (Şekil 22). Deneme yangınları sırasında, yangının diğer alanlara sıçramasını önlemek ve gerektiğinde söndürmek için alanda iki arazöz ve iki yangın ekibi hazır bulundurulmuştur. Deneme yangınları 25 parselde, rüzgar yönüne uygun olarak parselin bir kenarından yangın ibriği ile şerit halinde başlatılmıştır (Şekil 23). Yangının yayılması parsellerin karşılıklı kenarlarında daha önceden 2 m aralıklarla dikilmiş olan direklere yangınların ulaşma zamanları kaydedilerek tespit edilmiştir. Direklere ulaşma zamanı eşzamanlı tutulan iki kronometre değerinin ortalaması olarak alınmıştır. Bu değerler yangının yayılma oranı hesaplamalarında kullanılmıştır. Yangın anında rüzgar hızı ölçümleri el rüzgar ölçeri kullanılarak 10 sn aralıklarla yapılmıştır. Yangın anındaki hava hallerinin ölçüldüğü istasyon yakılan parsellerden 40 m uzağa, yerden 1,5 m yükseğe kurulmuştur. Alev yükseklikleri 30 sn aralıklarla kaydedilip bu değerler yangın şiddeti hesaplamalarında kullanılmıştır (Şekil 24). Yangın şiddeti Byram'ın (1959) yangın hattı şiddeti formülü (1) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$I=Hwr \quad (1)$$

Burada; I = Yangın şiddeti (kW/m),
 H = Açığa çıkan enerji miktarı (kJ/kg)
 w = Yanıcı madde miktarı (kg/m²)
 r = Yangın yayılma oranını (m/sn) göstermektedir.

2.3.1.5. Yangın Sonrası Ölçümler

Yangın öncesinde yanıcı madde örnekleri alınarak yanıcı madde miktarları belirlenmiş, yangınlardan hemen sonra ise yanıcı madde tüketiminin belirlenmesi için alanda tekrar yanıcı madde ölçümleri yapılmıştır. Parsellerde yanmayıp kalan yanıcı madde miktarı için her parselden ortalama 5 adet 50x50 cm'lik örnek alanlar alınmıştır. Başlangıçtaki yanıcı madde miktarı ve özellikleriyle bu veriler karşılaştırılarak yangının şiddeti (açığa çıkardığı enerji) (kW/m) ile yanıcı madde tüketimi (kg/m²) belirlenmiştir.

Çalışmada, 25 adet 10x20m'lik deneme parselinde kontrollü yakma yapılarak yanıcı madde özellikleri ve hava hallerinin yangın davranışı üzerine etkisi sayısal olarak ortaya konulmuştur.



Şekil 22. Deneme parsellerinin yangın emniyet yollarıyla bölünmesi



Şekil 23. Deneme yangınlarının şerit halinde başlatılması



Şekil 24. Deneme yangınlarına ait kayıtların tutulması

2.3.2. Yangın Davranışına Ait Bulgular

Deneme yangınlarına ait yanıcı madde özellikleri Tablo 9'da verilmiştir. Araştırmada yürütülen 25 adet deneme yangını verilerine göre, deneme parsellerinin yanıcı madde miktarları 1.93 ile 4.36 kg/m² arasında değişiklik göstermektedir. Yangınların yürütüldüğü günlerde hava şartlarında rüzgar hızı dışında büyük farklılıklar gözlenmemiştir. Bununla birlikte hava sıcaklığı 22.5 ile 29.3 °C arasında, bağıl nem %50 ile 77 ve ortalama rüzgar hızı 0.48 ile 15.48 km/s arasında değişmektedir.

Tablo 10. Deneme yangınlarına ait yanıcı madde özellikleri

No	Kapalılık (%)	Boy (cm)	Yanıcı Maddelerin Fırın Kurusu Ağırlıkları (kg/m ²)				Yanıcı Maddelerin Nem İçeriği (%)		
			İnce	Kalın ¹	Toplam Canlı ¹	İnce Ölü ¹	Genel Toplam ¹	Canlı	Ölü
1	80	60	1,22	0,76	1,98	0,65	2,95	36,5	18,6
2	70	35	0,95	0,23	1,19	0,46	1,93	28,2	15,3
3	80	40	1,10	0,34	1,44	0,58	2,38	33,4	18,2
4	75	45	1,07	0,45	1,52	0,55	2,37	34,7	20,2
5	80	80	1,34	1,18	2,52	0,73	3,52	41,9	21,9
6	83	65	1,28	0,87	2,15	0,70	3,18	38,9	20,1
7	73	60	1,14	0,76	1,90	0,58	2,73	34,3	19,5
8	80	45	1,13	0,45	1,58	0,60	2,52	34,0	17,6
9	80	45	1,13	0,45	1,58	0,60	2,52	33,0	17,6
10	70	40	0,98	0,34	1,32	0,48	2,07	31,5	17,9
11	80	40	1,10	0,34	1,44	0,58	2,38	30,3	16,4
12	90	55	1,30	0,66	1,97	0,74	3,11	33,6	19,7
13	90	35	1,18	0,24	1,43	0,66	2,54	32,7	15,8
14	85	40	1,15	0,35	1,50	0,63	2,53	31,9	17,3
15	85	40	1,15	0,35	1,50	0,63	2,53	30,7	17,6
16	90	75	1,42	1,08	2,51	0,81	3,68	39,6	22,1
17	80	40	1,10	0,34	1,44	0,58	2,38	30,9	18,7
18	70	35	0,95	0,23	1,19	0,46	1,93	28,6	19,3
19	65	60	1,04	0,76	1,80	0,50	2,49	31,9	18,9
20	75	115	1,49	1,92	3,41	0,82	4,36	50,7	27,7
21	85	70	1,33	0,98	2,31	0,74	3,38	35,7	18,9
22	85	60	1,27	0,77	2,04	0,70	3,10	30,6	17,9
23	75	35	1,01	0,24	1,25	0,51	2,08	35,3	16,7
24	80	45	1,13	0,45	1,58	0,60	2,52	38,9	19,1
25	90	75	1,42	1,08	2,51	0,81	3,68	44,4	21,3

¹ Yanıcı madde miktarının belirlenmesi bölümünde geliştirilen regresyon modellerinden hesaplanmıştır

Deneme parsellerinde bulunan yanıcı maddelerin ortalama boyları, kapalılıkları ve toplam yanıcı madde miktarlarındaki değişkenlik, yangın davranışında farklılıkların ortaya çıkmasına neden olmuştur. Yayılma oranı 0.8 ile 8.9 m/dk ve yangın şiddeti 622.8 ile 10355.3 kW/m arasında değişmiştir. Bu tür farklılıklar yanıcı madde özellikleri ve rüzgar

hızındaki farklılıklardan kaynaklanmaktadır. Deneme yangınlarına ait hava halleriyle yangın davranış verileri Tablo 11’de verilmiştir.

Tablo 11. Deneme yangınlarına ait hava halleri ve yangın davranış verileri

No	Sıcaklık (°C)	Bağıl Nem (%)	Rüzgar (m/dk)	Alev Yük. (m)	Yayıma Oranı (m/dk)		Yanıcı Madde Tüketimi (kg/m ²)		Yangın Şiddeti (kW/m)	
					Ölçüm	Tahmin	Hesap	Tahmin	Hesap	Tahmin
1	27,9	51,0	10,9	3,6	6,6	5,6	2,4	2,4	6125,7	5380,7
2	27,7	50,0	10,8	1,7	4,2	4,5	1,3	1,3	2533,6	2906,8
3	26,9	55,0	11,8	1,3	5,5	5,4	1,7	1,7	4130,5	4428,9
4	26,7	52,0	11,3	2,6	5,1	5,2	1,7	1,8	3852,1	4154,6
5	26,0	61,0	9,0	3,1	5,1	5,3	3,1	3,1	5654,4	5865,2
6	25,7	67,0	6,7	2,8	3,1	3,8	2,5	2,6	3110,9	3970,4
7	25,9	65,0	5,8	2,9	4,2	2,9	2,6	2,3	3650,0	2487,8
8	26,5	65,0	6,3	2,6	3,3	2,9	2,1	1,8	2603,9	2187,2
9	26,5	65,0	6,7	3,0	2,4	3,1	2,1	1,8	1913,9	2400,8
10	26,0	65,0	7,4	3,0	2,7	2,9	1,6	1,5	1787,6	1644,3
11	29,3	55,0	4,9	2,5	2,0	2,0	1,8	1,7	1499,1	1210,4
12	28,4	58,0	2,8	1,7	0,8	1,8	2,2	2,3	748,5	1977,5
13	27,3	62,0	7,7	2,1	3,1	3,6	1,5	1,6	2522,7	2905,9
14	27,3	62,0	8,1	2,5	4,9	3,8	1,8	1,7	3906,2	3095,3
15	27,3	62,0	1,0	1,0	0,8	0,3	1,7	1,7	622,8	350,0
16	26,1	65,0	14,8	3,6	8,9	8,3	3,2	3,1	10355,3	8955,4
17	24,2	74,0	11,6	2,4	6,0	5,3	1,8	1,7	4514,0	4343,7
18	24,2	74,0	9,8	2,3	3,1	4,0	1,0	1,3	1878,0	2437,6
19	22,5	77,0	7,2	1,7	2,6	3,3	2,1	2,2	2082,6	2570,9
20	22,5	77,0	5,8	3,4	5,1	4,6	2,8	4,4	6990,1	6376,9
21	22,5	77,0	4,4	2,4	2,8	2,9	2,9	2,8	2990,0	3398,5
22	23,4	71,0	3,9	2,0	2,5	2,3	2,6	2,5	2415,3	2469,3
23	23,4	71,0	4,9	2,0	2,8	1,7	1,3	1,4	1838,5	477,4
24	25,2	69,0	11,0	2,2	4,1	5,2	1,9	1,8	3254,9	4405,1
25	25,8	66,0	7,0	2,6	3,6	4,5	2,9	3,1	4142,1	5321,4

Deneme yangınlarının yapıldığı parsellerin yanıcı madde özellikleri birbirine yakın olmakla birlikte 20 numaralı parselin yanıcı madde ortalama boyu ve toplam yanıcı madde miktarı diğerlerinden belirgin bir şekilde yüksektir. Bu farklılık, 20 numaralı parselde yapılan deneme yangını sırasında ölçülen düşük rüzgar hızı ve hava sıcaklığı nedeniyle yangın davranışı özelliklerine yansımamıştır. Yayıma oranı ve yangın şiddetinin ölçülen değerleri açısından 16 numaralı deneme yangını diğerlerinden belirgin bir şekilde yüksek çıkmıştır. Bu farklılık 16 numaralı parselde, deneme yangınlarında kaydedilen en yüksek rüzgar hızının ortaya çıkmasından kaynaklanmıştır. Yapılan korelasyon analizinde rüzgar hızıyla yayılma oranı ve yangın şiddeti arasında kuvvetli bir ilişkinin ortaya çıkması bu sonucu doğrulamıştır.

Yangın davranış özellikleriyle yanıcı madde özellikleri ve hava halleri arasındaki ilişkileri belirlemek için SPSS istatistik paket programı kullanılarak korelasyon ve regresyon analizleri yapılmıştır. Analizler sonucunda ortaya çıkan korelasyon matrisi Tablo 12’de ve anlamlı ilişkilerin çıktığı regresyon modelleri ise Tablo 13’de verilmiştir.

Tablo 12. Yangın davranış karakteristikleri ile yanıcı madde özellikleri ve hava halleri arasındaki korelasyon matrisi

	SIC	NR	RÜZ	ALY	YYO	YMT	YŞ	KAP	BOY	INC	KAL	GTP	NMC	NMÖ
SIC	1,000 (25) ¹													
NR	-,888**	1,000 (25)												
RÜZ	,081 (25)	-,232 (25)	1,000 (25)											
ALY	-,047 (25)	,060 (25)	,321 (25)	1,000 (25)										
YYO	-,026 (25)	-,137 (25)	,843** (25)	,548** (25)	1,000 (25)									
YMT	-,123 (24)	,120 (24)	-,014 (24)	,514** (24)	,293 (24)	1,000 (24)								
YŞ	-,119 (25)	,006 (25)	,728** (24)	,658** (25)	,917** (25)	,565** (24)	1,000 (25)							
KAP	,310 (25)	-,127 (25)	-,146 (25)	,029 (25)	,029 (25)	,456* (24)	,191 (25)	1,000 (25)						
BOY	-,405* (25)	,338 (25)	-,070 (25)	,526** (25)	,293 (25)	,956** (24)	,609** (25)	,146 (25)	1,000 (25)					
INC	-,145 (25)	,192 (25)	-,133 (25)	,421* (25)	,240 (25)	,875** (24)	,571** (25)	,649** (25)	,847** (25)	1,000 (25)				
KAL	-,402* (25)	,337 (25)	-,072 (25)	,526** (25)	,292 (25)	,958** (24)	,609** (25)	,154 (25)	1,000** (25)	,851** (25)	1,000 (25)			
GTP	-,253 (25)	,256 (25)	-,113 (25)	,478* (25)	,270 (25)	,938** (24)	,807** (25)	,477* (25)	,939** (25)	,978** (25)	,942** (25)	1,000 (25)		
NMC	-,281 (25)	,230 (25)	,069 (25)	,534** (25)	,359 (25)	,703** (24)	,619** (25)	,229 (25)	,851** (25)	,777** (25)	,851** (25)	,835** (25)	1,000 (25)	
NMÖ	-,395 (25)	,346 (25)	,104 (25)	,502** (25)	,378 (25)	,698** (24)	,629** (25)	,038 (25)	,887** (25)	,702** (25)	,886** (25)	,801** (25)	,845** (25)	1,000 (25)

** Korelasyon 0.01 güven düzeyinde anlamlı

* Korelasyon 0.05 güven düzeyinde anlamlı

¹ Parantez içinde verilen değerler örnek sayısıdır

Yapılan korelasyon analizi sonucunda, yayılma oranının rüzgar hızıyla yakından ilişkili ($r=0.843$; $P<0.01$) olduğu belirlenmiştir. Tablo 13’deki regresyon modelleri incelendiğinde, rüzgar hızının tek başına yayılma oranında gözlenen değişkenliğin % 71’ini ($R^2=0.71$; $P<0.01$) açıkladığı (md. 1a) görülmektedir. Regresyon analizine, yanıcı madde ortalama boyu ve toplam yanıcı madde miktarı rüzgar hızının yanında ikinci değişken olarak ilave edildiğinde (md. 1b ve 1c) yayılma oranının açıklanmamış değişkenliğinin önemli bir kısmını daha açıklamaktadır ($R^2=0.835$ ve $R^2=0.845$; $P<0.01$).

Kapalılığın üçüncü değişken olarak ilave edilmesiyle açıklanan değişkenlik yüzdesinde önemli bir artış olmamıştır (md. 1d).

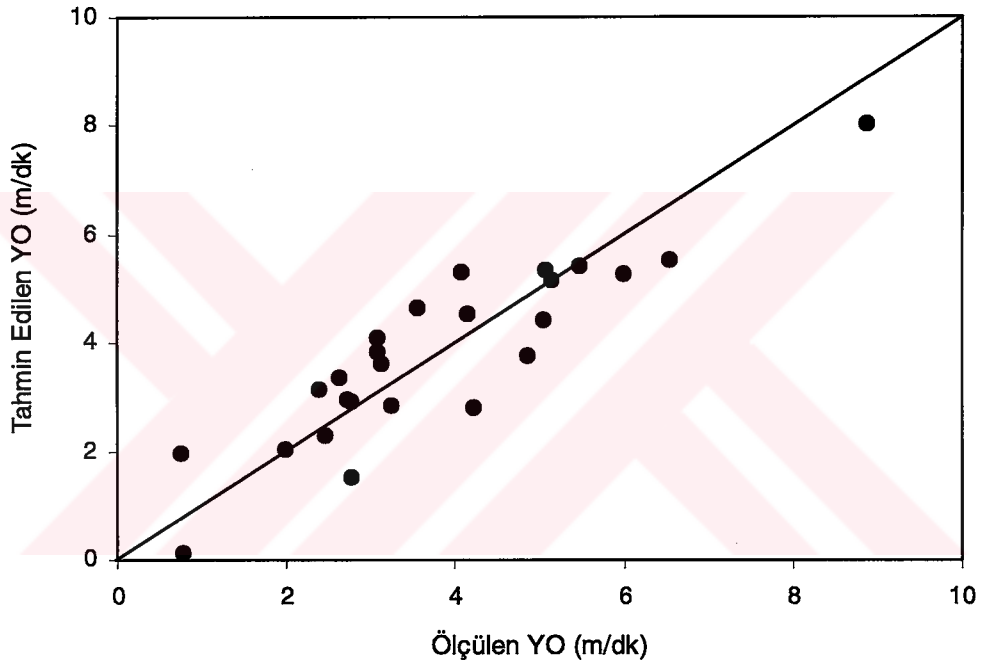
Canlı veya ölü yanıcı madde nem içeriğinin özellikle yanıcı maddelerin tutuşabilirliği (Wilson, 1985) ve yanma oranı üzerine olan bilinen etkilerinden (Rothermel, 1972; Catchpole vd., 1998) dolayı yangın davranışı üzerinde de önemli bir etkisi olacağı beklenmektedir, ancak bu çalışma sonuçları böyle bir etkinin varlığını ortaya koymamıştır. Bu durum deneme yangınlarının yapıldığı zamanlarda özellikle canlı yanıcı madde nem içeriklerinin fazla değişken olmamasından kaynaklanmış olabilir. Yayılma oranının ölçülen değerleriyle rüzgar ve toplam yanıcı madde miktarına bağlı olarak tahmin edilen değerleri arasındaki ilişki ve hata terimleri dağılımı Şekil 25 ve 26 da gösterilmektedir.

Tablo 13. Regresyon analizleri sonucunda geliştirilen yangın davranışıyla ilgili modeller ve bu modellere ait belirtme katsayısı (R^2) ve standart hata (S.H.) değerleri

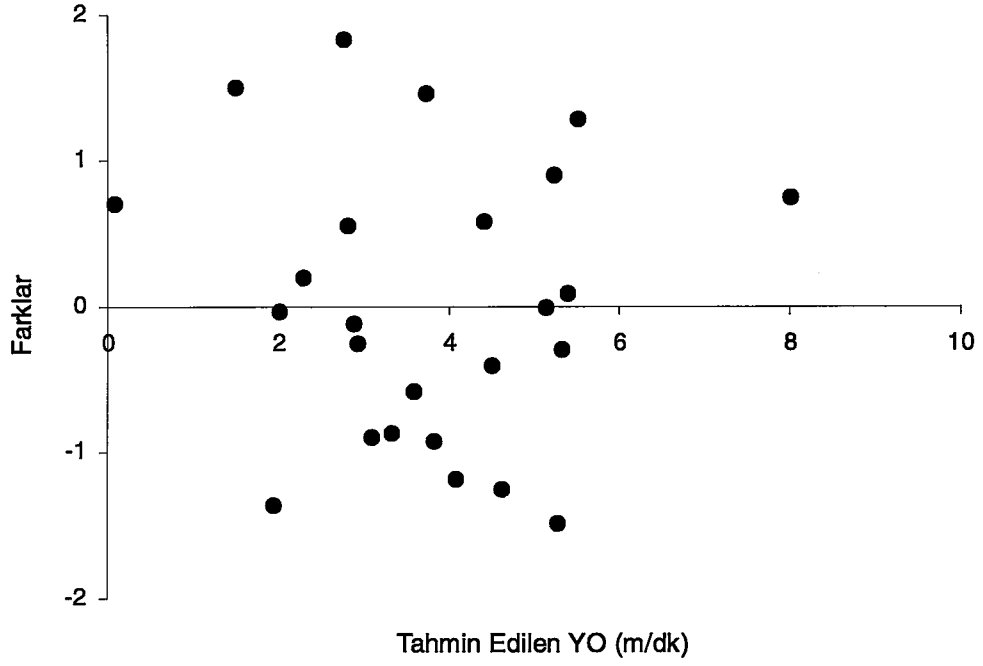
No	Modeller	R^2	S.H.
1a	$YO=0.188+0.472 \cdot Rüzgar$	0.710	1.00
1b	$YO=0.486 \cdot Rüzgar+0.034 \cdot Boy-1.721$	0.835	0.77
1c	$YO=0.495 \cdot Rüzgar+1.102 \cdot Genel Toplam-3.024$	0.845	0.75
1d	$YO=0.494 \cdot Rüzgar+0.028 \cdot Kapalılık+0.032 \cdot Boy-3.97$	0.846	0.76
2a	$YMT=0.115 \cdot Nem Ölü+3.646 \cdot Ince Ölü-2.317$	0.760	0.30
2b	$YMT=1.066 \cdot Genel Toplam-0.786$	0.880	0.21
2c	$YMT=0.026 \cdot Nem Ölü+1.004 \cdot Genel Toplam-1.111$	0.883	0.21
2d	$YMT=0.039 \cdot Boy+0.074$	0.914	0.18
2e	$YMT=1.872 \cdot Kalın + 1.006$	0.917	0.18
2f	$YMT=2.075 \cdot Kalın -0.04 \cdot Nem Ölü+ 1.724$	0.924	0.17
2g	$YMT=0.013 \cdot Kapalılık+0.037 \cdot Boy -0.868$	0.936	0.16
3a	$YŞ=2091.908 \cdot Alev-1681.8$	0.433	1644.36
3b	$YŞ=451.741 \cdot Rüzgar-240.939$	0.530	1433.57
3c	$YŞ=310.325 \cdot Rüzgar+1610.087 \cdot Alev-2887.5$	0.633	1352.51
3d	$YŞ=476.486 \cdot Rüzgar+12571.6 \cdot Ince Ölü-8129.5$	0.802	993.80
3e	$YŞ=447.509 \cdot Rüzgar+73.56 \cdot Boy-3951.5$	0.832	915.59
3f	$YŞ=465.694 \cdot Rüzgar+70.462 \cdot Boy+62.482 \cdot Kapalılık-8913.9$	0.871	819.52
3g	$YŞ=468.313 \cdot Rüzgar+2403.511 \cdot Genel Toplam-6798.8$	0.870	805.02

Ölü yanıcı maddelerin nem içeriği (nem ölü) ile ince ölü yanıcı madde miktarı yanıcı madde tüketimi ile yakından ilişkilidir (md. 2a) ($R^2=0.76$; $P<0.01$). Ancak, tek başına toplam yanıcı madde miktarı (genel toplam) yanıcı madde tüketiminde gözlenen değişkenliğin % 88'ini açıklamaktadır (md. 2b; $P<0.01$). Toplam yanıcı madde miktarının yanında ölü yanıcı madde nemi ikinci bağımsız değişken olarak regresyona ilave edildiğinde (md. 2c) yanıcı madde tüketimi tahmininde önemli bir değişiklik olmamaktadır

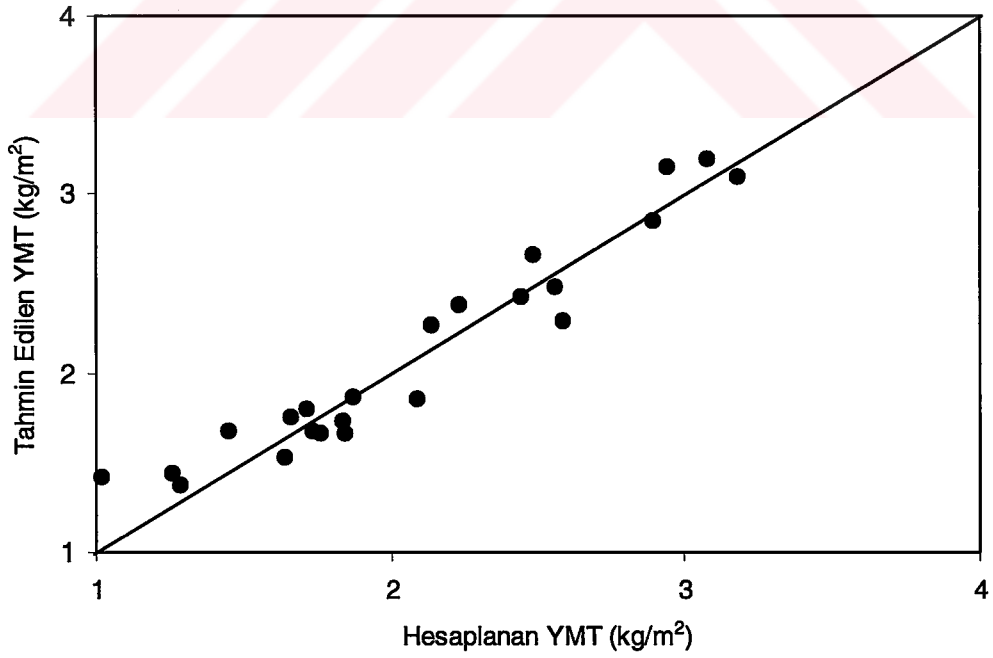
($R^2=0.883$). Yanıcı madde ortalama boyu yanıcı madde tüketimi değişkenliğinin % 91'ini tek başına açıklarken (md. 2d), regresyona kapalılık ilave edildiğinde (md. 2g) en iyi sonuç elde edilmektedir ($R^2=0.936$; $P<0.01$). Bunun yanında kalın yanıcı madde miktarı da tek başına yanıcı madde tüketimi değişkenliğinin % 92'sini açıklamaktadır (md. 2e; $R^2=0.917$). Burada regresyona ölü yanıcı madde nemi ikinci değişken olarak ilave edildiğinde yanıcı madde tüketimi tahmininde önemli bir değişiklik olmamaktadır ($R^2=0.924$) (Tablo 13). Yanıcı madde tüketiminin hesaplanan ve tahmin edilen değerleri Şekil 27'de gösterilmektedir.



Şekil 25. Yayılma oranının ölçülen değerleriyle rüzgar ve toplam yanıcı madde miktarına bağlı olarak tahmin edilen değerleri arasındaki ilişki

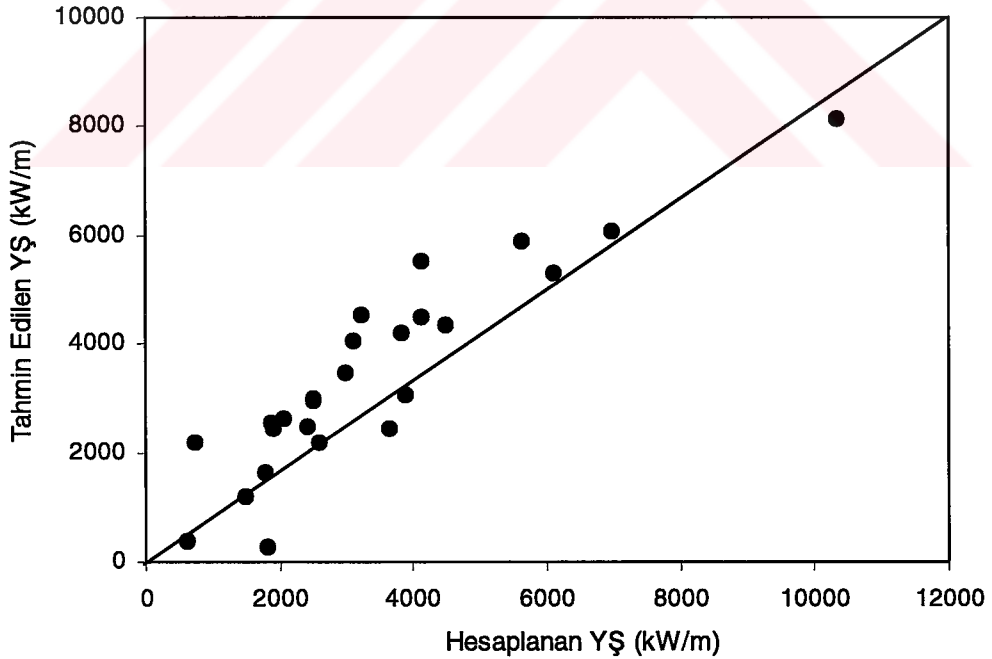


Şekil 26. Yayılma oranının ölçülen değerleriyle rüzgar ve toplam yanıcı madde miktarına bağlı olarak tahmin edilen değerleri arasındaki hata terimleri dağılımı



Şekil 27. Yanıcı madde tüketiminin hesaplanan değerleriyle ortalama boy ve kapalılığa bağlı olarak tahmin edilen değerleri arasındaki ilişki

Yangın şiddeti, alev yüksekliği ($r=0.658$; $P<0.01$), rüzgar hızı ($r=0.635$; $P<0.01$), ortalama boy ($r=0.609$; $P<0.01$) ve toplam yanıcı madde miktarı ($r=0.607$; $P<0.01$) ile yakından ilişkilidir (Tablo 12). Tablo 13'deki regresyon modellerinde alev yüksekliği tek başına (md. 3a) yangın şiddetinde gözlenen değişkenliğin % 43'ünü açıklarken, rüzgar hızı tek başına (md. 3b) % 53'ünü açıklamaktadır ($P<0.01$). Alev yüksekliği ile rüzgar hızı regresyona birlikte girdiklerinde (md. 3c) yangın şiddetinin tahminini biraz artırmaktadır ($R^2=0.633$; $P<0.01$). İnce ölü yanıcı madde miktarı, rüzgar hızının yanında regresyona ikinci değişken olarak girdiğinde (md. 3d) yangın şiddeti tahminini önemli oranda artırmaktadır ($R^2=0.802$; $P<0.01$). Rüzgarın yanında yanıcı madde ortalama boyu regresyona dahil edildiğinde ise (md. 3e) yangın şiddeti tahmininin biraz daha arttığı görülmektedir ($R^2=0.832$). Bunlara kapalılık üçüncü bağımsız değişken olarak ilave edildiğinde (md. 3f) yangın şiddetindeki değişkenliğin % 87'si açıklanabilmektedir. Bununla birlikte yangın şiddeti değişkenliğinin açıklanmasındaki en iyi sonuç rüzgar ve toplam yanıcı madde miktarı regresyona girdiğinde (md. 3g) ortaya çıkmıştır . Yangın şiddetinin gözlenen ve tahmin edilen değerleri Şekil 28'de gösterilmektedir.



Şekil 28. Yangın şiddetinin hesaplanan değerleriyle rüzgar ve toplam yanıcı madde miktarına bağlı olarak tahmin edilen değerleri arasındaki ilişki

2.3.3. Sonuçlar ve neriler

Maki tipi yanıcı maddelerde yangın davranışının belirlenmesi için yapılan bu çalışmada, yanıcı madde özellikleri ve hava halleri ile yangın davranışı arasındaki ilişkiler ortaya konulmuştur.

Çalışmada ölçülen yayılma oranı değerleri ile rüzgar hızı ve yanıcı madde ortalama boyu arasında kuvvetli bir ilişki ortaya çıkmıştır. Buna göre yayılma oranını tahmin etmek için, rüzgar hızı ve yanıcı madde ortalama boyunu kullanan regresyon modeli geliştirilmiştir. Bu modelde ortalama boy yerine ikinci değişken olarak toplam yanıcı madde miktarının veya üçüncü değişken olarak kapalılığın ilave edilmesiyle yayılma oranının tahmin edilebileceği yeni regresyon modelleri oluşturulmuştur (Tablo 13).

Yanıcı madde nem içeriğinin yangın davranışı üzerinde etkili olduğu bilinmektedir. Canlı yanıcı maddelerin nem içerikleri, vejetasyon döneminin başlangıcından hemen önce en düşük seviyelerdedir ve hava hallerindeki değişimlerden pek etkilenmezler. Çalışmanın yapıldığı dönem itibariyle canlı yanıcı madde nem içeriklerinde önemli farklılıklar gözlenmemiştir. Dolayısıyla, çok sayıdaki literatüre (Wilson, 1985; Rothermel, 1972; Catchpole vd., 1998) rağmen deneme yangınlarının yapıldığı parsellerdeki canlı yanıcı madde nem içerikleri ile yangın davranışı arasında önemli bir etkileşimin varlığı ortaya konulamamıştır. Bu etkinin ortaya çıkartılabilmesi için, canlı yanıcı madde nem içeriklerinde farklılıkların gözlenebileceği dönemleri kapsayan benzer çalışmalar yapılabilir.

Eğimin yangının yayılması üzerine olan etkisi oldukça önemlidir. Ancak, bu çalışmada eğim faktörü dikkate alınmamış ve çalışma düze yakın bir alanda gerçekleştirilmiştir. Topografyanın küçük alanlarda bile büyük değişiklikler gösterdiği dikkate alındığında eğimin yangın davranışı üzerine olan etkisini ortaya koymak son derece önemli olmaktadır. Bu etkiyi ortaya koymak için ormanlık alanlarla ilgili geliştirilmiş eğim düzeltme faktörleri (Noble vd., 1980; Forestry Canada, 1992) kullanılabilir. Fakat bu faktörler, maki gibi çalılık alanlardaki yayılma oranını olduğundan fazla tahmin ettiğinden bazı tedbirlerin alınmasını gerektirmektedir (Catchpole vd., 1998; Fernandes, 2001). Bundan dolayı eğim, bu konuda yapılacak çalışmalarda önemle üzerinde durulması gereken konulardan birisidir.

Bu çalışma, birbirini takip eden birkaç gün içerisinde yapıldığından hava hallerinde küçük değişiklikler olmuştur. Ölü yanıcı maddeler hava hallerindeki en küçük değişimlerden bile etkilendiklerinden, ölü yanıcı madde nem içeriklerinin yangın davranışı üzerine olan etkileri bu çalışmada kısmen ortaya çıkmıştır.

Deneme yangınlarında özellikle tüylü laden (*Cistus creticus*) türlerinin yanmayı alanda kaldıkları, bir arada bulduklarında ise bir şerit oluşturarak yangının ileriye geçişini engelledikleri gözlenmiştir. Bu durum, ladenlerin kapalılıklarının düşük olması nedeniyle yanıcı madde sürekliliğinin olmaması, ortalama boylarının kısa, toplam yanıcı madde miktarlarının az ve hepsinden önemlisi alev alma özelliklerinin düşük olmasından kaynaklanmaktadır.

Çalışmada ayrıca yanıcı madde tüketimi ile yanıcı madde özellikleri arasındaki ilişkiler de araştırılmıştır. Toplam yanıcı madde miktarı ile yanıcı madde tüketimi arasında kuvvetli bir ilişkinin varlığı ortaya konulmuştur. Bunun yanında, yanıcı madde tüketimini, daha kuvvetli ilişkilerin ortaya çıktığı yanıcı madde ortalama boyu veya kapalılığa bağlı olarak tahmin eden modeller de geliştirilmiştir. Ayrıca, yanıcı madde ortalama boyu ve kapalılığını kullanmadan, kalın yanıcı madde miktarı ve ölü yanıcı maddelerin nem içeriği kullanılarak yanıcı madde tüketiminin sağlıklı bir şekilde tahmin edilebileceği bir model de geliştirilmiştir. Fakat yanıcı madde tüketiminin tahmin edilmesinde en doğru sonucu, ortalama boy ve kapalılığa bağlı olarak geliştirilen model vermektedir (Tablo 13).

Yangın şiddeti ile rüzgar hızı, alev yüksekliği ve yanıcı madde özellikleri arasındaki ilişkiler ortaya konulmuştur. Buna göre alev yüksekliğine bağlı olarak yangın şiddetini tahmin eden model iyi bir sonuç vermemiştir. Yangın şiddetini sadece rüzgar hızına bağlı olarak tahmin eden model, alev yüksekliğine göre daha iyi sonuç vermiştir. Ancak, alev yüksekliği ve rüzgar hızı yangın şiddetini tahmin etmek için geliştirilen regresyon modeline birlikte girdiklerinde model biraz daha kuvvetlenmiştir. Bunun yanında, yangın şiddetini rüzgar hızı ve ince ölü yanıcı madde miktarına bağlı olarak tahmin eden bir başka model geliştirilmiştir. Burada, ince ölü yanıcı madde miktarının yerine yanıcı madde ortalama boyu, rüzgar hızı ile birlikte kullanıldığında geliştirilen model daha kuvvetli bir ilişkiyi ortaya koymuştur. Ancak, yangın şiddetini tahmin etmek için rüzgar hızı ile ortalama boy ve kapalılık veya toplam yanıcı madde miktarının kullanıldığı modeller en kuvvetli ilişkileri ortaya koymuşlardır (Tablo 13).

Yangın davranışının ortaya konulabilmesi için, yangın davranışı üzerinde etkili olan yayılma oranı, yanıcı madde tüketimi ve yangın şiddetinin değişen şartlar altında ne şekilde ortaya çıkacağına tahmin edilebilmesi için regresyon modelleri geliştirilmiştir. Yangın davranışının belirlenmesinde yanıcı madde ortalama boyu, kapalılık ve rüzgar hızının çok önemli etkisinin olduğu ortaya çıkmıştır. Dolayısıyla, yangınla mücadele çalışmalarında bu üç özellik üzerinde dikkatlice durulmalıdır. Benzer yanıcı madde tiplerinde karşılaşılan yeni yangınlarda yangın davranışı üzerinde etkili olan özelliklerin pratik olarak tahmin edilebilmesi uygulayıcılara karar verme aşamasında büyük oranda kolaylıklar sağlayacaktır. Şöyle ki;

- Yangın şiddetinin tahmin edilmesiyle, yangına ilk müdahalenin nasıl yapılacağı, hangi tür araç gereç ve teçhizatın kullanılacağı ve ne kadar ekibe ihtiyaç olduğuna daha kolay ve doğru bir şekilde karar verilebilir.
- Yayılma oranının tahmin edilmesiyle, yangın söndürme ekip, araç gereçlerinin konuşlandırılacağı yerler, yangına müdahale yerleri ve gerekirse karşı ateşin uygulanacağı yerler sağlıklı bir şekilde belirlenebilir.
- Yanıcı madde tüketiminin tahmin edilmesiyle, yangınla mücadele ve söğütme çalışmalarında karşılaşılabilecek zorluk ve yangının toprağa olan etkisi belirlenebilir.

Sonuç olarak, bu çalışmayla ortaya konulan yangın davranış modelleri, benzer şartlardaki diğer alanlarda uygulanması durumunda sağlıklı sonuçlar verecektir. Statik çalışmaların hiç biri, kendi çalışma sınırlarının dışındaki şartlarda doğru sonuçlar vermez. Bu çalışma sonuçları, gerek yanıcı madde özellikleri gerekse hava halleri açısından büyük farklılıkların olduğu alanlarda kullanılırken, aynı derecede sağlıklı sonuçlar vermeyebileceği göz önüne alınarak dikkatli olunmalıdır. Farklı hava halleri ve yanıcı madde özelliklerinde yapılacak bu tür çalışmaların sayısının artmasıyla elde edilecek başarı oranı da artacaktır.

Bu çalışmayla ortaya konulan maki tipi yanıcı maddelerde yangın davranış modelleri yangın tehlike oranları sisteminin ana bölümlerinden biri olan yangın davranışının tahmini sisteminin ilk basamağını oluşturmaktadır. Bu tür çalışmaların, yangına duyarlı bütün yanıcı madde tiplerine genişletilerek yapılması, geliştirilecek yangın

tehlike oranları sistemi için bir ihtiyaçtır. Bu çalışmayla atılan ilk adım, konuyla ilgili bundan sonra yapılacak yeni çalışmalar için örnek bir altlık olacaktır.

2.4. Yangın Davranışının Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) Yardımıyla Uygulamaya Aktarılması: Korudağı Örneği

Yangın organizasyonlarının orman yangınlarıyla mücadele çalışmalarında başarılı olabilmesi, yapacakları planlamalarda yangın tehlike oranları sisteminden etkin bir şekilde faydalanabilmesine bağlıdır. Coğrafi bilgi sistemleri (CBS) teknolojisi ile güçlendirilmiş yangın tehlike oranları sistemi, yangınla mücadele çalışmalarında daha etkin bir şekilde kullanılabilir. Coğrafi bilgi sistemleri kullanılarak, çıkan bir yangında yayılma oranı, yanıcı madde tüketimi, yangın şiddeti, mevcut yollar ve alternatifleri, yangın emniyet yol ve şeritleri, en yakın su kaynakları ve yangın ekipleri gibi bir çok konumsal bilgiye aynı anda ulaşmak mümkündür. Bu bilgiler birlikte değerlendirilerek, en uygun söndürme taktik ve stratejilerinin tespiti yapılarak yangınlara en kısa süre ve en etkili bir şekilde müdahale edilebilmektedir. Böylece, kaynakların etkin kullanılmasıyla hem masraflar en aza indirilmekte hem de yangınların büyümeden söndürülebilmesi mümkün olmaktadır.

Bu örnek çalışmayla, önceki bölümlerde maki tipi yanıcı maddeler için geliştirilen yanıcı madde miktarı ve yangın davranışı ile ilgili modellerin uygulamadaki sonuçları CBS kullanılarak ortaya konulmaya çalışılmıştır. Bunun yanında, orman yangınlarının en fazla meydana geldiği kızılçam ve karaçama ait değişik meşcere tiplerinde, farklı hava hallerinde yangın davranış özellikleri belirlenmiştir. Bu sonuçlar, CBS yardımıyla değerlendirilerek yangınla mücadele çalışmalarında alternatif çözüm önerileri ortaya konulmuştur.

2.4.1. Materyal ve Metot

Çalışma alanı Çanakkale Orman Bölge Müdürlüğü, Keşan Orman İşletme Müdürlüğü, Korudağı Orman İşletme Şefliği (OİŞ)'dir. Çalışma alanının toplam ormanlık alanı 12 303 hektar olup, ormanlık alanlarının tamamı yangına 1.derecede hassastır. Çalışma alanı 1/25000 ölçekli Çanakkale G 17 a3, b3, b4, c1, c2 ve d2 numaralı topografik haritalarda yer almaktadır.

Çalışmada, farklı hava halleri ve yanıcı madde özelliklerine bağlı olarak yangın davranış özelliklerinden yayılma oranı, yanıcı madde tüketimi ve yangın şiddeti

hesaplanmış ve bunlar CBS yardımıyla sorgulanarak farklı amaçlar için değerlendirilmiştir. Maki alanlarıyla ilgili yanıcı madde miktarı, yayılma oranı, yanıcı madde tüketimi ve yangın şiddeti tahminleri, bundan önceki bölümlerde geliştirilen modeller kullanılarak yapılmıştır. Kızılçam ve karaçam alanlarıyla ilgili yanıcı madde özelliklerinden ortalama yaş, ortalama boy ve kapalılık bu konuda daha önce yapılan çalışmalardan faydalanılarak belirlenmiştir (Erkan, 1996; Alemdağ, 1962; Yeşil, 1992). Hesaplamalarda kullanılan ağaç tepelerinin yerden yüksekliği, tepe boyu, tepe hacmi indeksi, tepe yanıcı madde miktarı, yüzey yanıcı madde miktarı, humus yanıcı madde miktarı ve toplam yanıcı madde miktarı Bilgili (1995b ve 1998)'nin geliştirdiği modeller kullanılarak hesaplanmıştır.

Yangın davranış özelliklerinin belirlenmesi için kullanılacak hava verileri başlangıç yayılma indeksine (BYİ), yanıcı madde nem içerikleri birikmiş yanıcı madde indeksine (BYMİ) dönüştürülmüş, BYİ ve BYMİ değerleri Kanada yangın tehlike oranları sistemi kullanılarak hesaplanmıştır (Environment Canada, 1984; Forestry Canada, 1992). Her bir meşcere tipi için hesaplanan bu değerler yardımıyla CBS ortamında yangın davranış özelliklerinin haritaları oluşturulmuştur.

Yayılma oranı haritaları diğer bütün özellikler sabit kalmak üzere düşük, orta ve yüksek olmak üzere üç farklı rüzgar hızı durumuna (10, 20 ve 35 km/s) göre oluşturulmuştur. Hesaplanan yayılma oranı değerleri kendi içinde 4 gruba (0-3.00, 3.01-7.00, 7.01-15.00 ve 15 m/dk'dan büyük) ayrılarak sınıflandırılmıştır. Yanıcı madde tüketimi hesaplamaları da, diğer özellikler sabit kalmak şartıyla düşük, orta ve yüksek olmak üzere, üç farklı yanıcı madde nem içeriği durumuna (%20, 30 ve 50) göre yapılmıştır. Yanıcı madde tüketimi de kendi içinde 5 gruba (0-0.30, 0.31-0.6, 0.61-1.50, 1.51-2.50 ve 2.5 kg/m²'den büyük) ayrılarak sınıflandırılmıştır. Yangın şiddeti, düşük, orta ve yüksek olarak hesaplanan yayılma oranı ve yanıcı madde tüketimi dikkate alınarak üç farklı duruma göre hesaplanmıştır. Bunlar da kendi içinde 4 gruba (0-1000, 1001-2000, 2001-4000 ve 4000 kW/m'den büyük) ayrılarak sınıflandırılmıştır.

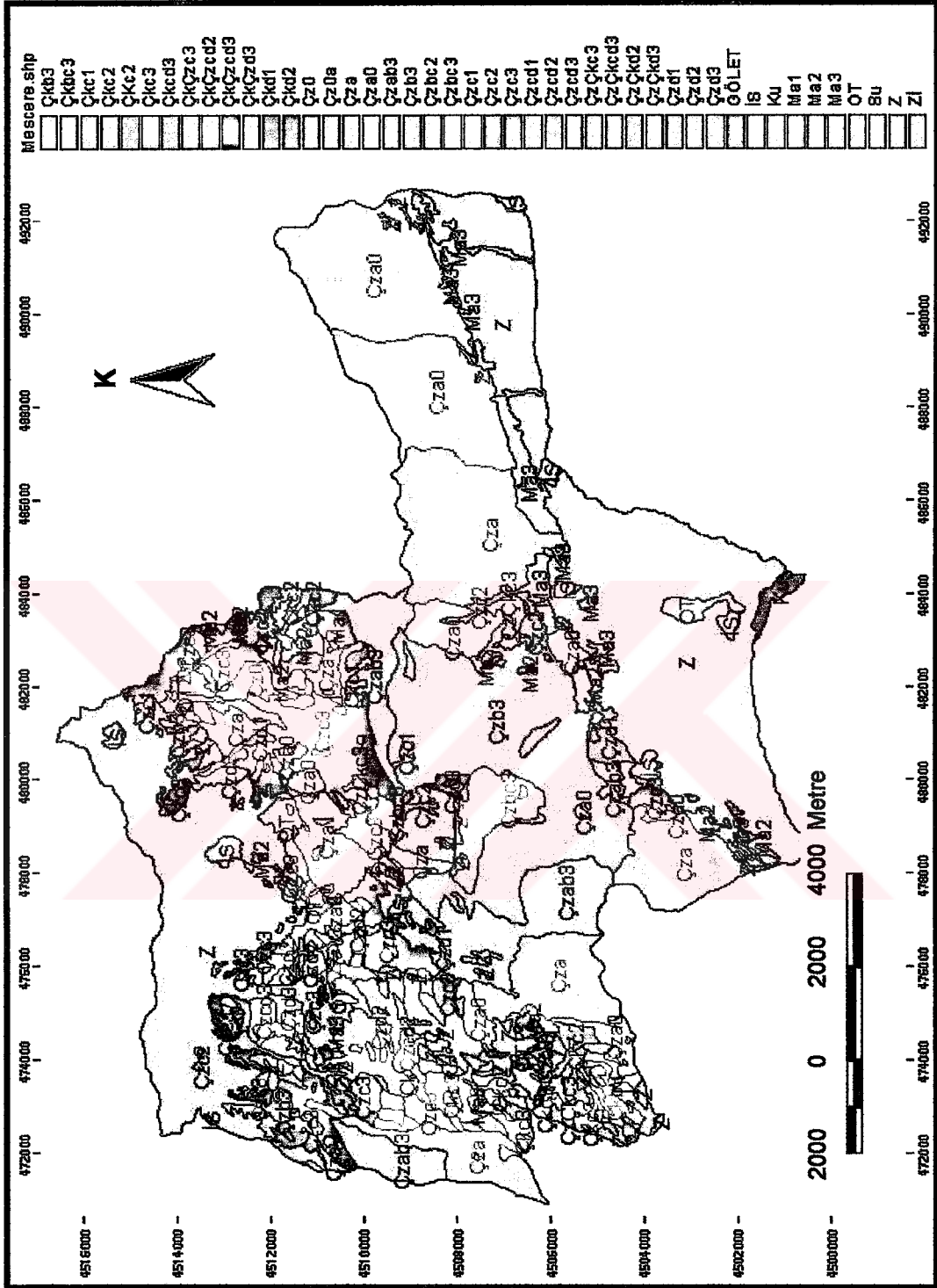
Elde edilen veriler daha önce bir proje kapsamında (Yomralıoğlu vd., 2002) hazırlanmış olan sayısal haritalara veri tabanı olarak girilmiştir. Çalışma alanındaki yollar, yangın emniyet yol ve şeritleri, göller, yerleşim birimleri ve meşcere tipleri de sayısal haritalara işlenmiştir. Şekil 29'da uygulama alanının meşcere tipleri haritası, Şekil 30'da sayısal arazi modeli görülmektedir. Veri tabanının oluşturulması ve sorgulamaların yapılarak sonuçların sunumu için Arc/InfoTM ve Arc/ViewTM CBS katmanları

kullanılmıştır (ESRI, 1993; ESRI, 1996). Arc/Info ile uygulama alanının eğim ve baki haritası katmanları oluşturulmuştur. Arc/Info katmanı şeklindeki bu dosyalar, Arc/View standart grafik veri formatı olan *shape* dosyasına dönüştürülerek Arc/View ortamında kullanılabilir hale getirilmiştir. Oluşturulan yeni katmanın öznelik veri tablosunda yüzde eğimler kendi içinde 6 gruba (0-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-35 ve 35'den büyük) ayrılmış, bu gruplara göre belirlenen eğim faktörü yeni bir alan olarak ilave edilmiş ve bu alanlar eğim gruplarına göre Arc/View *dissolve* komutu ile ayrılmıştır. Oluşturulan bu eğim haritası ile meşcere haritası CBS'nin bindirme fonksiyonlarından biri olan *intersect* komutu ile çakıştırılarak bir meşcerenin eğim grubu ve ona bağlı olarak eğim faktörü hesaplanmıştır. Bu katmanda değerlendirmeler yaptırılarak yayılma oranı, yanıcı madde tüketimi ve yangın şiddetinin düşük, orta ve yüksek değerleri hesaplatılmıştır. Bunlar arasında, yangın davranış özelliklerinin kendi içindeki gruplarına göre *summurize* yapıp özetlenerek her biri için yeni bir katman oluşturulmuştur. Bu katmanlarla, mevcut her türlü yol, yangın emniyet yolu ve yangın emniyet şeritlerinin bulunduğu katman CBS'nin bindirme fonksiyonlarından biri olan *intersect* komutu ile çakıştırılarak birleştirilmiş ve bu katmanlar yangınlarla mücadele çalışmalarında alternatif yöntemlerin belirlenmesi için kullanılmıştır.

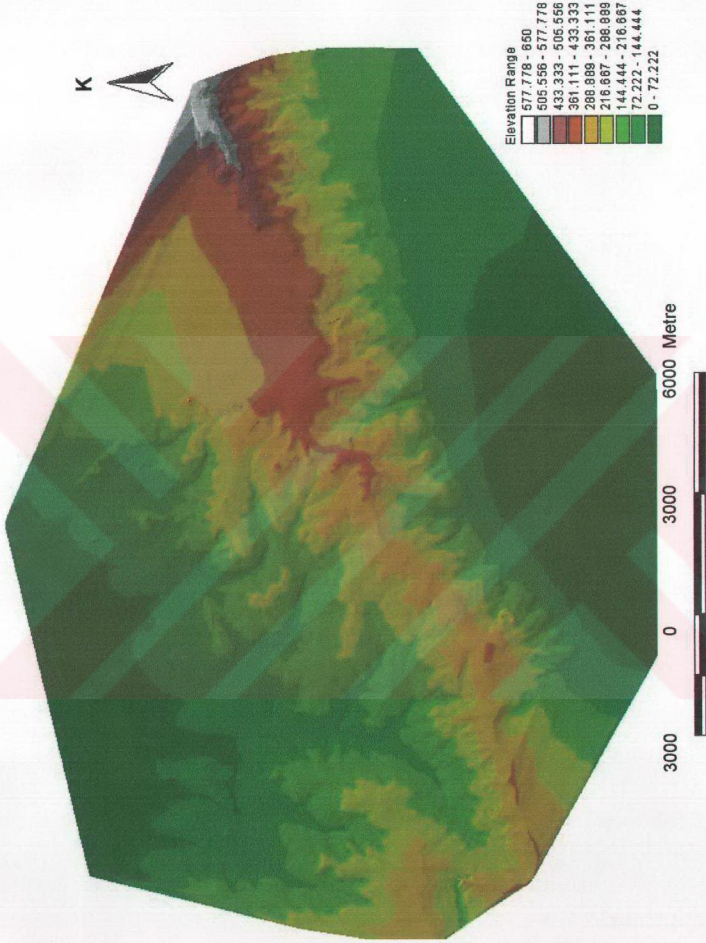
2.4.2. Bulgular

CBS'nin coğrafi sorgulama ve analiz fonksiyonları ile öznelik veri tabanı analiz işlemleri sonucunda yangın davranış özellikleri düşük, orta ve yüksek değerlere göre belirlenmiştir. Yangın davranış özelliklerinin uygulama alanında şiddet sınıflarına göre alan dağılımları belirlenmiştir (Şekil 31).

Düşük rüzgar hızına göre hesaplanan düşük yayılma oranı (DYO), 12 303 ha toplam ormanlık alanın 8679 hektarlık bir kısmında (%71) orta seviyede (2. grup) olmuştur. Alanın 1735 hektarlık (%14) bir kısmında ise yangınla mücadele çalışmalarında üzerinde dikkatlice durulması gereken yüksek ve çok yüksek yayılma oranı değerleri ortaya çıkmıştır. Şekil 32, DYO değerlerinin gruplar itibariyle alandaki dağılımının haritasını göstermektedir. Bu yayılma oranı değerlerinin alan gruplarına göre toplam alanları ve toplam sayıları Şekil 32 ve 33'de gösterilmiştir. Şekiller incelendiğinde, düşük ve yüksek yayılma oranı değerlerinin toplam alan ve toplam sayı olarak özellikle 10 ha'lık alanlarda yoğunlaştığı, bununla birlikte kızılçamın yangınlar açısından çok tehlikeli olduğu

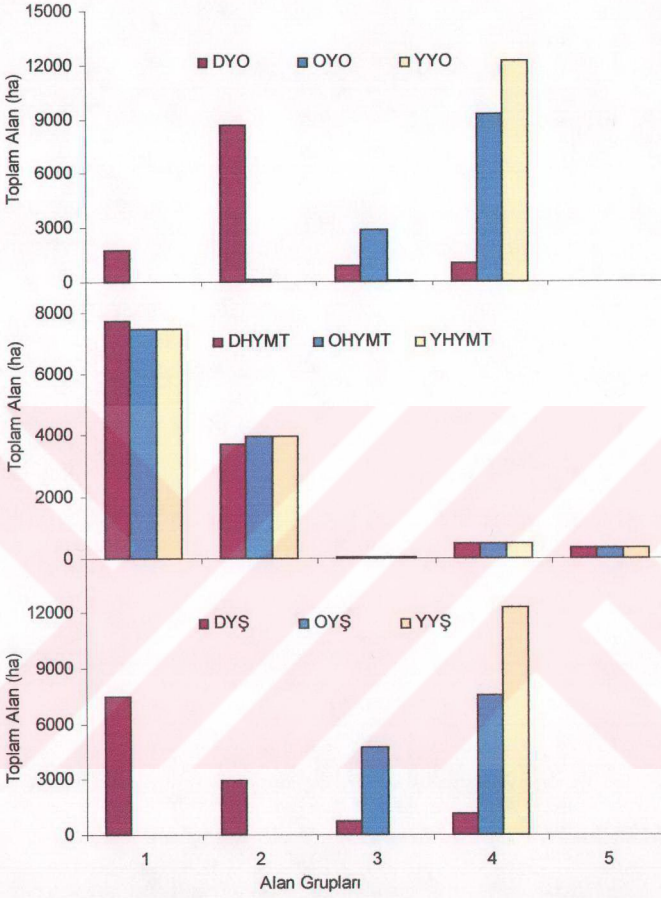


Şekil 29. Uygulama alanının meşcere tipleri haritası

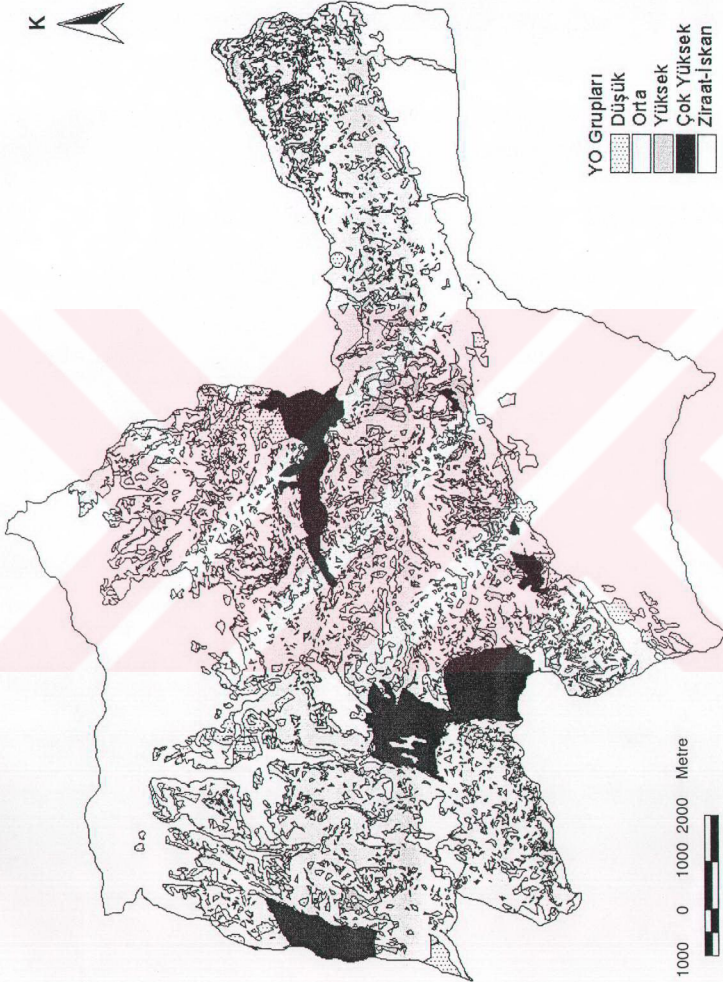


Şekil 30. Uygulama alanının sayısal arazi modeli

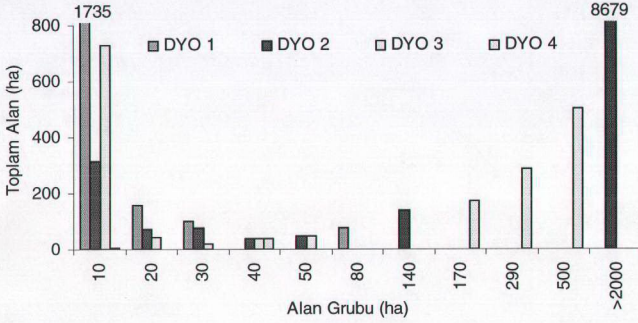
Çzcb3 meşcere tipinden oluşan 500 ha'lık bir alanda çok yüksek YO değerinin ortaya çıktığı görülmektedir. Orman yangını, yayılma oranı yüksek olan küçük parçalara bölünmüş alanlarda kontrol edilebilirse, çok fazla tehlikeli olmayacaktır. Bunun için alanların birbirlerine göre nispi konumları dikkatle incelenmelidir. Bu konuda CBS teknolojisinin kullanılması son derece etkili olmuştur. Bu küçük alanlar birbirine yakın durumdaysalar ve birbirlerine yangının geçişi engellenemezse büyük alanda etkili olabilecek yangınlar meydana gelebilir. Şekil 32 incelendiğinde, yüksek yayılma oranının ortaya çıktığı alanların birbirinden uzakta ve bölünmüş olduğu görülmektedir. Yangın bu alanlarda tutulabildiği müddetçe fazla tehlikeli bir durumun olmayacağı söylenebilir. Ancak, çok yüksek yayılma oranının gözlendiği kısımlara baktığımızda, bunların büyük alanlarda ortaya çıktığı ve bir bütünlük arzettiği görülmektedir. Bu gibi alanlara yapılacak müdahalelerde, müdahale hattına karar verirken YO dikkate alınmalıdır. Yangına müdahale edinceye kadar geçecek sürede, yangının nereye kadar yayılacağına bakılmalı, mevcut yangın emniyet yol ve şeritleriyle diğer yollar ve dereler bu haritayla karşılaştırılarak dikkate alınmalı ve en uygun alanda müdahale hattı tesis edilmelidir.



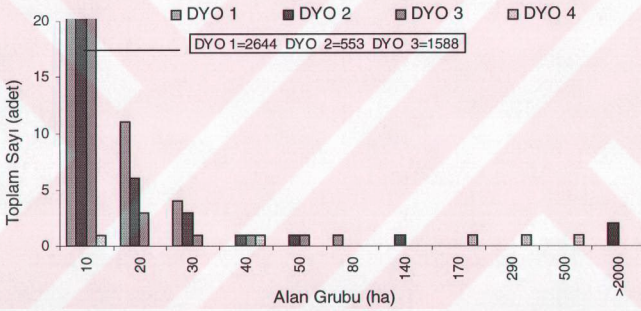
Şekil 31. Uygulama alanında, yangın davranış özelliklerinin şiddet sınıflarına göre alan dağılımları



Şekil 32. Düşük yayılma oranı değerlerinin alandaki dağılımı



Şekil 33. Düşük yayılma oranı değerlerinin toplam alan itibariyle alan gruplarındaki dağılımı



Şekil 34. Düşük yayılma oranı değerlerinin toplam sayı itibariyle alan gruplarındaki dağılımı

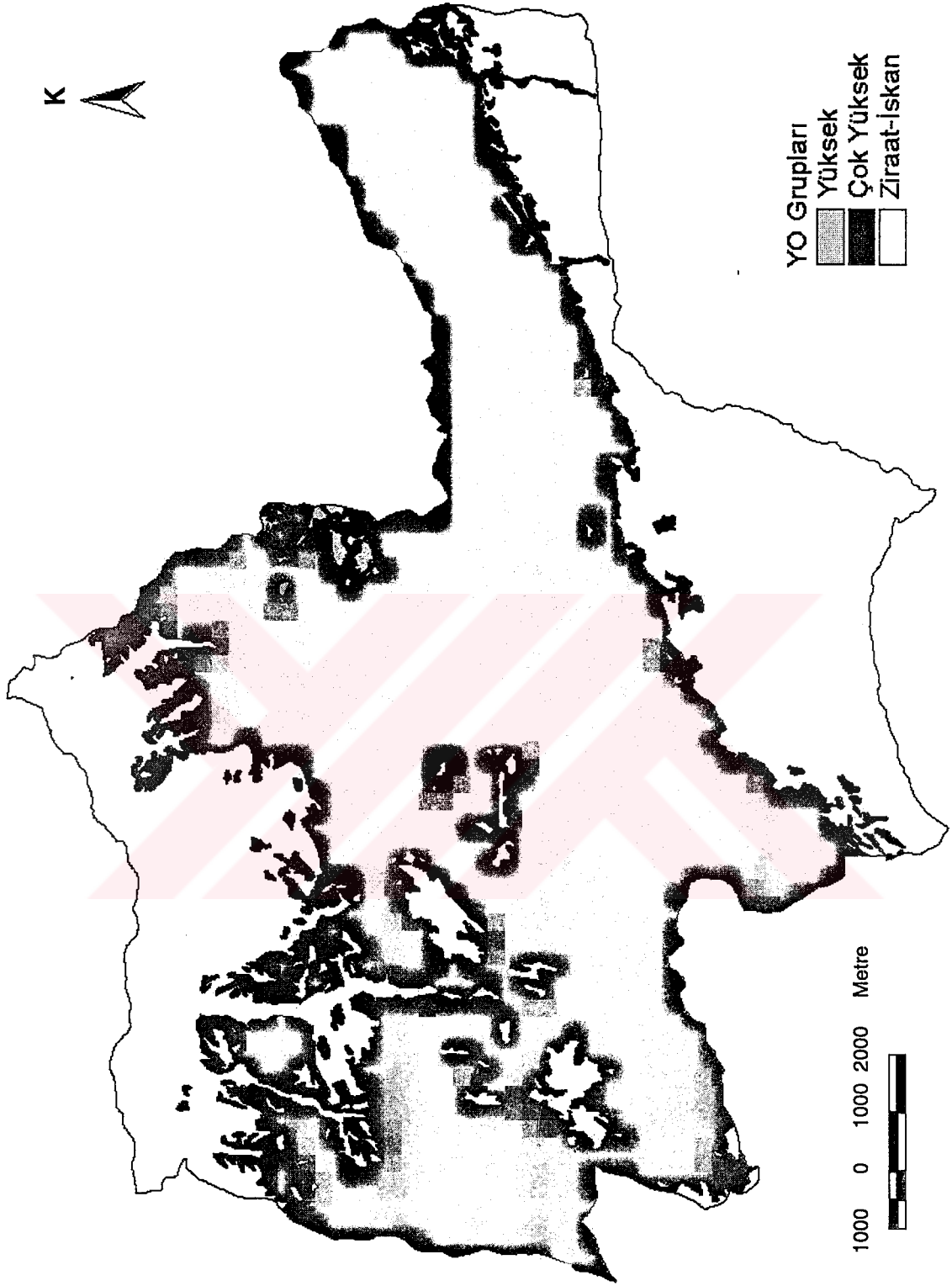
Orta şiddetdeki rüzgar hızına göre hesaplamalar yapıldığında, orta yayılma oranı (OYO) toplam alanın 9282 hektarında (%75) çok yüksek, 2881 hektarlık bir kısmında (%23) ise yüksek çıkmıştır (Şekil 31). Yüksek şiddetdeki rüzgar hızına göre hesaplanan yayılma oranı (YYO) alanın 12240 hektarında (%99) çok yüksek, 63 hektarlık (%1) diğer kısmında da yüksek çıkmıştır (Şekil 31). OYO değerlerinin alandaki dağılımı ve mevcut yollarla çakıştırılmış durumu haritasında görüldüğü gibi (Şekil 35), DYO durumunda orta derecede yayılma oranı görülen alanların tamamında çok yüksek YO değerlerinin ortaya çıktığı görülmektedir. YYO değerlerinin alandaki dağılım haritasında görüldüğü gibi (Şekil

36), alanın tamamında çok yüksek yayılma oranının meydana geldiği görülmektedir. Görüldüğü gibi rüzgar hızı arttıkça yanıcı madde özelliklerinin yayılma oranı üzerindeki sınırlayıcı etkisi ortadan kalkmakta ve bütün yanıcı madde tiplerinde çok yüksek yayılma oranı meydana gelmektedir. Rüzgar, özellikle yangın yayılma oranı üzerinde belirleyici rol oynamakta ve diğer faktörlerin etkisini ortadan kaldırmaktadır. Orta yayılma oranında 9282 hektarlık tek bir alanda ve yüksek yayılma oranında 12240 hektarlık bütün bir alanda çok yüksek yayılma oranı ortaya çıkmıştır (Şekil 37 ve 38).

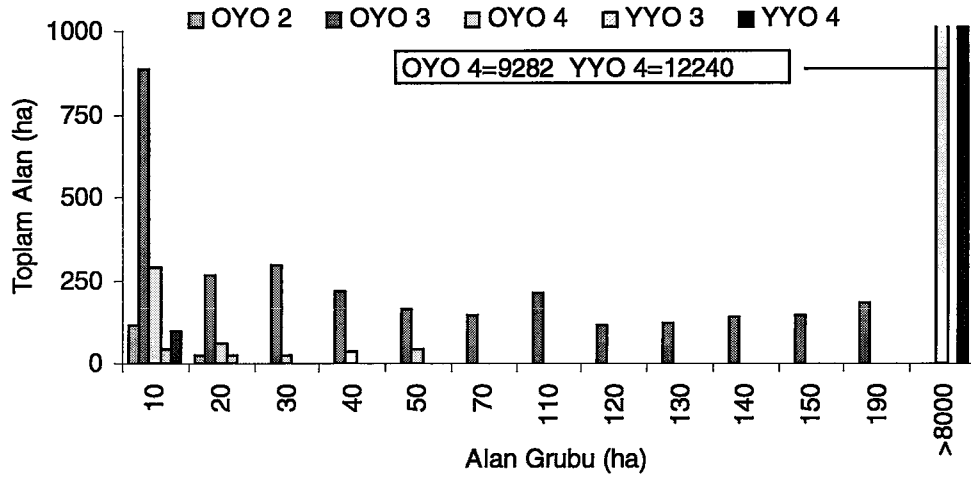
Yangının ekolojik etkilerinin ortaya konulması açısından önemli olan humus yanıcı madde tüketimi uygulama alanındaki bütün meşcere tiplerinde ortaya konulmuştur. Humus yanıcı madde tüketimi üç farklı yanıcı madde nem içeriğine göre hesaplanmıştır. Yanıcı madde nem içeriğinin yüksek olduğu duruma göre yapılan hesaplamalarda düşük humus tabakası yanıcı madde tüketimi (DHYMT) ortaya çıkmıştır. DHYMT uygulama alanınının 7742 hektarında (%63) düşük ve 3710 hektarında (%30) orta seviyede gerçekleşmiştir (Şekil 31). DHYMT'nin alandaki dağılım haritası Şekil 39'da verilmiştir. Humus yanıcı madde tüketiminin alan gruplarına göre toplam alan ve toplam sayı dağılımına bakıldığında 2181 ve 4310 hektarlık iki alanda düşük ve orta şiddette yanıcı madde tüketimi ortaya çıkmıştır (Şekil 40 ve 41). Orta yanıcı madde nem içeriğine göre humus yanıcı madde tüketimi hesaplandığında (OHYMY) alanın 7493 hektarında (%61) düşük ve 3959 hektarında (%32) orta derecede yanıcı madde tüketimi meydana gelmiştir (Şekil 31). OHYMT'inde alanda mevcut humus yanıcı maddelerinin hepsi yandığından düşük yanıcı madde nem içeriğine göre hesaplanan yüksek humus yanıcı madde tüketiminde (YHYMT) de aynı sonuçlar alınmıştır. Şekil 42'de orta ve yüksek humus yanıcı madde tüketiminin alandaki dağılımı, Şekil 43 ve 44'de ise alan gruplarına göre toplam alan ve toplam sayı dağılımı görülmektedir.



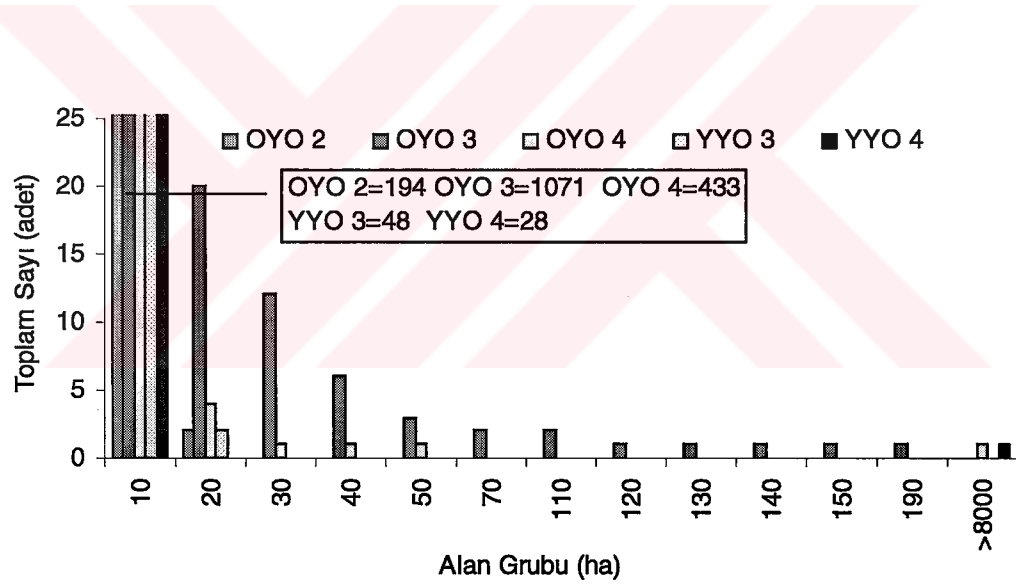
Şekil 35. Orta yayılma oranı değerlerinin alandaki dağılımı ve mevcut yollarla çakıştırılmış durumu



Şekil 36. Yüksek yayılma oranı değerlerinin alandaki dağılımı

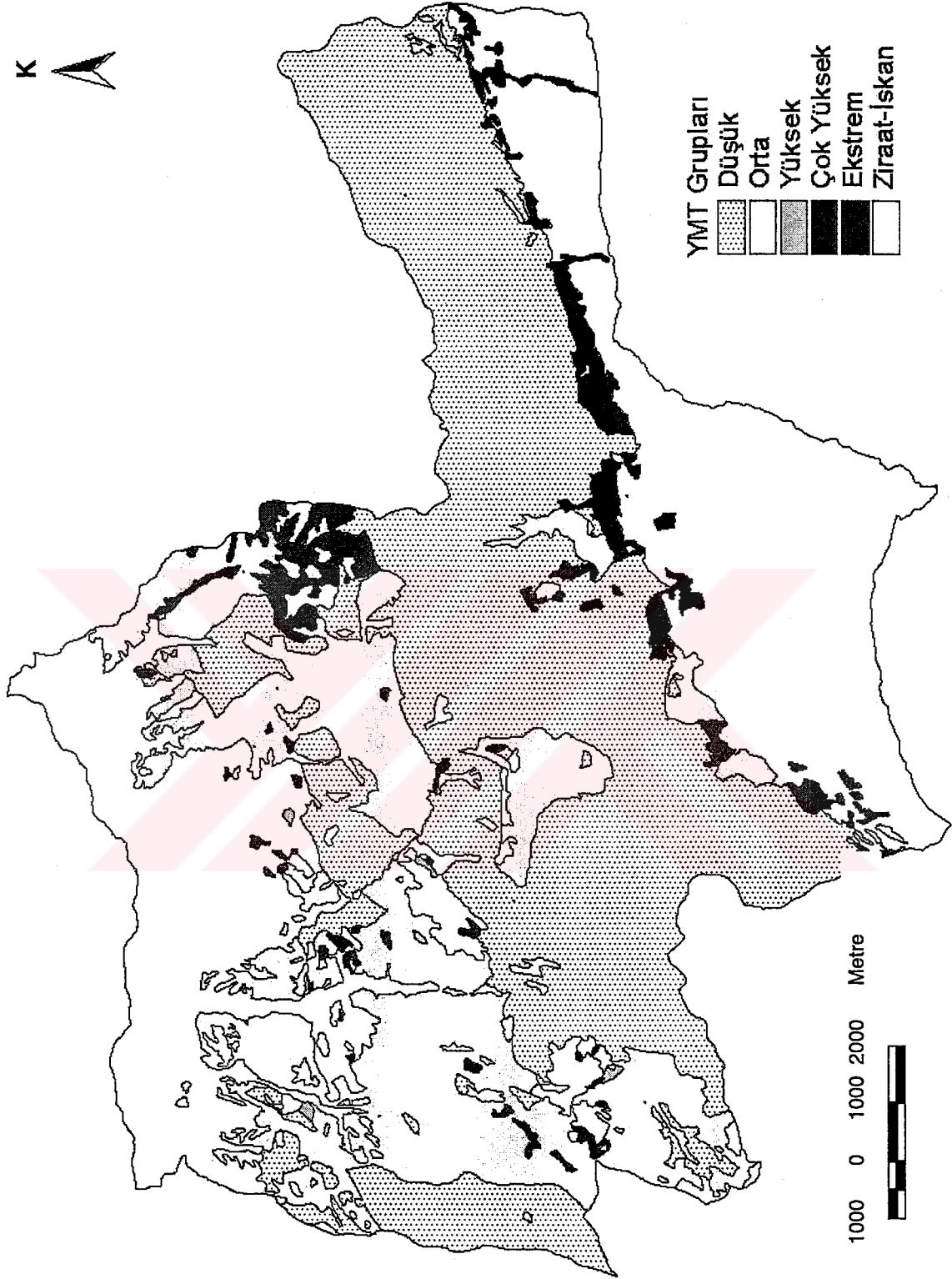


Şekil 37. Orta ve yüksek yayılma oranı değerlerinin toplam alan olarak alan gruplarındaki dağılımı

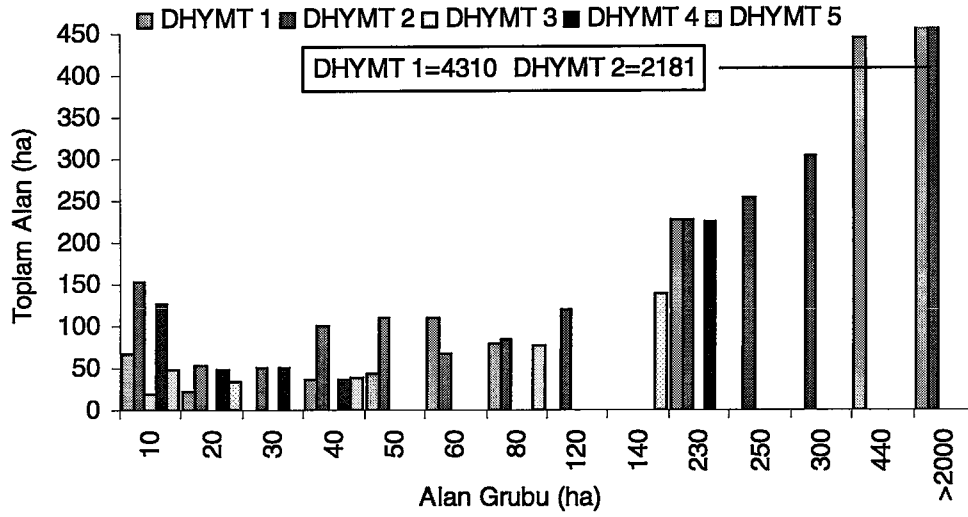


Şekil 38. Orta ve yüksek yayılma oranı değerlerinin toplam sayı itibariyle alan gruplarındaki dağılımı

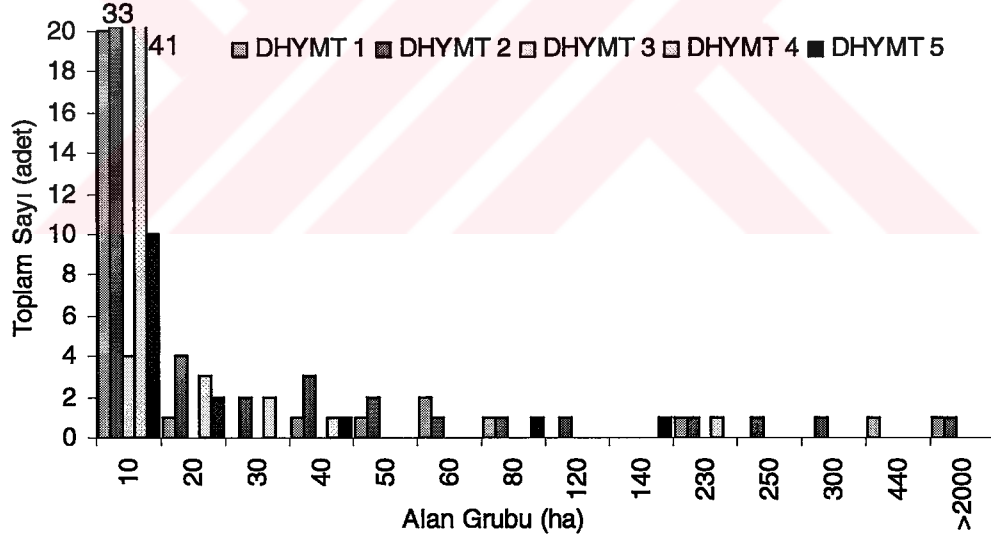
Yangın şiddeti, yayılma oranı ve yanıcı madde tüketimine bağlı olarak düşük, orta ve yüksek olmak üzere üç farklı şekilde hesaplanmıştır. Buna göre düşük yangın şiddeti (DYŞ) uygulama alanınının 7527 hektarında (%61) düşük ve 2923 hektarında (%24) orta derecede meydana gelmiştir (Şekil 31). Şekil 45’de DYŞ’nin alandaki dağılımı, Şekil 46 ve Şekil 47’de toplam alan ve toplam sayı olarak alan gruplarındaki dağılımı verilmiştir.



Şekil 39. Düşük humus yanıcı madde tüketiminin alandaki dağılımı

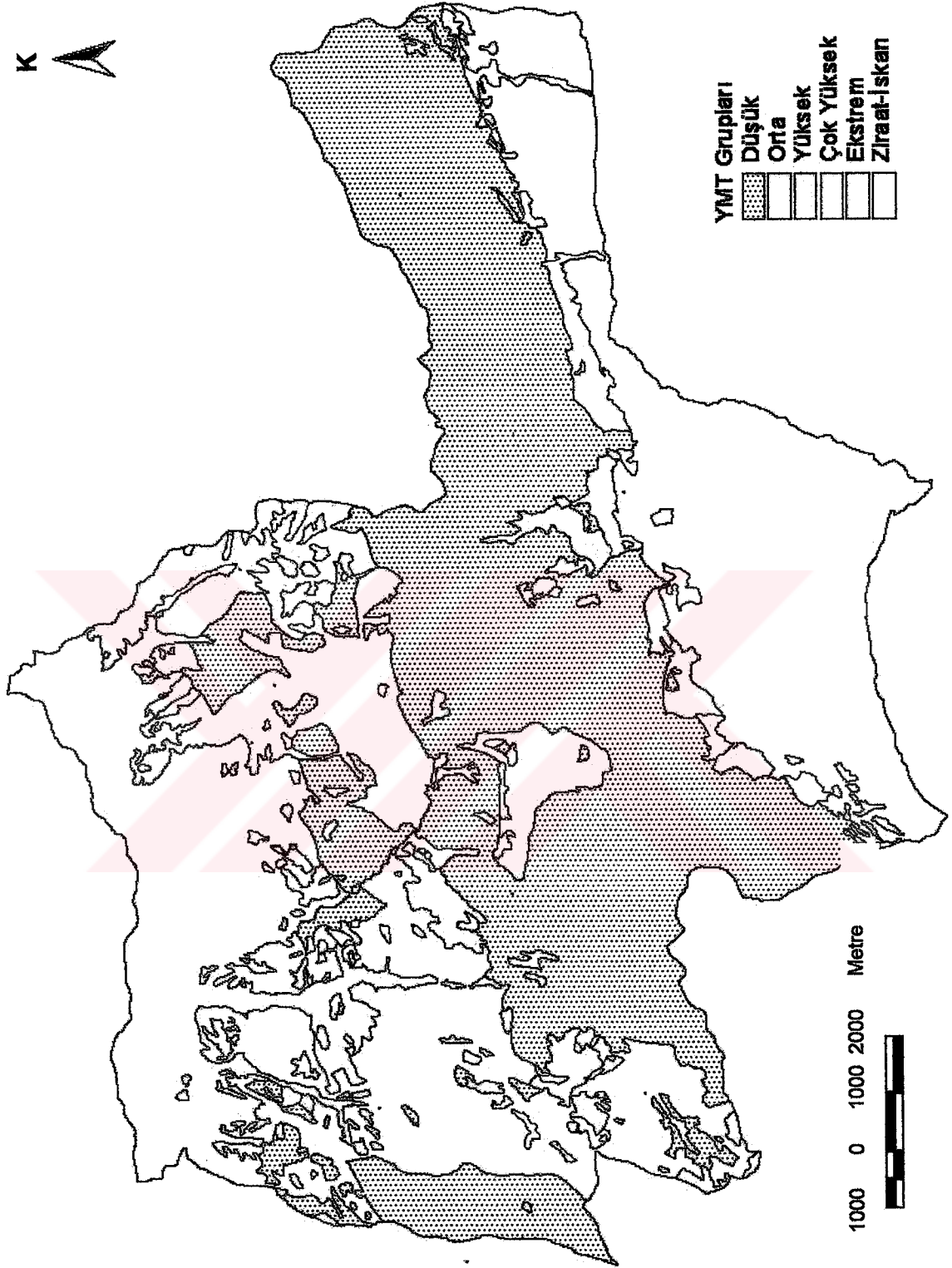


Şekil 40. Düşük humus yanıcı madde tüketimi değerlerinin toplam alan olarak alan gruplarındaki dağılımı

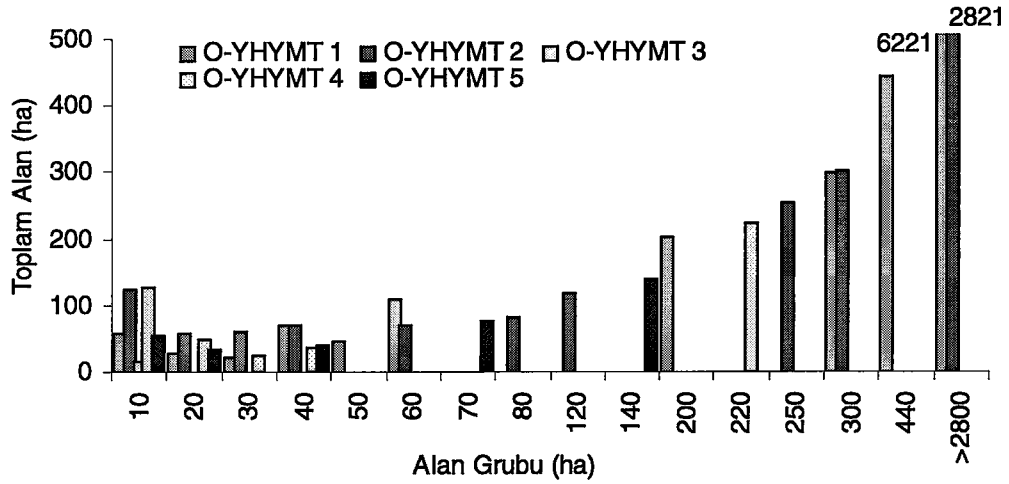


Şekil 41. Düşük humus yanıcı madde tüketimi değerlerinin toplam sayı olarak alan gruplarındaki dağılımı

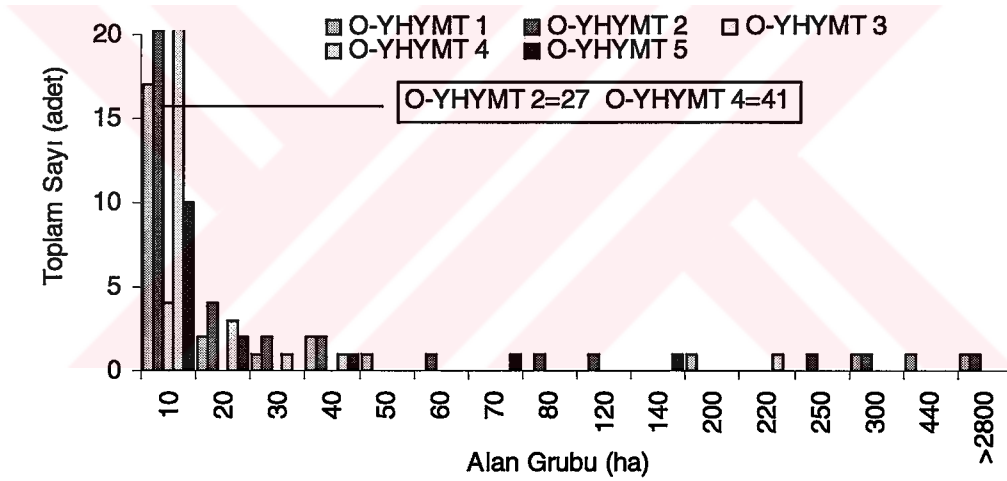
Şekiller topluca incelendiğinde, yangın şiddetinin çok yüksek olduğu 171, 285 ve 502 hektarlık üç alan dikkat çekmektedir. Bu alanlar Çzcb3 meşcere tipi ile orta ve yüksek boylu-kapalı makilik alanlar olup, bu alanlara yapılacak müdahalede söndürme araç ve gereçleri çok iyi seçilmelidir. Ayrıca, koruma çalışmaları bu alanlarda yoğunlaştırılmalıdır.



Şekil 42. Orta ve yüksek humus yanıcı madde tüketiminin alandaki dağılımı

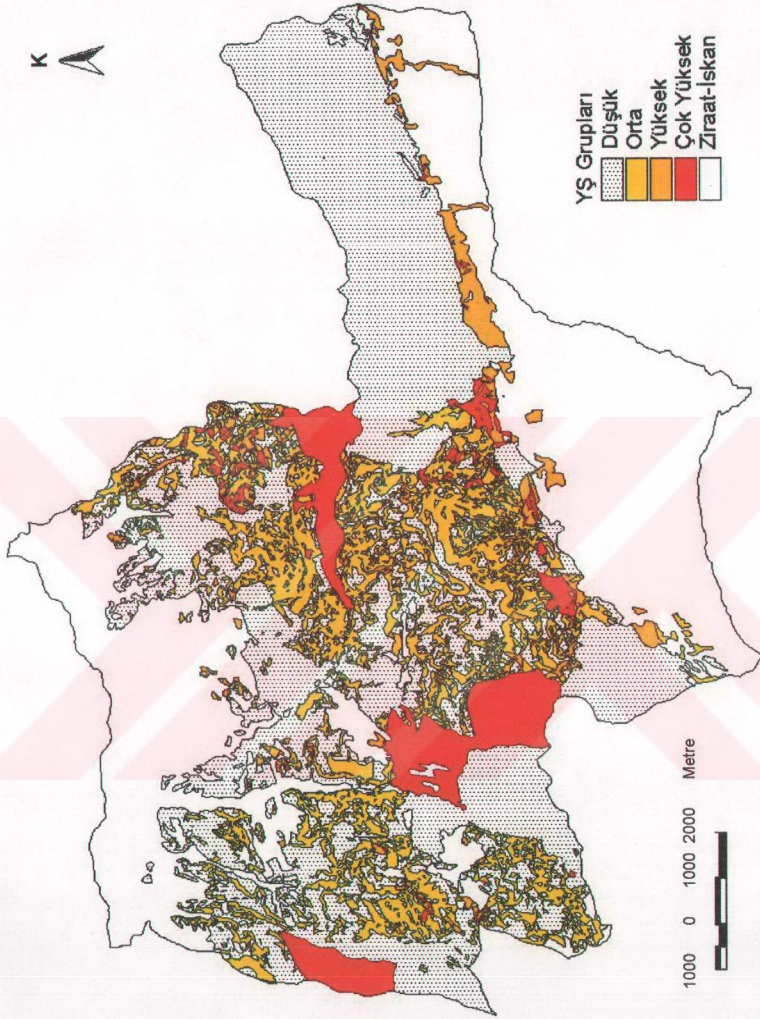


Şekil 43. Orta ve yüksek humus yanıcı madde tüketimi değerlerinin toplam alan olarak alan gruplarındaki dağılımı

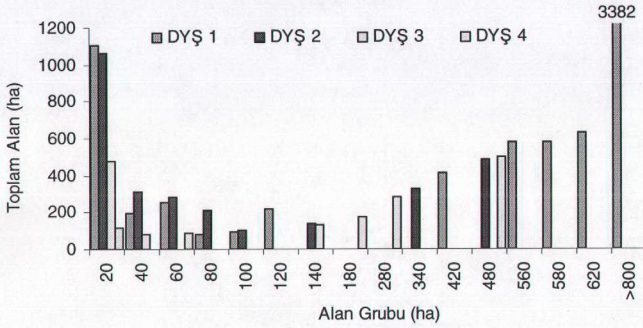


Şekil 44. Orta ve yüksek humus yanıcı madde tüketimi değerlerinin toplam sayı olarak alan gruplarındaki dağılımı

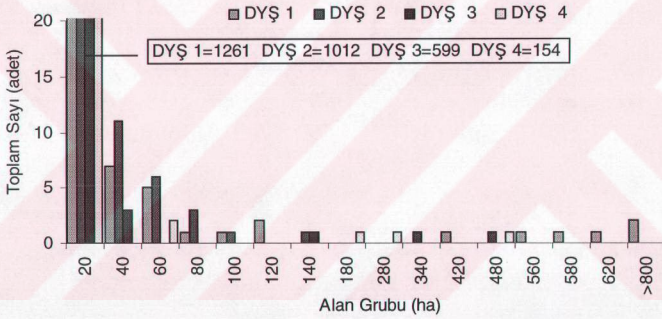
Orta yangın şiddetinde (OYŞ) yapılan hesaplamalara göre alanın 4757 hektarında (%39) yüksek ve kalan 7546 hektarında (%61) çok yüksek yangın şiddeti meydana gelmiştir (Şekil 31). Şekil 48'de alandaki yangın şiddeti dağılımı görülmektedir. Yüksek yangın şiddeti durumunda (YYŞ) alanın tamamında yangın şiddeti grubu çok yüksek olmuştur (Şekil 49). Görüldüğü gibi yangın şiddeti sınıfı yükseldikçe düşük yangın şiddeti grubundaki alanlarda dahi yüksek yangın şiddeti gözlenmekte ve sonuçta alanın tamamında çok yüksek yangın şiddeti ortaya çıkmaktadır.



Şekil 45. Düşük yangın şiddeti sınıfının alandaki dağılımı

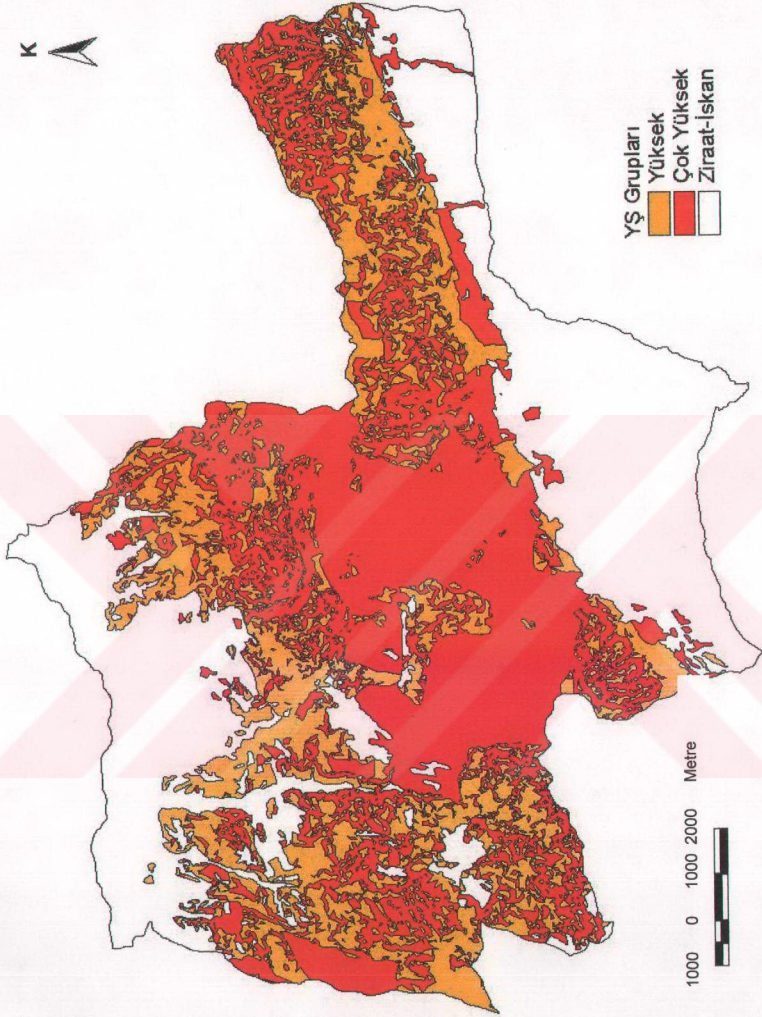


Şekil 46. Düşük yangın şiddeti sınıfının toplam alan olarak alan gruplarındaki dağılımı

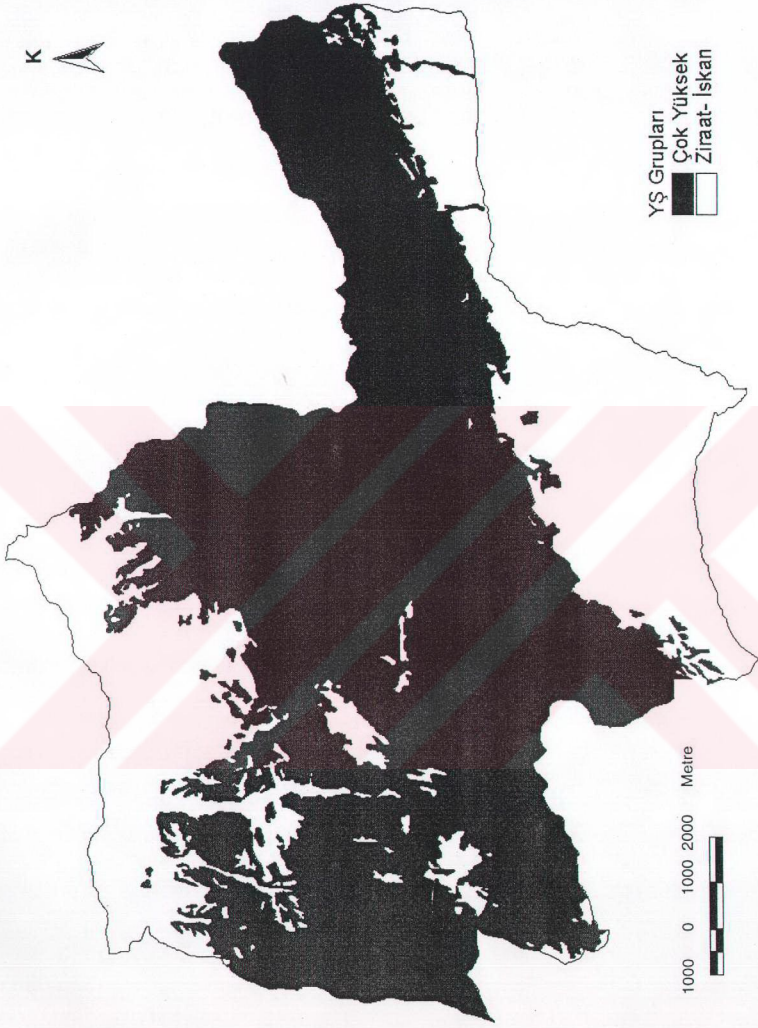


Şekil 47. Düşük yangın şiddeti sınıfının toplam sayı olarak alan gruplarındaki dağılımı

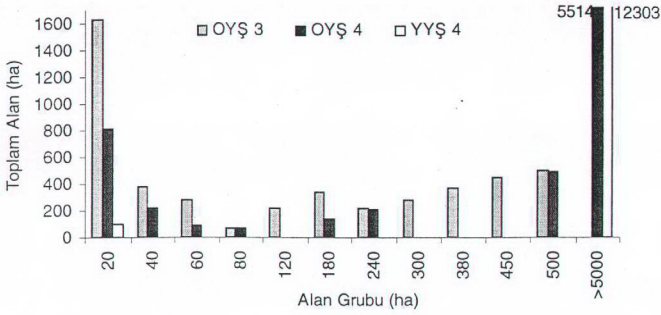
Diğer bir ifadeyle yangın şiddeti sınıfı yanıcı madde özelliklerinin etkinliğini ortadan kaldırarak baskın faktör olarak işlem görmektedir. Şekil 49 ve 50'de orta ve yüksek yangın şiddetinin toplam alan ve toplam sayı olarak alan gruplarına dağılımı görülmektedir. Şekillerde görüldüğü gibi, OYŞ'inde çok yüksek yangın şiddeti grubuna giren 5514 hektarlık bir alan bulunmaktadır. Bu gibi alanlar, yangınla mücadele yöntemlerine karar verirken mutlaka dikkate alınmalı, ona göre uygun strateji ve yöntemler kullanılmalıdır.



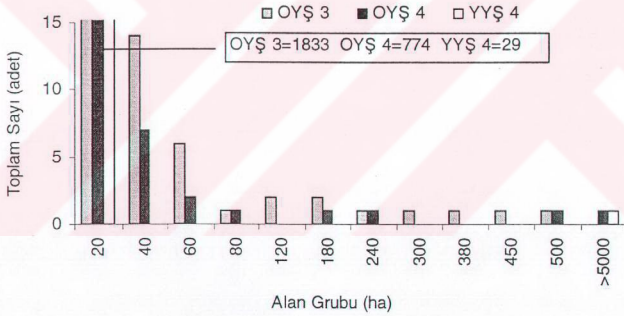
Şekil 48. Orta yangın şiddeti sınıfının alandaki dağılımı



Şekil 49. Yüksek yangın şiddeti sınıfının alandaki dağılımı



Şekil 50. Orta ve yüksek yangın şiddetinin toplam alan olarak alan gruplarına dağılımı



Şekil 51. Orta ve yüksek yangın şiddetinin toplam sayı olarak alan gruplarına dağılımı

2.4.3. Sonuçlar ve neriler

Bu çalışmada, geliştirilmiş modeller yardımıyla yanıcı madde özellikleri, hava halleri ve topografyaya bağlı olarak belirlenen yangın davranış özellikleri coğrafi bilgi sistemleri kullanılarak doğru ve hızlı bir şekilde belirlenmiş olup modeller üzerinde pratik uygulamaları yapılıp değerlendirilmiştir.

Çalışmada öncelikle alanın sayısal haritaları oluşturulmuş ve yangın davranış özelliklerinin belirlenmesinde kullanılacak veriler bu haritalara veri tabanı olarak girilmiştir. Alanda meşcere tiplerine bağlı olarak farklı rüzgar ve yanıcı madde nem içeriklerinde eğimin etkisini dikkate alan yangın davranış özelliklerine ilişkin hesaplamalar yaptırılmıştır. Sonuçta, yayılma oranı, humus yanıcı madde tüketime ve yangın şiddetinin üç farklı durumu değerlendirilmiştir.

Alanın tamamında hesaplatılan yayılma oranı değerleri, dūřuk, orta, yüksek ve çok yüksek olmak üzere 4 farklı grupta sınıflandırılmıştır. Dūřuk yayılma oranı durumunda belli bölgelerde büyük alanlarda çok yüksek yayılma oranı değerleri ortaya çıkmıştır. Bu alanlar, yayılma oranının orta ve yüksek durumlarda ele alındığında çok daha genişleyerek alanın tamamını etkilemektedir. Yayılma oranı değerleriyle birlikte alanda mevcut yangın emniyet yol ve şeritleriyle her tūrlü yol da dikkate alınarak, belli bir alanda çıkacak yangına en uygun nereden mūdahale edilebileceğine doğru ve hızlı bir şekilde karar verilebilir. Yangına ulaşma zamanı ve yayılma oranı karşılaştırılarak en uygun mūdahale hattının tesis edilmesi CBS yardımıyla kolaylıkla yapılabilir. Böylece yangınların sndürülebilmesinde çok önemli olan ilk mūdahale en kısa sūrede yapılabilir. Sayısal haritalarda yayılma oranlarının alanlara göre gösterilmesiyle, mūdahalede geç kalınacak alanlara gereksiz yere kaynakların sevk edilmeleri önlenmiş olur ve belli bir alan yanmaya bırakılarak mūdahale hattı daha güvenli ve etkili bir yerde oluşturulabilir. Meřcerelerin yayılma oranı değerleri önceden bilindiğinden, yayılma oranının çok yüksek olduğu büyük alanların küçük parçalara bölünmek suretiyle tehlikenin azaltılması, bu alanlara yakın tehlikeli olabilecek diğer alanlara dönük alternatif stratejiler oluşturarak planlamalar yapmak mūmkün olmaktadır.

Çalışma alanının yaklaşık %60'ında dūřuk, yaklaşık %30'unda orta ve kalan kısmında da yüksek ve çok yüksek derecede humus yanıcı madde tüketime ortaya çıkmıştır. Humus yanıcı madde tüketiminin alansal dağılımı şekil 31'de görülmektedir.

Humus yanıcı madde tüketiminin hesaplanmasıyla özellikle yangının ekolojik etkileri değerlendirilebilir. Humus yanıcı madde tüketiminin düşük olduğu alanlarda yangın sonrası toprak özellikleri yangından aşırı etkilenmeyeceğinden yabanlaşma olmayacaktır. HYMT'nin yüksek olduğu alanlarda ise, toprakta yabanlaşma olabilir ve bu durum yangından sonra alana gelecek türler açısından belirleyici olabilir. Böyle alanların geliştirilmesinde daha dikkatli olunmalı ve yangın sonrası toprak özellikleri iyi incelenmelidir. Çalışma alanında bu gibi alanların oranı %10'dan azdır. Humus yanıcı madde tüketiminin yüksek olması, toprakta bulunan dal ve köklerin yanmasına ve yangının böylece toprak içinde kor halinde dumansız bir şekilde ilerlemesine neden olmaktadır. Böyle durumlarda söndürüldüğü zannedilen yangınlar günler sonra tekrar alevlenebilmektedir. Dolayısıyla bu tür alanlardaki soğutma çalışmalarında dikkatli davranmalı ve toprak içindeki yanıcı maddelerin iyice söndüğünden emin olunmalıdır.

Yangın şiddetinin hesaplanmasıyla yangınla mücadele çalışmalarında kullanılacak yöntemlere daha sağlıklı bir şekilde karar verilebilir. Çalışma alanında oluşturulan yangın şiddeti sınıfında düşük yangın şiddeti grubu dikkate alındığında, %61'lik bir kısımda düşük yangın şiddeti görülmüştür. Bu alanlarda, düşük şiddetli örtü yangını beklendiğinden, söndürme çalışmalarında doğrudan müdahale yöntemleri uygulanarak başarılı olunabilir. Orta yangın şiddeti durumunda ise, uygulama alanında yüksek ve çok yüksek yangın şiddeti gözlenmiştir. Yangın şiddetinin yüksek olduğu alanlarda, yüksek şiddetli örtü yangını beklendiğinden ve yangının her an tepe yangınına dönüşebileceği dikkate alınarak uygun müdahale yöntemi seçilmelidir. Yangın şiddetinin çok yüksek olduğu durumlarda ise yangın tepeye sıçrayarak aktif tepe yangınına dönüşeceğinden yangına dolaylı müdahale yöntemleri tercih edilmelidir.

Orman yangınlarıyla mücadele çalışmalarında, coğrafi bilgi sistemleri yardımıyla YTO ile elde edilen bilgilerle aynı anda çeşitli konumsal bilgiye (grafik ve öznetelik) çok kısa sürede ulaşmak ve istenilen şekilde birbirleriyle sorgulama, analiz yapmak ve bunları görsel olarak kullanarak değerlendirmeler yapmak mümkün olmaktadır.

Coğrafi bilgi sistemlerinin etkili bir şekilde kullanılabilmesi için de öncelikle Orman Yangını Bilgi Sisteminin (OYBS) oluşturulması gerekmektedir. OYBS içerisinde, meşcere tipleri, vejetasyon, milli parklar, toprak, arazi kullanımı ve iklim haritası gibi alansal bilgiler, yangın emniyet yol ve şeritleri, orman yolları, dereler, enerji nakil hatları gibi çizgisel bilgiler ve yangın gözetleme kuleleri, depolar, su kaynakları, yangın ekipleri

gibi noktasal bilgiler veri tabanı olarak yer almalıdır. Diğer taraftan, yangın potansiyeli ve yangın davranışı ile ilgili ön bilgiler de sağlanarak bu veri tabanına ilave edilmesi gerekmektedir. Bir başka ifadeyle bir an önce YTO sisteminin oluşturulması gerekmektedir. Yanıcı madde tiplerine göre belirlenecek yanıcı madde modelleri kullanılarak yangın davranış özellikleri belirlenmeli ve sayısal haritalara veri tabanı olarak yüklenmelidir. Böylece, YTO ve CBS kullanılarak orman yangınlarıyla daha etkili bir şekilde mücadele etmek mümkün olacaktır.



3. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışma, yanıcı madde nem içeriklerinin belirlenmesi, maki tipi yanıcı maddelerde yanıcı madde miktarının belirlenmesi, maki tipi yanıcı maddelerde yangın davranışının belirlenmesi ve yangın davranışının coğrafi bilgi sistemleri yardımıyla uygulamaya aktarılması olmak üzere 4 bölümden oluşmaktadır.

Çalışmanın birinci bölümünde, farklı hava hallerinde standart bir yanıcı madde tipinde ince ölü yanıcı madde ve humus tabakası nem içeriklerinin tahmin edilebileceği modeller geliştirilmiştir. Yanıcı madde nem içeriklerinde meydana gelen değişikliklerin daha iyi ortaya konulabilmesi için farklı hava hallerinin hakim olduğu bölgelerde çalışma alanları alınmıştır. Bu bölgelerde hava sıcaklığının büyük değişiklikler göstermesi, nem içeriklerinde de belirgin bir farklılığın ortaya çıkmasına neden olmuştur. Bu farklılığı ortadan kaldırmak için bölgelerde sıcaklık ortalamalarına bağlı sıcaklık faktörleri belirlenmiştir. Daha sonra, her bir örnek için sıcaklık faktörlerini tahmin etmek üzere, nem içerikleri üzerinde en fazla etkili olan sıcaklık ve yağmurdan sonraki gün sayısını kullanarak geliştirilen model kullanılmıştır. Yanıcı madde nem içeriğini tahmin modelleri, meteoroloji istasyonlarından kolayca elde edilen sıcaklık, bağıl nem , rüzgar hızı, yağış miktarı ve yağmurdan sonraki gün sayısı ile yanıcı madde nem içerikleri arasındaki ilişkiler araştırılarak geliştirilmiştir. Sonuçta, standart bir yanıcı madde tipinde, ince yanıcı madde nem içeriğini tahmin etmek için sıcaklık faktörü, yağış miktarı, bağıl nem ve rüzgar hızına bağlı olarak istatistiki bir model geliştirilmiştir. Benzer şekilde, humus tabakası nem içeriğinin tahmin edilmesinde kullanılmak üzere, sıcaklık faktörü ve rüzgar hızına bağlı olarak istatistiki model geliştirilmiştir. Burada yangın potansiyelini ortaya koymaya yönelik olarak geliştirilen modeller, benzer alanlarda ölü yanıcı madde nem içeriklerinin tahmin edilmesinde kullanılabilir.

Sonuçlar irdelendiğinde, diğer faktörler değişmediği sürece yağışlardan sonra nem içeriğinin giderek azaldığı, ancak 12. günden sonra değişmediği ortaya konulmuştur. Bu durum, humus tabakası için kaynaklarda verilen 12 günlük kuruma süresiyle (nem içeriklerinin 2/3'ünü kaybettikleri süre) tam bir uyum göstermektedir (Van Wagner, 1987).

Ülkemizde yanıcı madde nem içeriklerini tahmin etmek için bu güne kadar bir çalışma yapılmamıştır. Bu çalışmayla ilk olarak ortaya konulan yanıcı madde nem içeriği

tahmin modelleri, geniş alanlarda yayılış gösteren ve yangınlar açısından tehlike oluşturan kızılçam ve karaçam ormanlarını ve yanıcı madde özelliklerini iyi bir şekilde temsil etmektedir. Yanıcı madde nemi tahminlerinin hızlı ve her şeyden önemlisi doğru bir şekilde yapılabilmesi için geliştirilecek modeller, çevre şartları ve yanıcı madde özellikleri benzer olan diğer alanlarda rahatlıkla uygulanabilir olmalıdır. Bu açıdan, burada geliştirilen modeller benzer alanlarda rahatlıkla kullanılabilir olacaktır.

Oluşturulan tahmin modelleriyle çok geniş alanlarda yanıcı madde nem içerikleri günlük olarak hesaplanabilecek ve yangın potansiyeli tahmin edilebilecektir. Yangın potansiyeline göre günlük gözetleme faaliyetleri belirlenebilecek ve yangın potansiyelinin yüksek olduğu günlerde yangın organizasyonu daha dikkatli olarak, çıkabilecek bir yangına karşı hazırlıklı olacaktır. Yangın ilk müdahale ekipleri alarm durumunda olacağı için, yangınların söndürülmesinde çok önemli olan ilk müdahale süresi kısaltılmış olacak ve yangına başlangıcından kısa bir süre sonra yapılacak etkili bir müdahale ile söndürülebilmesi daha kolay olacaktır.

Yanıcı madde nem içeriklerini tahmin modelleri, yangın tehlike oranları sisteminin ana bileşenlerinden biri olan meteorolojik yangın indeksi sisteminin ilk adımını oluşturmaktadır. Bu çalışma ile elde edilen yanıcı madde nem içerikleri tahmin modelleri, yangın tehlike oranları sisteminin diğer bileşeni olan yangın davranışının tahmin edilmesi çalışmalarında da kullanılacaktır.

Bu çalışma kapsamında, özellikle sıcaklık ortalamasının yüksek olduğu bölgelerde yeterli miktarda yağış kaydedilmemiştir. Yağışlı günlerden sonra yanıcı madde nem içeriğinde meydana gelen değişimlerin daha iyi ortaya konulabilmesi için, bu gibi bölgelerde yağış sezonunu da içine alacak şekilde benzer çalışmalar yapılmalıdır.

Çalışmanın ikinci bölümünde, maki tipi yanıcı maddelerde yanıcı madde miktarını belirlemek için öncelikle 15 adet örnekleme alanı alınarak yanıcı madde özellikleri tespit edilmiştir. Bunlara bağlı olarak yapılan analizler sonucunda, yanıcı madde özelliklerinden ortalama boy ve kapalılığı kullanarak, genel toplam, toplam canlı, kalın canlı ve ince ölü yanıcı madde miktarları geliştirilen istatistiki modellerle tahmin edilmiştir.

Bu çalışma kapsamında geliştirilen modeller kullanılarak, yanıcı madde özellikleri benzer olan çok geniş alanlarda, çok az zaman ve para harcamak suretiyle yanıcı madde ortalama boyu ve kapalılığına bağlı olarak YMM kolay bir şekilde tahmin edilebilecektir.

Günümüzde, uzaktan algılama, uydu ve hava fotoğrafları kullanılarak meşcerelerin ortalama boyu ve kapalılığı kolaylıkla tahmin edilebildiği dikkate alındığında bu gibi modellerin uygulamada çok faydalı olacağı bir gerçektir. Yanıcı madde özelliklerinin daha farklı olduğu makilik alanlarda bu tür çalışmalar tekrarlanarak, tahmin modellerinin hassasiyeti yükseltilebilir ve uygulama alanları genişletilebilir.

Bu çalışma yangın tehlike oranları sisteminin ana bölümlerinden biri olan yangın davranışının tahmini kısmında kullanılacak yanıcı madde modelini oluşturmaktadır. Yangına hassas bölgelerde bulunan diğer yanıcı madde tiplerinde de yangın davranışlarının belirlenebilmesi için bu tür araştırmalar yapılarak yanıcı madde modelleri oluşturulmalıdır. Bu modeller, yanıcı madde miktarının belirlenmesinin önemli olduğu bütün alanlarda rahatlıkla kullanılabilir.

Çalışmanın üçüncü bölümünde, maki tipi yanıcı maddelerde yangın davranışının belirlenmesi için deneme yangınları yapılarak, yanıcı madde özellikleri ve hava halleri ile yangın davranışı arasındaki ilişkiler araştırılmıştır. Yangın davranışı üzerinde etkili olan yayılma oranı, yanıcı madde tüketimi ve yangın şiddetinin değişen şartlar altında ne şekilde ortaya çıkacağını tahmin etmek için regresyon modelleri geliştirilmiştir.

Yayılma oranını tahmin etmek için rüzgar hızı, yanıcı madde ortalama boyu, kapalılık ve toplam yanıcı madde miktarına bağlı istatistiksel modeller geliştirilmiştir. Çalışmada ayrıca yanıcı madde tüketimi ile yanıcı madde özellikleri arasındaki ilişkiler de araştırılmıştır. Yanıcı madde tüketiminin kalın YMM ve ölü yanıcı maddelerin nem içeriğine bağlı olarak tahmin edilmesi yanında, ortalama boy ve kapalılığa bağlı olarak geliştirilen model yanıcı madde tüketimindeki değişkenliğin %94'ünü açıklayarak en iyi sonucu vermiştir. Yangın şiddeti ile rüzgar hızı, alev yüksekliği ve yanıcı madde özellikleri arasındaki ilişkiler ortaya konulmuştur. Yangın şiddetini tahmin etmek için rüzgar hızı, ortalama boy ve kapalılığı kullanan model ile rüzgar hızı ve toplam yanıcı madde miktarının kullanıldığı model en iyi ilişkileri ortaya koymuşlardır.

Eğimin yangının yayılması üzerine olan etkisi oldukça önemlidir. Ancak, bu çalışmada eğim faktörü dikkate alınmamış ve çalışma düze yakın bir alanda gerçekleştirilmiştir. Topografyanın küçük alanlarda bile büyük değişiklikler gösterdiği dikkate alındığında eğimin yangın davranışı üzerine olan etkisini ortaya koymak son derece önemlidir. Bu etkiyi ortaya koymak için ormanlık alanlarla ilgili

geliştirilmiş eğim düzeltme faktörleri (Noble vd., 1980; Forestry Canada, 1992) kullanılabilir. Fakat bu faktörler, maki gibi çalılık alanlardaki yayılma oranını olduğundan fazla tahmin ettiğinden bazı tedbirlerin alınmasını gerektirmektedir (Catchpole vd., 1998; Fernandes, 2001). Bundan dolayı, eğim, bu konuda yapılacak çalışmalarda önemle üzerinde durulması gereken konulardan birisidir.

Bu çalışmayla ortaya konulan maki tipi yanıcı maddelerde yangın davranışı modelleri yangın tehlike oranları sisteminin ana bölümlerinden biri olan yangın davranışının tahmini sisteminin ilk basamağını oluşturmaktadır. Bu tür çalışmaların, yangına duyarlı bütün yanıcı madde tiplerine genişletilerek yapılması, geliştirilecek yangın tehlike oranları sistemi için bir ihtiyaçtır. Bu çalışmayla atılan ilk adım, konuyla ilgili bundan sonra yapılacak yeni çalışmalar için örnek bir altlık olacaktır.

Çalışmanın dördüncü bölümünde, yangın davranışının coğrafi bilgi sistemleri yardımıyla uygulamaya aktarılması ele alınmıştır. Bu bölümde, yayılma oranı, yanıcı madde tüketimi ve yangın şiddeti değişik yangın davranış şiddet sınıflarında belirlenmiş ve bunlarla ilgili değerlendirmeler yapılmıştır.

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 edilemeyeşidir. Yangın potansiyelinin tahmin edilmesinde birinci bölümde geliştirilen yanıcı madde nem içeriklerini tahmin modelleri kullanılabilir. Üçüncü bölümde geliştirilen YD tahmin modellerinin, bir çok konumsal bilgiyi depolayıp, sorgulama ve analiz edilmesine imkan veren CBS kullanılarak bilgisayar ortamında değerlendirilmesiyle yangın davranışının tahmini daha doğru, hızlı ve etkin bir şekilde yapılabilir.

CBS kullanılarak yaptırılan hesaplamalar ile tahmin edilen yayılma oranı değerleri, yanıcı madde özellikleri, yangın emniyet yol ve şeritleri, her türlü yollar, dereler, su kaynakları, yerleşim alanları, gözetleme kuleleri, yangın ekiplerinin yerleri gibi bir çok konumsal bilginin yer aldığı veri tabanı kullanılarak sayısal haritalara dönüştürülür. Bu haritalar üzerinde mevcut şartlarda çıkacak bir yangında, farklı yanıcı madde özellikleri ve eğim gruplarında meydana gelecek yayılma oranı değerleri görülecektir. Böylece, hangi alanların çok yüksek yayılma oranına sahip olduğu rahatlıkla görülerek, o alanlarla ilgili en uygun müdahale yerlerine kolay ve sağlıklı bir şekilde karar vermek mümkün olacaktır.

Mevcut yangın emniyet yol ve şeritleri ile diğer yollar ve dereler de aynı harita üzerinde görüleceğinden yangına ulaşma zamanı ve yayılma oranı dikkate alınarak en uygun yerlere kaynakların sevk edilmesi sağlanmış olacaktır. Yine yayılma oranı haritaları kullanılarak, yangın çıkmadan önce yayılma oranı açısından tehlikeli alanlara en kısa sürede müdahale edilebilecek yerlere ekip araç ve gereçlerinin konuşlandırılması ve gerekirse karşı ateşi uygulama yerlerinin rahatlıkla kararlaştırılması mümkün olacaktır. Yayılma oranı düşük olan alanlara gereğinden fazla kaynakların sevk edilmesi önleneneğinden kaynak israfının önüne geçilmiş olacaktır. Yayılma oranının yüksek olduğu alanlara bitişik veya komşu olan tehlikeli olabilecek diğer alanlarla ilgili stratejilerin geliştirilmesi bu haritaların kullanılmasıyla mümkün olacaktır.

Yangın şiddetinin aynı şekilde sayısal haritalara aktarılmasıyla, farklı yangın şiddeti alanlarına göre uygun müdahale yöntemi, kullanılacak araç-gereç ve ekip sayıları daha sağlıklı ve hızlı bir şekilde belirlenebilir. Böylece yangın şiddeti düşük olan alanlara gereğinden fazla ekip, araç ve gerecin gönderilmesi önlenmiş olacaktır. Düşük şiddetteki örtü yangınlarının ilerleme yönünde yangın emniyet yol ve şeritleri, yol, dere gibi bir engel olması durumunda bu gibi yangınların hava hallerinde beklenmedik değişiklik olmadığı müddetçe kendi kendine sönmeye başlayabilir. Bu gibi alanlara kontrol amaçlı çok az sayıda ekiplerle müdahale etmek yeterli olacaktır. Yangın şiddetinin yüksek olduğu alanların konumları, bu alanların büyüklüğü ile komşu diğer alanların yangın şiddet sınıfları sayısal haritalarda belirlendiğinden, bu gibi alanlarda çıkacak bir yangının ne denli tehlikeli olacağı tahmin edilebilmektedir. Böylece, bitişik ve komşu diğer alanlar da dikkate alınarak çok tehlikeli olan bu alanlara yapılabilecek en etkili müdahale şekline, alanı küçük parçalara bölen engeller de dikkate alınarak karar verilebilir. Bazı yangınlar, yangın şiddeti doğru olarak tespit edilemediğinden etkili ve doğru müdahale şekline karar verilememesi nedeniyle büyük alanlarda zarar yapmaktadır. Çoğu zaman yangın anında yapılan değerlendirmeler, aynı anda geniş alanlar bir arada görülemediğinden, yangının devam ettiği alan ve onun etrafındaki dar bir alanla sınırlı kalmaktadır. Bu ise, aktif tepe yangınına dönüşmüş şiddetli yangınlarda yangının çok uzaklara hızlı bir şekilde ilerlemesi ihtimali nedeniyle yeterli olmamaktadır. Bu eksikliğin giderilebilmesi için, alanın tamamını ve komşu diğer alanları, mevcut tüm yangın engellerini, ekiplerin konuşlandırıldığı yerleri yangın şiddeti sınıflarıyla birlikte aynı anda görüp kapsamlı bir değerlendirme yapılmalıdır. CBS kullanılarak böyle çok sayıdaki konumsal bilgiye aynı anda ulaşmak ve karşılaştırmalı olarak sorgulama ve analizlerini yapmak mümkün olmaktadır. CBS gibi

karar destek sistemlerini kullanan yangın organizasyonları daha az hata yapacak ve kısa sürede daha doğru ve daha etkili kararlar alarak başarılarını artıracaklardır.

Humus yanıcı madde tüketimi CBS kullanılarak sayısal haritalara aktarılır ve alanlar itibariyle geniş kapsamlı değerlendirmeler yapılarak, yangınla mücadele ve soğutma çalışmalarında karşılaşılabilecek zorluk ve yangının toprağa olan etkisi belirlenebilir. Humus yanıcı madde tüketiminin yüksek olduğu alanlarda toprakta bulunan dal ve kökler içten içe dumansız bir şekilde kor halinde yanarlar. Bu çok yavaş bir yanma işlemidir, dal ve köklerin durumuna göre günlerce devam edebilir. Böyle durumlarda özellikle aktif yangının söndürülmesinden sonra soğutma çalışmaları son derece önemli olmaktadır. Çünkü, içten içe duman çıkartmadan yanan bu gibi yanıcı maddeler günler sonra yangının uzak bir alanda tekrar başlamasına neden olabilir. Bunu önlemek için, humus yanıcı madde tüketimi tahmin edilmeli, toprakta bulunan yanıcı maddeler çok iyi belirlenmeli, soğutma çalışmalarında bu tür dal ve köklerin tamamen söndüğünden emin olunmalı ve bu tür yanıcı maddeler dikkate alınarak yangın çevresinin diğer alanlarla olan bağlantısı kesilmelidir. Burada, yangının çıktığı alana bitişik ve komşu diğer alanlar da humus yanıcı madde tüketimi açısından değerlendirilmeli ve tehlikeli olabilecek alanlar için ek tedbirler alınmalıdır.

Humus yanıcı madde tüketiminin yüksek olduğu alanlarda yangın sonrası toprakta yabanlaşma beklenebilir. Bu durum özellikle yangın sonrası alana gelecek türler açısından belirleyici olacaktır. Dolayısıyla mevcut toprak yapısıyla birlikte yangın sonrası toprakta meydana gelen değişiklikler dikkatlice değerlendirilmeli ve alana gelmesi muhtemel türlerin ekolojik isteklerine göre gerekli tedbirler alınmalıdır. Humus yanıcı madde tüketiminin düşük olması durumunda normal şartlarda toprakta bir yabanlaşma beklenmemektedir. Dolayısıyla dikkatin yanıcı madde tüketiminin yüksek olduğu alanlarda yoğunlaşması gerekmektedir.

Yangın davranışın CBS yardımıyla uygulamaya aktarılmasıyla ilgili yapılan bu çalışma bir örnek çalışmadır. Bu tür çalışmaların yangına hassas bütün alanlarda yapılarak elde edilen bilgiler veri tabanına ilave edilerek bir an önce Orman Yangın Bilgi Sistemi (OYBS) oluşturulmalıdır. Bunun için, öncelikle farklı yanıcı madde tiplerinde yanıcı madde modelleri geliştirilmeli ve bu yanıcı madde modellerindeki yangın davranış özelliklerinin belirlenmesi gerekmektedir.

Orman yangınlarıyla mücadele çalışmalarında, yangın tehlike oranları sistemi yangın organizasyonuna yangın potansiyeli ve yangın davranışı ile ilgili ihtiyaç duyduğu bir çok bilgiyi sağlayarak faydalı olmaktadır. Coğrafi bilgi sistemleri, YTO sisteminin sağlamış olduğu bilgilerle çeşitli konumsal bilgileri (grafik ve öznetelik) çok kısa sürede bir araya getirerek, istenilen şekilde birbiriyle sorgulamak, analiz yapmak ve bunları görsel olarak sayısal haritalara taşımak suretiyle yangın organizasyonuna karar verme aşamasında yardımcı olmaktadır. Böylece YTO sisteminin daha etkin bir şekilde kullanılması da mümkün olmaktadır. Yangın organizasyonu bu gibi karar destek sistemlerini kullanarak çok hızlı ve geniş alanları ilgilendiren kararların alınması gereken orman yangınlarında daha etkili ve daha başarılı olacaktır.

Son söz olarak denilebilir ki; yapılan bu çalışmayla yangın tehlike oranları sisteminin oluşturulmasının temelleri atılmış olup bundan sonra yapılacak çalışmalarla sistemin eksik yönleri tamamlanmalı ve YTO sistemi bir an önce oluşturularak yangın organizasyonunun kullanımına sunulmalıdır.

4. KAYNAKLAR

- Agee, J.K., Huff, M.H., 1987, Fuel Succession in a Western Hemlock-Douglas Fir Forest, Canadian Journal of Forest Research, 17:697-704
- Albini, F. A., 1976, Estimating Wildfire Behavior and Effects, Gen. Tech. Rep. INT-30, Ogden UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station.
- Alemdag, I. S., 1984, Total Tree and Merchantable Stem Biomass Equations for Ontario Hardwoods, Can. For. Ser., Nat. For. Inst., Inf. Rep., PI-X-46-54, Petawawa.
- Alemdag, I. S., 1986, Estimating Oven-dry Mass of Trembling Aspen and White Birch Using Measurements from Aerial Photographs, Can. J. Forest Res., 16 (1), 163-165.
- Alemdağ, Ş., 1962, Türkiye’de Kızılçam Ormanlarının Gelişimi, Hasılatı ve Amenajman Esasları, Ormancılık Araştırma Enstitüsü Yayını, Teknik Bülten 1, Ankara.
- Alexander, M. E., B. Janz, and D. Quintilio. 1983, Analysis of Extreme Wildfire Behavior in East-Central Alberta: A Case Study. Proceedings of the 7th Conference on Fire and Forest Meteorology, 25-28 April 1983, Fort Collins, CO. American Meteorological Society, Boston, MA., 38-46.
- Alexander, M.E., Lawson, B.D., Stocks, B.J. and Van Wagner, C.E., 1984, User Guide to the Canadian Forest Fire Behavior Prediction System, Rate of Spread Relationships, Interm. Edition, Environ Can., Can For. Ser., Fire Danger Group, 77+ Suppl., Canada.
- Anderson, H. E., 1968, Sundance Fire: An Analysis of Fire Phenomena, USDA For. Serv. Res. Pap. INT-56.
- Anderson, H. E., 1982, Aids to Determining Fuel models for Estimating Fire Behavior, Gen. Tech. Rep. INT-122, Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Stations, 68 pp.
- Andrews, P.L., 1986, BEHAVE: Fire Behavior Prediction and Fuel Modeling System-BURN Subsystem, Part L USDA For. Serv., Gen Tech. Rep. INT-194, Intermountain Research Station, Ogden, Utah, 130 pp.
- Andrews, P.L., Bevins, C., 1993, In Press, Fire Growth Simulation for Prescribed Natural Fire, In Fire in wilderness and Park Management: Past Lessons and Future Opportunities, Proceedings of Symposium, Missoula, Montana.
- Andrews, P.L., Bradshaw, L.S., 1996, Interpretation of the National Fire Danger Rating System for Yellowstone National Park, Ecological Implication of Fire in Greater Yellowstone, IAWF, USA.

- Anonymous, 1970, Canadian Forest Fire Weather Index, Can. Dept. Fish. & For., For. Service.
- Aslan, Z., Sağlam, B., 1995, Orman Yangınları ve Meteorolojik Parametreler Arasındaki İlişkiler, I. Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi, Bildiriler Kitabı, Trabzon.
- Baş, R., 1965, Türkiye’de Orman Yangınları Problemi ve Bazı Klimatik Faktörlerin Yangınlara Etkileri Üzerine Araştırmalar, OGM Yayınları, Yayın No: 421/20, Ankara.
- Başkent, E. Z., 1997, Türkiye Ormancılığı için Nasıl Bir Coğrafi Bilgi Sistemi Kurulmalıdır? Turkish Journal of Agriculture & Forestry, 2, 15, 493-506.
- Beck, J.A., 1988, Decision Support for Australian Fire Management, MSc Thesis, The Australian National University, Department of Forestry, 84 pp.
- Bilgili, E., 1995a, Kanada Orman Yangınları Tehlike Oranı Sistemi ve Türkiye’de Uygulanabilme İmkanları, Orman Yangınlarının Önlenmesi ve Mücadelesi Semineri, Orman Bölge Müdürlüğü, İstanbul.
- Bilgili, E., 1995b, Fuel Characterization and Fire Behavior Prediction in Even-Aged Conifer Stands, PhD. Thesis, University of New Brunswick, Fredericton, Canada.
- Bilgili, E., 1996, Orman Yangınları ve Karar Vermede Yardımcı Sistemler, Güz yarıyılı Seminerleri, KTÜ Orman Fakültesi, Seminer Serisi No:1, Trabzon.
- Bilgili, E. 1998a. Yangın Amenajmanı Planlamalarında Yanıcı Madde Amenajmanının Rolü. Orman Yangınları Politikası ve Planlaması Eğitim Kursu, Ankara (Yayınlanacak).
- Bilgili, E. 1998b, A State-Dependent Model of Forest Floor Development, Tr. J. of Agriculture and Forestry, 22, 323-328.
- Bilgili, E., 1999a, The Use of Decision Support Systems in Fire Management Planning, Orman Yangınlarının Önlenmesi ve Mücadelesi Semineri, Fethiye, Muğla.
- Bilgili, E., 1999b, Yangın Amenajmanında Yangın Tehlike Oranları Sisteminin Yeri, Orman Yangınlarının Önlenmesi ve Mücadelesi Semineri, Akçay, Balıkesir.
- Bilgili, 2000, Orman Yangınları Tehlike Oranları Sistemine Doğru, T.C. Orman Bakanlığı Teknik Bülten, 1, 1, 13-14, Ankara.
- Bilgili, E., Sağlam, B., 2002, Orman Yangınlarıyla Mücadele Çalışmaları Kapsamında 2000 Yılı Yangınlarının Değerlendirilmesi, II. Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi, Bildiriler Kitabı, II, 653-659, Artvin.
- Bilgili, E., Sağlam, B., Başkent, E.Z., 2001, Yangın Amenajmanı Planlamalarında Yangın Tehlike Oranları ve Coğrafi Bilgi Sistemleri, KSÜ Fen ve Mühendislik Dergisi, 4, 2, 288-97.

- Bradshaw, L.S., Deeming, J.E., Burgan, R.E., Cohen, J.D., 1984, The 1978 National Fire Danger Rating System: Technical Documentation, U.S. Forest Service General Technical Report INT-169.
- Burgan, R.E., 1979, Fire Danger/Fire Behavior Computations with the Texas Instruments TI-59 Calculator: Users' Manual, Gen. Tech. Rep. INT-61, Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Stations, 25 pp.
- Byers, H. R., 1944, General Meteorology, McGraw-Hill Book Company, Inc., New York.
- Byram, G. M., 1959, Combustion of Forest Fuels, in Forest Fire: Control and Use, Edited by K. P. Davis. McGraw-Hill, 61-89, New York.
- Byram, G.M., 1954, Atmospheric Conditions Related to Blowup Fires, U.S. Forest Serv. Southeast. Forest Expt. Station, 35 pp.
- Çanakçıoğlu, H., 1988, Yangın Tehlike İndekslerinden Yararlanılan Alanlar, Türkiye Ormanlarını Yangından Koruma Semineri, OGM, Orman Koruma ve Yangınla Mücadele Dairesi Başkanlığı, Yayın No: 29, Seri No: 672, 153-162, Ankara.
- Çanakçıoğlu, H., 1993, Orman Koruma, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi, Üniversite Yayın No: 3624, Fak. Yay.No: 41.1, İstanbul.
- Catchpole, W., Bradstock, R., Choate, J., Fogarty, L., Gellie, N., McCarty, G, McCaw, L., Marsden-Smedley, J., Pearce, G., 1998, Cooperative Development of Equations for Heathland Fire Behaviour, In: Viegas, D.X. (Ed.), Proc. 3rd Int. Conf. On Forest Fire Research/14th Fire and Forest Meteorology Conf., Luso, 16-20 November 1998. ADAI, University of Coimbra, 631-645, Coimbra.
- Catchpole, W.R., Wheeler, C.J., 1992, Estimating Plant Biomass: A Review of Techniques, Australian Journal of Ecology 17, 121-131.
- Chandler, C., Cheney, P., Thomas, P., Trabaud, L. Williams, D., 1991, Fire in Forestry, Volume I, Chapter 3, 55-89, U.S.A.
- Clark, J.S., 1988, Effect of Climate Change on Fire Regimes in Northwestern Minnesota, Nature 334, 233-235.
- Countryman, C.M. 1971, This Humidity Business. U.S. For. Serv. Pasific Southwest Forest and Range Exp. Sta., Berkeley, Cal., Unnumbered report.
- Countryman, C.M., 1974, Moisture in Living Fuels Affects Fire Behavior, Fire Manage. 35, 10-14.
- Crane W. J. B., 1982, Computing Grassland and Feorest Fire Behavior, Relative Humidity And Drougt Indexby Pocket Calculator, Aust. For.
- Davis, K.P. 1973, Forest Fire: Control and Use, McGraw-Hill Book Company, Inc., U.S.A.

- Deeming, J. E., Burgan, R.E., Cohen, J.D., 1978, The National Fire-Danger Rating System, Gen Tech. Rep. INT-39, Ogden UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station.
- Deeming, J. E., Lancaster, J.W., Fosberg, M.A., Furman, R.W., Schroeder, M.J., 1972, The National Fire-Danger Rating System. U.S. For. Serv., Rocky Mt. For. And Range Exp. Stn, Fort Collins, Colo., Res. Paper RM-84, 165 pp.
- Defant, F., 1951, Local Winds, in Compendium Meteorology, American Meteorological Society, Waverly Press, Inc., Baltimore.
- Despain, D.G., 1990, Yellowstone Vegetation: Consequences of Environment in a Natural Setting, Roberts Reinhart, Boulder, Colorado, USA.
- Despain, D.G., Sellers, R.E., 1977, Natural Fires in Yellowstone National Park, Western Wildlands 4, 20-24.
- DMİ, 2000, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü Bilgi İşlem Dairesi Başkanlığı Kayıtları.
- Environment Canada, 1984, User Guide to the Canadian Forest Fire Behavior Prediction System (Interim Edition), Canadian Forestry Service, 75 p.
- Eraslan, İ., 1982, Orman Amenajmanı, İ.Ü. Orman Fakültesi Yayın No: 3010, İstanbul.
- Erkan, N., 1996, Kızılçamda (*Pinus brutia* Ten.) Meşcere Gelişiminin Simülasyonu, Orman Bakanlığı, Güneydoğu Anadolu Ormancılık Araştırma Müdürlüğü, Teknik Bülten No:1, ISBN 975-7829-41-2, Elazığ.
- ESRI, 1993, Understanding GIS The ARC/INFO Method, Esri Press, Redlands California, ABD.
- ESRI, 1996, Arc/View, Esri Press, Redlands California, ABD.
- Fernandes, P.A.M., 2001, Fire Spread Prediction in Shrub Fuels in Portugal, Forest Ecology and Management 144, 67-74.
- Finklin, A.I., 1973, Meteorological Factors in the Sundance Fire Run, U.S. Forest Service General Technical Report INT-6.
- Finney, M.A., 1994, Modeling the Spread and Behavior of Prescribed Natural Fire, Proceedings of the 12th Conference on Fire and Forest Meteorology, 138-143, Georgia.
- Fischer, W.C., Hardy, C.E., 1976, Fire Weather Observers' Handbook, U.S. For. Serv. Agric. Handbook No: 494.
- Flannigan, M.D., Harrington, J.B., 1986, A Study of the Relation of Meteorological Variables to Monthly Provincial Area Burned by Wildfire in Canada (1953-1980), Journal of Applied Meteorology 27, 441-452.

- Fogarty, L.G., Pearce, H.G., 2000, Draft Field Guides for Determining Fuel Loads and Biomass in New Zealand Vegetation Types, Forest and Rural Fire Research, Fire Technology Transfer Note, No: 21.
- Forestry Canada, 1989, Canadian Forest Fire Behavior Prediction (FBP), System Technology and Information Transfer Workshop, Winnipeg, Manitoba, December (12-13), 114 pp+suppl.
- Forestry Canada, 1992, Development and Structure of the Canadian Forest Fire Behavior Prediction System, Forestry Canada, Fire Danger Group, Inf. Rep., St-X-3.
- Fryer, G.L., Johnson, E.A., 1988, Reconstructing Fire Behavior and Effect in a Subalpine Forest, Journal of Applied Ecology 25, 1063-1072.
- Gisborne, H.T., 1941, How the Wind Blows in The Forest Of Northern Idaho, U.S. For. Serv. North. Rocky Mt. Forest and Range Expt. Sta.
- Gritsenko, M. V., 1962, A New Scale For Forest Fire Danger, Meteorologiya Gedrologiya 3.
- Habeck, J.R., Mutch, R.W., 1973, Fire Dependent Forests in the Northern Rocky Mountains, Quaternary Research 3, 408-424.
- Harrington, J.B., Flannigan, M.D., Van Wagner, C.E., 1983, The Study of the Relation of Component of the Fire Weather Index to Monthly Provincial Area Burned by Wildfire in Canada 1953-1980, Petawawa National Forestry Institute, Canadian Forestry Service, Department of Environment Information Report PI-X-25.
- Harrington, J.B., Flannigan, M.D., 1987, Drought Persistence at Forested Canadian Station, Pages 204-206 in Proceedings of the Ninth Conference on Fire and Forest Meteorology, San Diego, California, American Meteorological Society, Boston, Massachusetts, USA.
- Heinselman, M.L., 1973, Fire in the Virgin Forests of the Boundary Waters Canoe Area, Minnesota, Quaternary Research 3, 329-382.
- Hirsch, K.G., 1996, Canadian Forest Fire Behavior Prediction (FBP) System: User's Guide, Nat. Resour. Can., Can. For. Serv., Northwest Reg., North. For. Cent., Edmonton, Alberta. Spec. Rep. 7.
- Johnson, E.A., Larsen, C.P.S., 1991, Climatically Induced Change in Fire Frequency in the Southern Canadian Rockies, Ecology 72, 194-201.
- Johnson, E.A., Wowchuk, D.R., 1993, Wildfires in the Southern Canadian Rocky Mountains and Their Relationship to Mid-Tropospheric Anomalies, Canadian Journal of Forest Research 23, 1213-1222.
- Kill, A.D., Miyagawa R.S., Quintilio, D., 1977, Calibration and Performance of The Canadian Fire Weather Index In Alberta, Environ. Can., Can. For. Serv., North For. Res. Cent., Edmonton, Alta. Inf. Rep. NOR-X-173. 45 p.

- Kourtz, P., 1984, Decision-Making For Centralized Forest Fire Management, For. Chron. 60, 320-327.
- Küçük, Ö., 2000, Karaçamda Yanıcı Madde Miktarının Tespiti ve Yanıcı Madde Özelliklerine Bağlı Yanıcı Madde Modelleri, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Trabzon.
- Küçük, Ö., Bilgili, E., 2001, Karaçam (*Pinus nigra* Arnold)'da Yanıcı Madde Tipleri, GÜ. Kastamonu Eğitim Dergisi (9) 1: 189-196.
- Lawson, B. D., 1972, An Interpretive Guide to the Canadian Forest Fire Behavior Rating System, Can. For. Serv. BCP-3-72.
- Lawson, B. D., 1973, Fire Behavior in Lodgepole Pine Stands Related to The Canadian Fire Weather Index, Can. For. Serv. Inf. Rep. BC-X-76.
- Lawson, B. D., Stocks, B. J., Alexander, M. E., Van Wagner, C. E., 1985, A System for Predicting Fire Behavior in Canadian Forests, In Proc. Eighth Conf. Fire and Forest Meteorology., Soc., Am For., Maryland. SAF Publ. 85-04.
- Lotan, J.E., Brown, J.K., Neuenschwander, L.E., 1985, Role of Fire in Lodgepole Pine Forests, Pages 133-152, Lodgepole Pine- the Species and its Management, Symposium Proceedings, Washington State University, Pullman, Washington, USA.
- Marsden-Smedley, J.B., Catchpole, W.R., 1995, Fire Behaviour Modelling in Tasmanian, Buttongrass Moorlands I. Fuel Characteristics. Int. J. Wildland Fire 5, 4, 203-214.
- McArthur, A. G. 1960, Fire ,Danger Rating Tables for Annual Grasslands, Commonvelth of Australia, Forestry and Timber Bureau.
- McArthur, A. G. 1962, Control burning in Eucalypt Forests, Commonvelth of Australia, Forestry and Timber Bureau, Leaflet.
- McArthur, A. G., 1966, Forest Fire Danger Meter, Mk4. For. and Timber Bur., For. Res. Dist. Canberra. McArthur, A. G. 1967, Fire Behavior in Eucalypt Forests, Commonvelth of Australia, Forestry and Timber Bureau, Leaflet.
- McArthur, A. G. 1977, Grassland Fire Danger Meter Mk 5. Country Fire Authority of Victoria, Melbourne.
- McRae, D. J., 1985, Prescribed Burning of Boreal Mixedwood Slash in the Ontario Clay Belt Region, Can. For. Serv. Inf. Rep. O-X-367.
- Mol, T., 1988, Yangın Tehlike Oranları, Türkiye Ormanlarını Yangından Koruma Semineri, OGM, Orman Koruma ve Yangınla Mücadele Dairesi Başkanlığı, Yayın No: 29, Seri No: 672, 130-139, Ankara.
- Mol, T., 1989, Yangın Davranışında Rüzgar Profilleri, Orman Yangınlarıyla Savaş Semineri, OGM, Orman Koruma ve Yangınla Mücadele Dairesi Başkanlığı, Yayın No: 28, Seri No: 671, 20-30, Ankara.

- Mol, T., Selmi, E., 1989, Alçak ve Yüksek Şiddetli Yangınların Davranışı, Orman Yangınlarıyla Savaş Semineri, OGM, Orman Koruma ve Yangınla Mücadele Dairesi Başkanlığı, Yayın No: 28, Seri No: 671, 10-14, Ankara.
- Mol, T., Selmi, E., Küçükosmanoğlu, A., 1989, Yangın Davranışıyla Çevre İlişkileri, Orman Yangınlarıyla Savaş Semineri, OGM, Orman Koruma ve Yangınla Mücadele Dairesi Başkanlığı, Yayın No: 28, Seri No: 671, 5-9, Ankara.
- Montgomery, K.R., Cheo, P.C., 1971, Effect of Nitrogen Source on Growth of Eucalyptus in Sand Culture, Aust. J. Bot. 19, 125-141.
- Mutch, R.W., 1970, Wildland Fires and Ecosystems-A Hypothesis, Ecology 51, 1046-1051.
- Nesterov, V. G., 1949, Combustibility of the Forest and Methods for its Determination, USSR State Industry Press, 1949.
- Newark, M.J., 1975, The Relationship Between Forest Fire Occurrence and 500 Milibar Longwave Ridging. Atmosphere 13, 26-33.
- Noble, I. R., Bary, G. A. V., Gill, A. M., 1980, McArthur's Fire-Danger Meters Expressed as Equations, Aust. J. Ecol. 5, 201-203.
- OGM, 2001, Orman Yangınları ile Mücadele Faaliyetleri Değerlendirme Raporu, T.C. Orman Bakanlığı, Orman Genel Müdürlüğü, Ankara.
- OGM, 2002, Orman Yangınları ile Mücadele, 2002 Yılı Eylem Planı, T.C. Orman Bakanlığı, Orman Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Oladi, D., 1996, Developing a Framework a Methodology for Plantation Assessment Using Remotely-Sensed Data, PhD Thesis. University of New Brunswick, Faculty of Forestry and Environmental Management. Canada. pp 172.
- Olsen, J.M., 1960, Cistus, Fuel Moisture and Flammability, U.S. For. Serv. Res. Note PSW-159.
- Olson, D.S., Fahnestock, G.R., 1955, Logging Slash: A Study of the Problem in Inland Empire Forest, Univ., Idaho, Forest, Wildlife and Range Expt., Sta., USA.
- Öymen, T., 1989, Yangın Davranış Tehlike Sinyalleri ve İnterpretasyonları, Orman Yangınlarıyla Savaş Semineri, OGM, Orman Koruma ve Yangınla Mücadele Dairesi Başkanlığı, Yayın No: 28, Seri No: 671, 31-35, Ankara.
- Pech, G., 1989, A Model to Predict the Moisture Content of Reindeer Lichen, Forest Science 35, 1014-1028.
- Pook, E.W., 1993, Empirical Models Evaluated for Prediction of Fine Fuel Moisture in Australian Pinus radiata Plantations, New Zealand Journal of Forestry Science 23, 3, 278-297.

- Quintilio, D., Fahnestock, G. R., Dube, D. E., 1977, Fire Behavior in Upland Jack Pine: The Darwin Lake Project, Can. For. Serv. Inf. Rep. NOR-X-174.
- Robertson, F.C., 1971, Terminology of Forest Science, Technology, Practice and Product, 349 pp., D.C., Washington.
- Romme, W.H., Knight, D.H., 1981, Fire Frequency and Subalpine Forest Succession Along a Topographic Gradient in Wyoming, Ecology 62, 319-326.
- Rothermel, R. C. 1972. A Mathematical Model for Predicting Fire Spread in Wildland Fuels. U.S. For. Ser. Res. Paper INT-115, 40 pp.
- Rothermel, R.C., 1983, How to Predict the Spread and Intensity of Forest and Range Fires, USDA Forest Service, General Technical Report INT-143, Intermountain Forest and Range Experiment Station, Ogden, UT 84401.
- Ryan, W.C., 1977, A Mathematical Model for Diagnosis and Prediction of Surface Winds in Mountainous Terrain, J. Appl. Met. 16, 571-584.
- Sağlam, B., Aslan, Z., 1997, Prediction of Forest Fires, XI. World Forestry Congress, Antalya, Türkiye.
- Sağlam, B., Bilgili, E., 2002, Maki Tipi Yanıcı Maddelerde Yanıcı Madde Miktarının Belirlenmesi, Gazi Üniversitesi, Kastamonu Eğitim Dergisi, 10, 1, 181-186, ISSN 1300-8811, Kastamonu.
- Sando, R. W., Haines, D. A., 1972, Fire Weather and Behavior at the Little Sioux Fire, USDA For. Serv. Res. Pap. NC-76.
- Schroeder, M.J, Glovinsky, M., Hendricks, V.H., 1964, Synoptic Weather Types Associated with Critical Fire Weather, U.S. Forrest Service Pasific Southwest Forest and Range Experiment Station, Berkeley, California, USA.
- Schroeder, M.J., Buck, C.C., 1970, Fire Weather, A Guide for Application of Meteorological Information to Forest Fire Control Operations, U.S. Dept. of Agriculture, For. Ser., Agriculture Handbook 360.
- Selmi, E., 1988, Yangın Tehlike Oranının Ana Problemleri, Türkiye Ormanlarını Yangından Koruma Semineri, OGM, Orman Koruma ve Yangınla Mücadele Dairesi Başkanlığı, Yayın No: 29, Seri No: 672, 150-152, Ankara.
- Simard, A. J., Haines, D. A., Blank, R. W., Frost, J. S., 1983, The Mack Lake Fire, USDA For. Serv. Gen.Tech. Rep.NC-83.
- Sneeuwjagt, R.J., Peet, G.B., 1985, Forest Fire Behavior Tables for Western Australia, Western Australia Department of Conservation and Land Management, Perth, Western Australia.
- Stiell, W.M., 1965, Twenty-Year Growth of Red Pine Planted at Three Spacings, Department of Forestry Publication No, 1045, Canada.

- Stiell, W.M., 1966, Red Pine Crown Development in Relation to Spacing Department of Forestry Publication No, 1145. Canada.
- Stiell, W.M., Berry, A.B., 1977, A-20 Year Trial of Red Pine Planted at Seven Spacings, Canada For. Manage Ins., Inf. Rep., FMR-X-97, Canada.
- Stocks, B.J., 1974, Wildfires and the Fire Weather Index System in Ontario, Can. For. Serv., Great Lakes For. Res. Cent., Sault Ste. Marie, Ont. Inf. Rep. O-X-213.17p.
- Stocks, B. J., 1975, The 1974 Wildfire Situation in Northwestern Ontario, Can. For. Serv. Inf. Rep. O-X-232.
- Stocks, B. J., 1985, Forest Fire Behavior in Spruce Budworm-Killed Balsam Fir, In Recent Advances In Spruce Budworms Researchs, Proceedings of CANUSA Spruce Budworms Research Symposium, 16-20 September 1984, Bangor, ME. Edited by C. J. Sanders, R. W. Stark, E. J. Mullins, and J. Murphy. Canadian Forestry Service Ottawa, Ont. Pp. 188-199.
- Stocks, B.J., 1989, Fire Behavior in Mature Jack Pine, Can. J. For. Res., 19: 783-790. Canada.
- Stocks, B. J., Flannigan, M.D., 1987, Analysis of the Behavior and Associated Weather for a 1986 Northeastern Ontario Wildfire: Red Lake No. 7, In Proceeding of 9th Conference on Fire and Forest Meteorology, San Diego, CA, 21-24 April, American Meteorological Society, Boston MA.
- Stocks, B. J., Walker, J. D., 1972, Fire Behavior and Fuel Consumption in Jack Pine Slash in Ontario, Can. For. Serv. Inf. Rep. O-X-169.
- Stocks, B. J., Walker, J. D., 1973, Climatic Conditions Before and During Four Significant Forest Fire Situations in Ontario, Can. For. Serv. Inf. Rep. O-X-18.
- Storey, T.G., Fons, F.L., Sauer, F.M., 1955, Crown Characteristics of Several Coniferus Tree Species, Interim Tech. Rep. AFSVP-416.
- Street, R. B., Stocks, B. J., 1983, Synoptic-scale Fire Weather in Northwestern Ontario, In. Proceedings of the 7th Conference on Fire and Forest Meteorology, 25-28 April 1983, Fort Collins, CO. American Meteorological Society, Boston, MA.
- Street, R.B., 1985, Drought and Synoptic Fire Climatology of the Boreal Forest Region of the Canadian Prairie Provinces, In Proceedings of the Eighth National Conference on Fire and Forest Meteorology, Detroit, Michigan, American Meteorological Society, Boston, Massachusetts, USA.
- Swetnam, T.W., 1993, Fire History and Climate in Giant Sequoia groves, Science 262, 885-889.
- Swetnam, T.W., Betancourt, J.L., 1990, Fire-Southern Oscillation Relations in the Southwestern United States, Science 249, 1017-1020.

- Trabaud, L., 1976, Inflammabilité et Combustibilité des Principales Espèces de la Garrigue. Oecol. Plant. 11, 117-136.
- Turner, J.A., 1973, A Fire Load Index For British Columbia, Environ. Can., Can. For. Serv., Pac. For. Res. Cent., Victoria, B.C. Inf. Rep. BC-X-80. 15p.
- Turner, J.A., Lawson, B.D., 1978, weather in the Canadian Forest Fire Danger Rating System: A User Guide to National Standards and Practices, Environ. Can., Can. For. Serv., Pac. For. Res. Cent., Victoria, British Columbia, Inf. Rep. BC-X-177.
- USDA, 1964, Handbook on National Fire-Danger Rating System, USDA For. Serv. Handb. FSH 5109.11, Washington, D.C.
- Van Nest, T.A., Alexander, M.E., 1999, Systems for Rating Fire Danger and Predicting Fire Behavior Used in Canada, U.S. National Interagency Fire Behavior Workshop, Phoenix, Arizona.
- Van Wagner, C. E., 1968a, Fire Behavior Mechanisms in A Red Pine Plantation, Can. Dep. For. Rural Dev. For. Br. Ottawa , Ont., Publ. No. 1229.
- Van Wagner, C. E., 1974, Structure of The Canadian Forest Fire Weather Index, Can. Dep.Environment., Can. For. Serv. Pub. 1333, 44 pp
- Van Wagner, C. E., 1975, A Comparison of the Canadian and American Forest Fire Danger Rating Systems, Can. For. Serv., Petawawa For. Exp. Sta. Info. Report PS-X-59, 19 pp.
- Van Wagner, C. E. 1987, Development and Structure of the Canadian Forest Fire Weather Index. Can. For. Serv., Ottawa, Ontario, Forestry Technical Report 35, 37 pp.
- Van Wilgen, B.W., Higgins, K.B., Bellstedt D.U., 1990, The Role of Vegetation Structure and Fuel Chemistry in Excluding Fire from Forest Patches in the Fire-Prone Fynbos Shrublands of South Africa, Journal of Ecology, 78, 210-222.
- Van Wilgen, B.W., Le Maitre D.C., Kruger F.J., 1985, Fire Behavior in South African Fynbos (Macchia) Vegetation and Predictions From Rothermel's Fire Model, Journal of Applied Ecology 22, 207-216.
- Van Wilgen, B.W., Richardson D.M., 1985, The Effects of Alien Shrub Invasions on Vegetation Structure and Fire Behavior in South African Fynbos Shrublands: A Simulation Study, Journal of Applied Ecology 22, 955-966.
- Wade, D. D., Ward, D. E., 1973, An Analysis of the Air Force Bomb Range Fire, USDA For. Serv. Res. Pap. SE-105.
- Walker, J. D., Stocks, B. J., 1972, Analysis Of Two 1971 Wildfires in Ontario:Thackeray and Whistle Lake. Can. For. Serv. Inf. Rep. O-X-229.
- Williams, D.E., 1963, Forest Fire Danger Manual. Dept. of Forestry, Canada.

- Wilson, R., 1985, Observation of Extinction and Marginal Burning States in Free Burning Porous Fuel Beds, Combust. Sci. Technol. 44, 179-193.
- Yeşil, A., 1992, Değişik Sıklık ve Bonitetdeki Kızılçam Meşcerelerinin Yaşa Göre Gelişimi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul.
- Yomralıoğlu, T., Acar, H.H., Bilgili, E, Gümüş, S., 2002, Coğrafi Bilgi Sistemleri İle Orman Yangın Emniyet Yol ve Şeritlerinin Planlanması, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Araştırma Fonu Projesi, Proje Kod No: 99.112.006.1, Trabzon.



ÖZGEÇMİŞ

23 Ekim 1970 yılında Trabzon'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Trabzon'da tamamladıktan sonra 1988 yılında KTÜ Orman Fakültesi Orman Mühendisliği Bölümünü kazandı. Aynı fakülteden 1992 yılında "Orman Mühendisi" olarak mezun oldu.

Aynı yıl KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans öğrenimine hak kazandı. Burada öğrenimine devam ederken, 1994 yılında Kafkas Üniversitesi Artvin Orman Fakültesinde Orman Entomolojisi ve Koruma Anabilim Dalında Araştırma Görevlisi olarak göreve başladı. "Artvin İlinde Orman Koruma Halk İlişkilerinin Araştırılması" adlı yüksek lisans teziyle 1995 yılında KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Mühendisliği Anabilim Dalından "Orman Yüksek Mühendisi" olarak mezun oldu. Şubat 1996'da KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Mühendisliği Anabilim Dalında Doktora Programına başladı. Yüksek Öğretim kanununun 35. maddesi uyarınca 3 Mayıs 1999 tarihinde, doktora öğrenimi süresince kadrosu KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğüne aktarıldı. Halen aynı yerde çalışmakta olan Bülent SAĞLAM evli ve iki çocuk babasıdır.