



TÜBİTAK

**TÜRKİYE BİLİMSEL VE
TEKNOLOJİK ARAŞTIRMA
KURUMU**

**THE SCIENTIFIC AND
TECHNOLOGICAL
RESEARCH COUNCIL OF TURKEY**

**FARKLI EĞİM GRUBU VE NEM KOŞULLARINDA
MAKİ TİPİ YANICI MADDELERDE YANGIN
DAVRANIŞININ BELİRLENMESİ VE COĞRAFİ
BİLGİ SİSTEMLERİ KULLANILARAK
HARİTALANMASI**

PROJE NO: 105O523

**Tarım, Ormancılık ve Veterinerlik
Araştırma Grubu**

**FARKLI EĞİM GRUBU VE NEM KOŞULLARINDA MAKİ
TİPİ YANICI MADDELERDE YANGIN DAVRANIŞININ
BELİRLENMESİ VE COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ
KULLANILARAK HARİTALANMASI**

PROJE NO: 1050523

YRD. DOÇ. DR. BÜLENT SAĞLAM

**ERTUĞRUL BİLGİLİ
ÖMER KÜÇÜK
BAHAR DİNÇ DURMAZ
HACI AHMET YOLASIĞMAZ
TURAN SÖNMEZ
EROL AKKUZU
İSMAİL BAYSAL
TUNCAY IŞIK**

**AĞUSTOS 2008
ARTVİN**

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ.....	IV
ÖZET.....	V
ABSTRACT	VI
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	VII
TABLolar LİSTESİ.....	VII
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER.....	6
2.1. Orman Yangınları Tehlike Oranları Sisteminin Yapısı.....	6
2.1.1. Meteorolojik Yangın İndeksi (MYİ) Sistemi	6
2.1.2. Yangın Davranışını Tahmin Sistemi	10
2.1.3. Yangın Davranışında Etkili Olan Faktörler	11
2.2. Yangın Tehlike Oranları Sisteminin Uygulamaları	12
2.2.1. Yangın Tehlike Oranları Sisteminden Yararlanılan Alanlar.....	13
2.2.2. Yangın Tehlike Oranları Sistemi Uygulamalarında Coğrafi Bilgi Sistemlerinin (CBS) Kullanılması	15
3. GEREÇ VE YÖNTEM	18
3.1. Yangın Öncesi Ölçümler	19
3.1.1. Yanıcı madde örneklemesi	19
3.1.2. Hava Halleri	22
3.1.3. Yangın Öncesi Yanıcı Madde Nem İçeriklerinin Belirlenmesi	22
3.2. Yangın Anında Yapılan Ölçümler.....	23
3.3. Yangın Sonrası Ölçümler	23
4. BULGULAR	24
4.1. Yangın davranışının belirlenmesine ait bulgular	24
4.2. Maki Tipi Yanıcı Maddelerde Yangın Davranışının Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) Yardımıyla Konumsal Analizi: Korudağ Örneği	35
4.2.1. Gereç ve Yöntem.....	36
4.2.2. Bulgular	40
4.2.3. Konumsal Analiz.....	43
5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR	46
6. REFERANSLAR.....	50

ÖNSÖZ

“Farklı Eğim Grubu Ve Nem Koşullarında Maki Tipi Yanıcı Maddelerde Yangın Davranışının Belirlenmesi ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanılarak Haritalanması” isimli bu proje TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir. Projenin hazırlanmasında emeği geçen proje çalışanlarına ve deneme yangınlarının yapıldığı alan ile ilgili her türlü kolaylığı gösterip teknik destek ve yardımlarını esirgemeyen Orman Genel Müdürlüğü ve Orman Koruma ve Yangınla Mücadele Dairesi Başkanlığına, Çanakkale Orman Bölge Müdürlüğü ve Keşan Orman İşletme Müdürlüğüne teşekkürü bir borç bilirim.

Projenin başta orman yangınlarıyla mücadelede görevli meslektaşlarımıza olmak üzere orman yangınlarıyla ilgilenen herkese ve diğer araştırmacılara faydalı olmasını dilerim.

Artvin, 2008

Bülent SAĞLAM

ÖZET

Yangına hassas ekosistemlerde, yangın davranışını tahmin etmek, yangın öncesi, yangın sonrası ve yangınla mücadele çalışmalarını içeren yangın amenajman planlamaları açısından hayati önem taşımaktadır. Bu çalışma, Türkiye'nin Ege Bölgesinde gerçekleştirilen deneme yangınlarını içermektedir. Bu çalışma kapsamında, Edirne, Keşan bölgesi makilik alanlarda 56 adet deneme yangını gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında, makilik alanlarda hem yanıcı madde miktarı, hem de yangın davranışı tahmini yapılmıştır.

Yanıcı madde miktarı tahmini için farklı regresyon eşitlikleri geliştirilmiştir. Regresyon eşitlikleri, demene alanlarından alınan 2X2 m ebadındaki 14 adet örnekten elde edilmiştir. Her bir örnek alan içindeki ortalama vejetasyon kapallılığı ve boyu belirlenmiştir. Her bir örnek alan içindeki tüm yanıcı maddeler kök boğazından kesilmiş ve yangın davranış çalışmalarında kullanıldığı şekliyle boyutlarına göre ayrılmıştır. Sonuç olarak, elde edilen regresyon eşitlikleri ile maki tipi yanıcı madde miktarı doğru bir şekilde tahmin edilebilmiştir. Bu eşitlikler deneme yangını parsellerindeki yanıcı madde miktarını tahmin etmek için kullanılmıştır.

Yangın davranışını tahmin edebilmek için, deneme parselleri, homojen yapıdaki alanlardan seçilmiştir. Deneme yangınlarının gerçekleştirildiği hava koşullarında, rüzgar hızı 5.30 ile 23.10. km s^{-1} , bağıl nem 30 ile 65%, hava sıcaklığı 25.4 °C ile 33.5 °C, arasında değişirken, yangın davranış parametrelerinden, yayılma oranı, 1.09 ile 17.91 m dk^{-1} , yanıcı madde tüketimi, 0.90 ile 3.29 kg m^{-2} , yangın şiddeti, 265.61 ile 16169.20 kW m^{-1} arasında değişmiştir. Yayılma oranı, rüzgar hızı, bağıl nem, eğim, sıcaklık ve vejetasyon boyu ile ilişkili olduğu belirlenmiştir. Yanıcı madde tüketimi, yanıcı madde miktarı ve rüzgar hızı, eğim, ölü yanıcı madde nemi ve bağıl nem ile, yangın şiddeti ise rüzgar hızı, ölü yanıcı madde nemi, ve bağıl nem ile ilişki yakından ilişkili olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Orman yangını, yanıcı madde, yangın davranışı, eğim, maki, Türkiye.

ABSTRACT

The prediction of fire behavior in fire prone ecosystems is of vital importance in all phases of fire management including fire prevention, presuppression, suppression and fire use. This paper deals with an experimental burning exercise conducted in the Ege region in Turkey. A series of 56 experimental fires were carried out in maquis fuels in Keşan District, Edirne, southwestern Turkey. The study involved both estimating fuel biomass and predicting fire behavior in the study area.

Different regression equations were developed to estimate fuel biomass. Relationships were based on the data obtained from 14, 2×2 m sample plots. Measurements involved mean vegetation height and vegetation cover within each plot. All fuels within each plot were cut from the ground level and divided into predetermined size classes that are considered important in fire studies. Results indicated that shrubs fuel biomass could be accurately predicted using the regression equations obtained. These equations were used to predict fuel biomass categories of experimental burning plots.

As for the prediction of fire behavior, the site was selected for its structural homogeneity. Wind speed ranged from 5.30 to 23.10. km h⁻¹, relative humidity from 30 to 65% and air temperature from 25.4 °C to 33.5 °C. of the fire behavior characteristics, rate of spread ranged from 1.09 to 17.91 m min⁻¹, fuel consumption from 0.90 to 3.29 kg m⁻², and fire intensity from 265.61 to 16169.20 kW m⁻¹. Rate of spread was related to wind speed, relative humidity, moisture content of dead fuels, slope, air temperature and vegetation height. Fuel consumption was related to fuel loading, wind speed, slope, moisture content of dead fuels and relative humidity. Fire intensity was related to wind speed, moisture contents of dead fuels and relative humidity.

Keywords: Forest fire, fuels, fire behavior, slope, maquis, Turkey.

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 1. Orman Yangınları Tehlike Oranları Sisteminin yapısı ve bileşenleri.....	6
Şekil 2. Meteorolojik Yangın İndeksi Sisteminin yapısı ve bileşenleri (Bilgili vd., 2002)	7
Şekil 3. MYİ Sistemi elemanlarından BYİ ve HNK'na bağlı olarak oluşturulmuş yangın şiddeti sınıfları	9
Şekil 4. Orman yangınlarının en fazla meydana geldiği Nisan-Ekim aylarını içeren ve araştırma alanına ait aylık ortalama sıcaklık, yağış ve nem değerleri.....	18
Şekil 5.. Yayılma oranı ile (a) rüzgar, (b) ölü yanıcı madde nem içeriği, (c) bağıl nem ve (d) yanıcı madde ortalama boyu arasındaki ilişki.....	30
Şekil 6. Yayılma oranının gözlenen değerlerinin (logaritmik) ile model 1e'ye göre tahmin edilen değerleri arasındaki ilişki	31
Şekil 7. Yanıcı madde tüketimi ile (a) toplam yanıcı madde miktarı, (b) rüzgar, (c) bağıl nem ve (d) ölü yanıcı madde nem içeriği arasındaki ilişki	32
Şekil 8. Yanıcı madde tüketiminin ölçülen değerleriyle model 2d'ye göre tahmin edilen değerleri arasındaki ilişki	33
Şekil 9. Yangın şiddeti ile (a) rüzgar hızı, (b) ölü yanıcı madde nem içeriği, (c) bağıl nem ve (d) toplam yanıcı madde miktarı arasındaki ilişki	34
Şekil 10. Yangın şiddetinin (logaritmik) hesaplanan değerleriyle model 3f'ye göre tahmin edilen değerleri arasındaki ilişki	35
Şekil 11 . Uygulama alanının meşcere tipleri haritası.....	38
Şekil 12 . Uygulama alanının sayısal arazi modeli	39
Şekil 13. Yayılma oranı değerlerinin (30 m/dk rüzgar hızında) alandaki dağılımı.....	40
Şekil 14. Düşük yanıcı madde tüketiminin alandaki dağılımı	42
Şekil 15. Düşük yangın şiddeti sınıfının alandaki dağılımı	42
Şekil 16. Konumsal objelerin ölçeklendirilerek sınıflandırılması	44

TABLÖLER LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 1. Yangın şiddeti sınıflarına göre belirlenmiş yangın tipi ve yangınlarla mücadele zorluğu durumları.....	10
Tablo 2. . Örnek parsellerinin yanıcı madde özellikleri.....	21
Tablo 3. Yanıcı madde miktarları ile yanıcı madde özellikleri arasındaki korelasyon matrisi	21
Tablo 4. Yanıcı madde özelliklerine bağlı olarak yanıcı madde miktarlarını tahmin etmek üzere geliştirilen modeller.....	22
Tablo 5. Deneme yangınlarına ait yanıcı madde özellikleri.....	24
Tablo 6. Deneme yangınlarına ait hava halleri ve yangın davranış verileri.....	25
Tablo 7. Yangın davranış karakteristikleri ile yanıcı madde özellikleri ve hava halleri arasındaki korelasyon matrisi.....	27
Tablo 8. Regresyon analizleri sonucunda geliştirilen yangın davranışıyla ilgili modeller	28
Tablo 9. Çalışmada kullanılan konumsal analiz ölçütleri	43
Tablo 10 . Maki Tipi yanıcı maddelerde yangın yayılma oranının konumsal analizi (Şekil 14'ün analiz sonuçları)	44

Tablo 1. Yangın şiddeti sınıflarına göre belirlenmiş yangın tipi ve yangınlarla mücadele zorluğu durumları.....	10
Tablo 2. . Örnek parsellerinin yanıcı madde özellikleri	21
Tablo 3. Yanıcı madde miktarları ile yanıcı madde özellikleri arasındaki korelasyon matrisi	21

1. GİRİŞ

Orman yangınlarıyla mücadele çalışmalarında istenilen başarının elde edilebilmesi için, yangın istatistikleriyle birlikte hava halleri, yanıcı madde ve topografik yapıya bağlı olarak yangın davranışının tahmin edilmesi ve planlamaların da ona göre yapılması gereklidir. Bu aşamada karar vericiler, yapacakları planlamalara katkı sağlayacak her türlü kaynak, bilgi ve programdan faydalanmak durumundadırlar. Geleceğe dönük yangın potansiyelini belirlemek için geliştirilen Yangın Tehlike Oranları (YTO) Sistemi, yangın davranışı hakkında ihtiyaç duyulan bilgileri sağlayarak, yangın organizasyonuna karar verme aşamasında önemli oranda katkı yapmaktadır.

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. Yangın davranışı; yayılma oranı, yanıcı madde tüketimi ve yangın şiddeti ile ifade edilmektedir (Sağlam, 2002).

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 kullanılamaması nedeniyle büyük sıkıntılar yaşanmaktadır. Yangın davranışının doğru bir şekilde tahmin edilmesi, kaynakların kullanımı ve mücadele şekillerinin belirlenmesi aşamasında karar vericilerin doğru kararlar almalarına yardımcı olacaktır.

Yangın davranışının tahmini yanıcı madde tiplerine göre geliştirilmiş yangın davranış modelleri vasıtasıyla yapılır. Bu modellerin kullanılabilmesi için hava halleriyle birlikte topografya ve yanıcı madde özelliklerinin de bilinmesi gerekmektedir. Sonuç olarak yangın

davranış modelleriyle, 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 (Sağlam, 2002).

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 (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 önemli yanıcı madde tiplerinde deneme yangınları yaparak daha önce oluşturulan yangın veri tabanına ilaveler yapmışlardır (Van Wagner, 1968; Lawson, 1973; Quintilio vd., 1977; Stocks, Walker, 1972; Stocks, 1985; McRae, 1985). Çalışmalar sonucunda, çıkacak bir yangında, yangın yayılma oranı, yanıcı madde tüketimi ve yangın şiddetinin tahmin edilebileceği, yanıcı madde tipine özel yangın davranış modelleri geliştirilmiş ve uygulamada kullanılmaya başlanmıştır. Amerikan sistemi için de değişik yanıcı madde modelleri oluşturulmuş (USDA, 1964; Deeming vd., 1972; Deeming vd., 1978), yangınların kontrol edilmesi ve yangının potansiyel zararlarının hesaplanması için yangın davranışının tahmin edilmesi görüşü ön plana çıkmıştır. Bunun için hava halleri ve yanıcı madde farklılıklarının yangın davranışı üzerindeki etkilerinin ölçüldüğü laboratuvar deneyleri yapılmıştır (Rothermel, 1972; Albini, 1976; Burgan, 1979; Rothermel, 1983; Anderson, 1982). Yangın davranışını tahmin sistemi (BEHAVE) (Andrews, 1986) veya yangın büyüme simülasyonu (Finney, 1994) gibi 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 McArthur, 800 test yangınında ölçülen yangın davranış verilerine dayanan bir sayaç oluşturmuştur (McArthur, 1966; McArthur, 1977). Böylece, Kanada sisteminde olduğu gibi, tam manasıyla arazi ölçümlerine dayanan deneysel kökenli bir sistem oluşmuştur.

Ülkemizde ise, bu güne kadar YTO sisteminin geliştirilmesi ve yangın davranışının tahmin edilmesinin önemi ve gerekliliği hakkında çeşitli değerlendirmeler (Baş, 1965; Mol, 1988; Selmi, 1988; Çanakçıoğlu, 1988; Mol, 1989; Mol vd., 1989; Mol, Selmi, 1989; Öymen, 1989) yapılmakla birlikte bu sistemlerin oluşturulmasına yönelik çalışma yok denecek kadar azdır. Ayrıca, orman yangınlarıyla ilgili olarak çeşitli amaçlar için kontrollü yakma çalışmaları yapılmıştır. Bunlardan özellikle yanıcı madde miktarının azaltılmasına yönelik olarak Neyişçi ve arkadaşları (2002) tarafından farklı yanıcı madde miktarına sahip 15 deneme alanında yapılan çalışmada deneme alanlarındaki yanıcı madde miktarlarında ortalama %78 oranında azalma sağlanmıştır. Kontrollü yakma çalışmaları ülkemizde ilk kez Özdemir (1977) tarafından bir doktora çalışması kapsamında ele alınmış, daha sonra bir başka doktora çalışmasında ise Neyişçi (1986) kontrollü yakma çalışmalarının toprağın kimyasal özellikleri ve fidan büyümesi üzerine olan etkilerini incelemiş ve Şengönül (1984) “Marmara bölgesi Armutlu yarımadası koşullarında güç ıslanan toprakların oluşumu üzerinde etkili olan faktörler” adlı çalışmasında kontrollü yakmayı bir deneme aracı olarak kullanmıştır. 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 ve Sağlam 1995; Sağlam ve Aslan, 1997) yapılmış ve yangın davranışının tahmin edilmesinin gerekliliği vurgulanmıştır. Bunların yanında, ülkemizde YTO sisteminin uygulanabilme imkanları, yangınla mücadele çalışmalarına yapacağı katkılar ve YTO sisteminin oluşturulmasıyla yangının bir amenajman aracı olarak nasıl kullanılabileceği çeşitli çalışmalarda irdelenmiştir (Bilgili, 1995; Bilgili, 1996; Bilgili, 1999a; Bilgili, 1999b; Bilgili vd, 2001; Bilgili ve Sağlam, 2002).

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 kullanılabilecek yeterli sayıda araştırma da yapılmamıştır. Bu güne kadar yapılan çalışmaların büyük kısmı daha çok yangının etkileri ve yangın tehlikesinin düşürülmesine yönelik çalışmalar olup, yangın davranışının belirlenmesi ve YTO sisteminin geliştirilmesinde tam olarak kullanılamamaktadırlar. Yangın davranışının belirlenebilmesi için değişik hava halleri, yanıcı madde ve topografya şartlarında meydana gelen yangınlar için yayılma oranı, yanıcı madde tüketimi ve yangın şiddetinin tespiti gerekmektedir. Bunun gerçekleştirilebilmesi için de yangına duyarlı bütün ülkelerde olduğu gibi ülkemizde de kontrolsüz yangınlarda ve özellikle deneme yangınları yapılarak yangın davranış parametreleri belirlenmelidir.

Ülkemizde YTO sisteminin geliştirilmesine yönelik olarak ilk çalışmalara 1996 yılında başlanmıştır. Maki tipi yanıcı maddelerde yanıcı madde modeli ve yangın davranışının belirlendiği bu çalışma 2002 yılında sonuçlandırılmış ve YTO sisteminin ilk adımını oluşturmuştur (Sağlam, 2002; Bilgili ve Sağlam, 2003). Daha sonra devam eden çalışmalardan bir diğeri 2004 yılında sonuçlanmış ve genç karaçam meşcerelerinde yanıcı madde modelleri ve yangın davranışı ortaya konulmuştur (Küçük, 2004). Karaçam meşcerelerinde hat ve nokta yangınının gelişimin irdelendiği bir başka çalışma da yine Küçük ve ark. (2007) tarafından gerçekleştirilmiştir. Bunların yanında genç kızılçam meşcereleri ve farklı özelliklerdeki (yüksek boylu) maki tipi yanıcı maddelerde yangın davranışının belirlenmesine yönelik olarak yapılan ve rapor aşamasında olan bir kaç tane çalışma bulunmaktadır.

Burada sunulan çalışma ise, bütün bunlardan farklı olarak eğimin yangınlar üzerindeki etkisini ortaya koyması açısından önemlidir. Bu güne kadar ülkemizde olmadığı gibi, uluslararası alanda da arazi şartlarında deneme yangınları yapılarak eğimin yangın davranışı üzerine olan etkileri pek fazla çalışılmamıştır. Yangın davranışının belirlenmesinde eğimin etkisini ortadan kaldırmak için çalışmalar ya düz alanlarda yapılmış veya eğimli alanlardaki yangın davranışının sağlıklı bir şekilde ortaya konulamaması problemine çözüm oluşturabilmek için laboratuvar şartlarında deneysel olarak eğimin etkisi belirlenmeye çalışılmıştır (Lindenmuth ve Davis, 1973; Green, 1981; McCaw, 1997; Weise ve Biging, 1997; Fernandes, 2001; Marsden-Smedley, 2001; Baeza vd., 2002; Bilgili ve Sağlam, 2003; Morvan ve Dupuy, 2004; Viegas, 2004; De Luis vd., 2004; Engstrom vd., 2004; Gambiza vd., 2005; Weise vd., 2005; Santoni vd., 2006; Zhou vd., 2007; Savodogo vd., 2007).

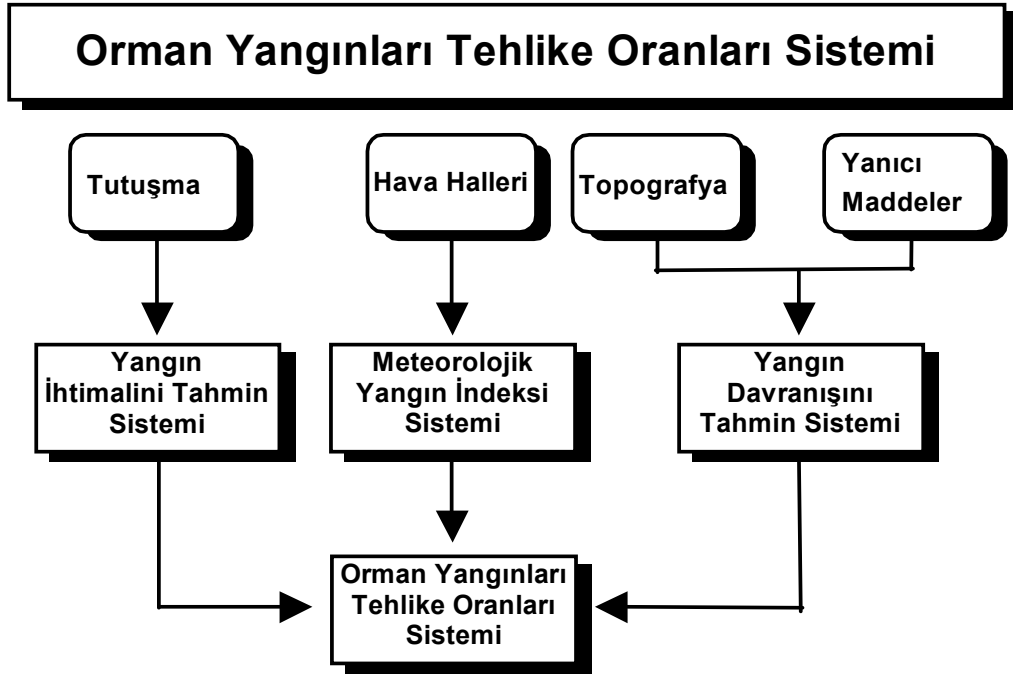
Ancak eğimin yangın davranışı üzerine etkisinin belirlenmesi için arazi şartlarının laboratuvar ortamında temsil edilmeye çalışıldığı bu çalışmalardaki sonuçlar arazi şartlarındaki gerçek durumu tam anlamıyla yansıtmamaktadır. Doğruluğu daha yüksek sonuçlar, ancak arazi şartlarında eğimin yangın davranışı üzerine olan etkisinin belirlenmesiyle elde edilebilir. Yangın davranış modellerinin geliştirildiği yanıcı madde tiplerinde, eğimin yangın davranışı üzerine olan etkisinin arazi şartlarında belirlenmesiyle, hem laboratuvar çalışmalarından elde edilen sonuçların arazi şartlarına uygunluğu belirli bir oranda test edilebilecek hem de yangın davranış modellerinin eğimli alanlarda da sağlıklı bir şekilde kullanılabilmesine yardımcı olunacaktır. Bu ihtiyaç nedeniyle son birkaç yıldır uluslararası alanda eğimin yangın davranışı üzerine etkileri arazi şartlarında çalışılmaya başlanmıştır.

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 kullanılabilecek yeterli sayıda kapsamlı araştırma da bulunmamaktadır. Yapılan bu çalışmayla öncelikle homojen yapıdaki maki tipi yanıcı maddelerde yanıcı madde modelleri oluşturulmuş ve bu modellere göre yanıcı madde miktarları tahmin edilen parseller deneme yangınları yapılmıştır. Böylece farklı eğim grubu ve nem koşullarında maki tipi yanıcı maddelerde yangın davranışı belirlenmiştir. Yangınlar farklı nem koşullarını yakalamak için değişik zamanlarda farklı eğim gruplarında ve değişik nem şartlarında gerçekleştirilmiştir. Burada belirlenen yangın davranış özellikleri Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanılarak sayısal haritalara aktarılmış ve elde edilen verilerle, konumsal veri analizi programı FRAGSTATS™ kullanılarak konumsal analiz yapılmıştır.

2. GENEL BİLGİLER

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.



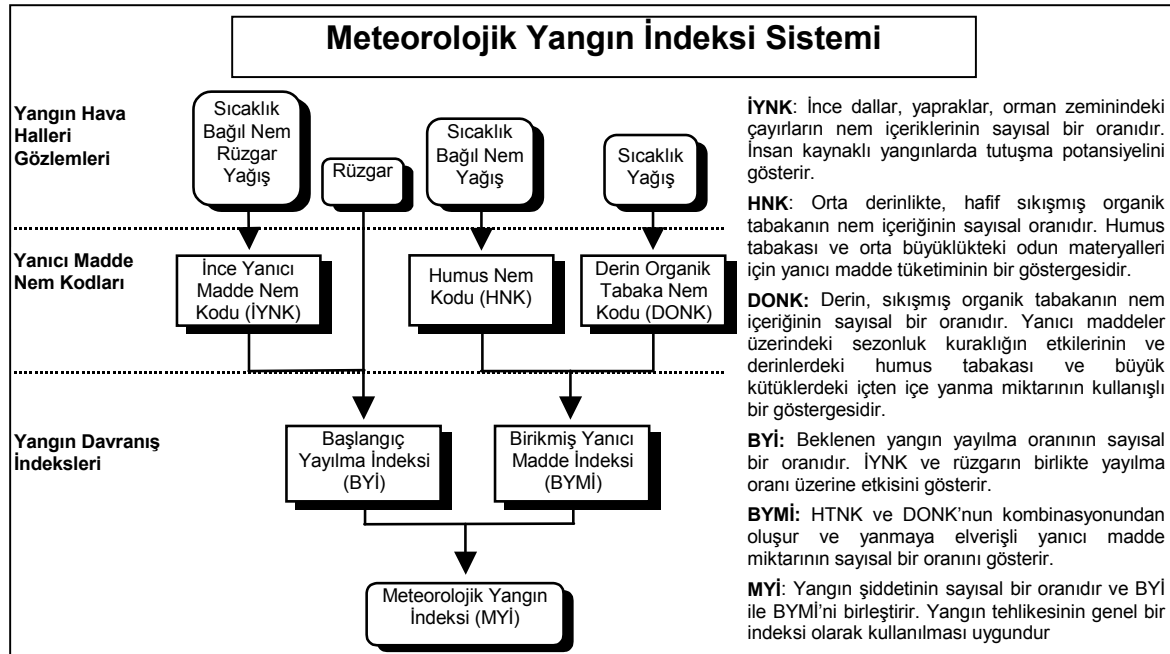
Şekil 1. Orman Yangınları Tehlike Oranları Sisteminin yapısı ve bileşenleri

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 davranış 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., 2002)

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 farklıdır. 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.

2.1.1.1. 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.

2.1.1.1.1. 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.

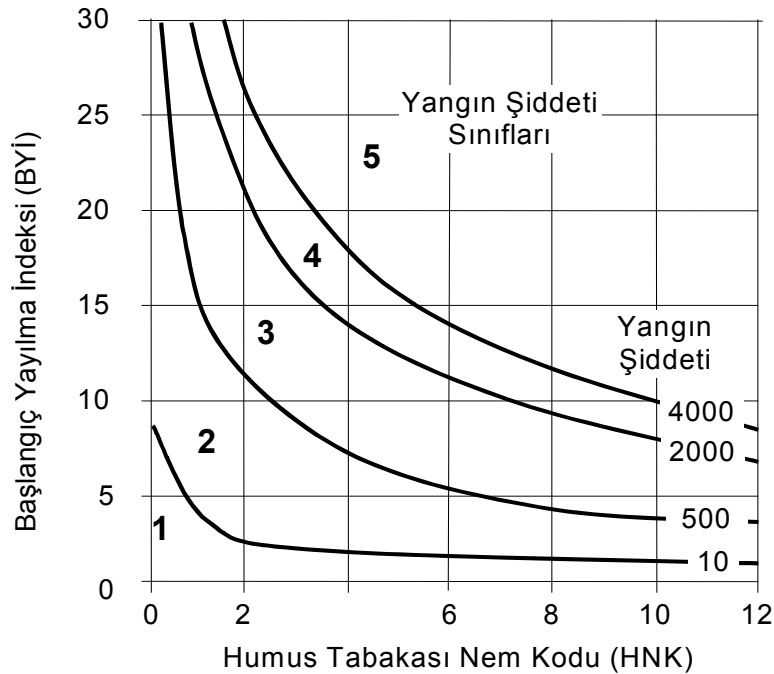
2.1.1.1.2. Birikmiş Yanıcı Madde İndeksi

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.

2.1.1.2. 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, 1999a). 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, 1999b)

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).

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 kriterlerden bazılarıdır.

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 Sitemi dört ana tahminde bulunur. Bunlar; yayılma oranı (m/dk), yanıcı madde tüketimi (kg/m²), 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.

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.

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, Keane et.al. 2001). 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, Andersen et.al. 2005). 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.

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 et.al., 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 and Hardy, 1976; Williams, 1963; Countryman, 1971; Ryan, 1977, Viegas, 2005).

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.

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.

2.2.1. Yangın Tehlike Oranları Sisteminden Yararlanılan Alanlar

Yangın tehlike oranları sistemi bir bölgede gelecek günlerdeki yangın potansiyelinin belirlenmesinin yanında birçok 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 ederek, yöre halkı ile ilgili kişi ve kuruluşların daha dikkatli olması ve gerekli önlemlerin alınmasına olanak sağlar. Diğer yandan, yangın tehlikesinin yüksek olduğu orman alanlarında ormancılık faaliyetlerine de yön verilir. 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 planlaması 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 gözlendiği 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 arz eden 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 davranışı verileri, müdahalede hangi tür araç ve gereçlerin kullanılacağını, yangın müdahale hattının nerede açılacağını 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,

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

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, 1999b). Günümüzde birçok 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, 1995).

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 yanıcı madde tipine ait bilgiler OYBS veri tabanından elde edilirken hava hallerine ait veriler en yakın meteoroloji istasyonlarından alınmaktadır. Çıkan bir yangında yayılma oranı, yanıcı 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.

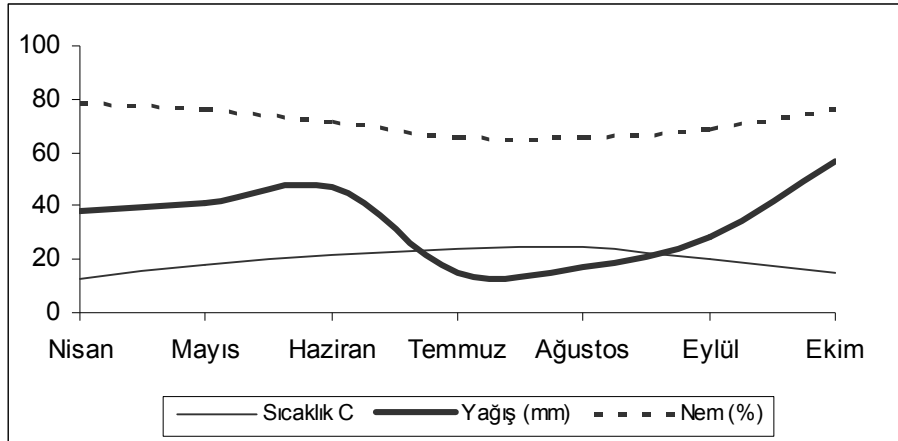
Bunların yanında CBS, orman yangınlarıyla ilgili yangın öncesi planlama, yanıcı madde amenajmanı ve koruma alanlarında da etkili bir şekilde kullanılabilir. Yangın Öncesi Planlar, yangın çıkmadan önce, herhangi bir yere ulaşma zamanı ve alternatif yolların bilinmesi yapılacak analizler için önemlidir. 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. Yanıcı Madde Amenajmanı Planları ise, 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, yanıcı madde özelliklerini, büyüklüğünü, yanma şartlarını, kontrollü yangının önceliğini belirleyerek etkili bir uygulama gerçekleştirirler. Orman koruma çalışmalarında, yangın tehlikesi yüksek alanlar CBS ile çok kısa bir sürede belirlenerek yangın yöneticilerinin gerekli koruma önlemlerini zamanında ve etkili bir şekilde almaları sağlanabilir.

3. GEREÇ VE YÖNTEM

Bu çalışma Çanakkale Orman Bölge Müdürlüğü Keşan Orman İşletme Müdürlüğü Çınarlıdere Orman İşletme Şefliği sınırları içinde bulunan İbrice Limanı mevkiindeki (40° 35' K- 26° 31' D) Makilik alanlarda gerçekleştirilmiştir. Araştırma alanının toprağı kireçtaşı ana kayası üzerinde genel olarak sıg olup balçık ve kumlu balçık toprak türüne sahiptir. Arazi eğimi çok değişken olup düz alanlardan ortalama %27'e kadar eğimli alanlar bulunmaktadır ve denizden ortalama 30m yüksekliktedir. Alan ağırlıklı olarak maki bitki örtüsüne ait *Quercus coccifera* L. ve *Phillyrea latifolia* L. türlerinden oluşmaktadır.

Araştırma alanında, ortalama en yüksek sıcaklık 37,4 °C ile Ağustos ayında, ortalama en düşük sıcaklık -12 °C ile Ocak ayında, en düşük ortalama nem %66 ile Temmuz ve Ağustos aylarında, ortalama en yüksek rüzgar hızı 24,4 km/s ile Nisan ayında, ortalama en düşük yağış 15 mm ile Temmuz ayında, ortalama en yüksek yağış 112 mm ile Aralık ayında gerçekleşmektedir (Şekil 4) (Anonim, 1994).



Şekil 4. Orman yangınlarının en fazla meydana geldiği Nisan-Ekim aylarını içeren ve araştırma alanına ait aylık ortalama sıcaklık, yağış ve nem değerleri

3.1. Yangın Öncesi Ölçümler

Deneme yangınları yapılmadan önce deneme parsellerindeki yanıcı madde miktarlarının tahmin edilebilmesi için yanıcı madde modelleri geliştirilmiştir. Ayrıca deneme yangınlarından önce hava halleri verileri ve yanıcı madde nem içerikleri de belirlenmiştir.

3.1.1. Yanıcı madde örnekleme

Yanıcı madde miktarının belirlenmesi için 15 adet 2x2m boyutlarında örnek parseller alınmıştır. Bu örnek alanlarda ortalama boy ve yanıcı maddelerin toprağı örtme dereceleri (kapalılık) belirlenmiştir. Ortalama boy parselin karşılıklı olarak her iki tarafından, toprak seviyesinden dalların ucuna kadar bir metre aralıklarla yapılan ölçümlerin ortalaması alınarak belirlenmiştir. Yanıcı madde örtme derecesi, Martin ve ark. (1981) tarafından bildirildiğı gibi, her bir parselin karşılıklı kenarlarından yapılan ölçümlerle yanıcı madde örtme uzunluğu ve toplam transect uzunluğu dikkate alınarak belirlenmiştir.

Parsellerdeki yanıcı maddelerin hepsi kök boğazından kesilip uzaklaştırıldıktan sonra budanarak, bunlardan ölü (kuru) ve canlı olanlar sürgün ve dal çapları itibariyle 0.6cm'den küçük, 0.6-1 cm arası, 1.1-2.5cm arası ve 2.5cm'den büyük olmak üzere dört bölüme ayrılmıştır. Bunlara ek olarak toprak üstü yanıcı maddelerinden dökülmüş yapraklar (ölü yanıcı maddeler) da toplanarak analizlere katılmak üzere saklanmıştır. Yanıcı maddelerin hepsi kurutma fırınlarında 105 °C' de 24 saat süreyle kurutulduktan sonra 0.01 g hassasiyetindeki elektronik teraziyle 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 örtme oranı (kapalılık), yanıcı maddelerin ağırlıklı ortalamaları dikkate alınarak belirlenen ortalama boyu (m) ve deneme parsellerinde mevcut odunsu türler belirlenmiştir.

3.1.1.1. İstatistiki analiz

Yanıcı madde miktarının belirlenmesi aşamasında, yanıcı madde özellikleri ile yanıcı madde miktarı arasındaki ilişkileri ortaya koymak için korelasyon ve regresyon analizleri yapılmıştır. Analizlerden önce bütün verilere normalite testi yapılmıştır. Test sonucunda

bütün değişkenler normal dağılım gösterdiğinden herhangi bir işlem yapılmadan analizlerde bu veriler kullanılmıştır.

Yangın davranışının belirlenmesi aşamasında, yangın davranışı ile yanıcı madde özellikleri, hava halleri ve arazi eğimi arasındaki ilişkileri ortaya koymak için korelasyon ve regresyon analizleri yapılmıştır. Analizlerden önce bütün verilere normalite testi yapılmıştır. Test sonucunda yangın şiddeti normal dağılım göstermediğinden logaritmik dönüşüm yapılmış ve bundan sonra analizlerde bu veriler kullanılmıştır.

Analizlerde SPSS istatistik paket programı kullanılmıştır. Sonuçta, SPSS 11.0 (SPSS, 2001) istatistik paket programı kullanılarak %95 güven düzeyinde, yanıcı madde miktarlarının ve yangın davranış özelliklerinin tahmin edilmesinde kullanılabilecek tekli ve çoğul doğrusal ve logaritmik regresyon modelleri geliştirilmiştir.

3.1.1.2. Yanıcı madde örneklemesine ait bulgular

Yanıcı madde örneklemesine ait veriler Tablo 1’de verilmiştir. Yanıcı madde kapalılığı 0.60 ile 0.98 arasında, yanıcı madde ortalama boyu 0.40 ile 2.30 m arasında, toplam canlı yanıcı madde miktarı 1.60 ile 6.74 kg m⁻² arasında, toplam ölü yanıcı madde miktarı 0 ile 0.98 kg m⁻² ve toplam yanıcı madde miktarı da 1.78 ile 7.72 kg m⁻² arasında değişmektedir. Orman yangınları açısından çok önemli olan aktif yanmaya katılan tüketilebilir (iet) yanıcı madde miktarı (0.6 cm den küçük çaptaki sürgünler ve yapraklar) 0.94 ile 3.03 kg m⁻² arasında, yanıcı madde tüketiminde yer alan orta yanıcı madde miktarı (tcoo) 0.14 ile 0.58 kg m⁻² arasında değişmektedir. Bu verilere göre örnekleme parsellerindeki toplam yanıcı madde miktarlarının ortalama olarak %93’ü canlı yanıcı maddelerden oluşurken, ölü yanıcı madde miktarı ancak %7 kadardır.

Yanıcı madde miktarları ile yanıcı özellikleri arasındaki ilişkileri belirlemek için korelasyon ve regresyon analizleri yapılmıştır. Analizler sonucunda ortaya çıkan korelasyon matrisi Tablo 2’de ve anlamlı ilişkilerin çıktığı regresyon modelleri ise Tablo 3’de verilmiştir. Yapılan korelasyon analizi sonunda yanıcı madde kapalılığı ve yanıcı madde boyunun çarpımıyla elde edilen yeni değişken (kap×boy) yanıcı madde miktarları ile yakından ilişkili çıkmıştır. Toplam canlı yanıcı madde miktarı (tc) ile kapalılık ve boyun çarpımı arasında çok kuvvetli bir ilişki ortaya çıkmıştır (r=0.917, P<0.01). Benzer şekilde, toplam ölü yanıcı madde

miktarı (to) ile de kuvvetli bir ilişki ortaya çıkmıştır ($r=0.729$, $P<0.01$). En iyi ilişki ise toplam yanıcı madde miktarı ile arasında çıkmıştır ($r=0.932$, $P<0.01$).

Tablo 2. . Örnek parsellerinin yanıcı madde özellikleri

No*	k	b	kxb	cyi	co	oyi	tcoo	oo	tcyi	tc	to	oet	iet	gt
1	0.70	1.70	1.19	1.56	0.40	0.00	0.40	0.00	1.96	4.26	0.00	1.96	1.56	4.26
2	0.90	2.20	1.98	2.31	0.27	0.23	0.35	0.08	2.58	6.61	0.48	2.89	2.54	7.09
3	0.77	1.50	1.16	1.38	0.18	0.13	0.25	0.07	1.56	3.17	0.36	1.75	1.50	3.52
4	0.60	0.60	0.36	0.94	0.20	0.00	0.20	0.00	1.13	3.12	0.00	1.13	0.94	3.12
5	0.65	0.40	0.26	1.36	0.48	0.15	0.52	0.04	1.84	2.64	0.38	2.03	1.51	3.02
6	0.75	1.10	0.83	2.17	0.55	0.03	0.58	0.03	2.72	4.29	0.22	2.78	2.20	4.51
7	0.95	1.90	1.81	2.93	0.26	0.10	0.31	0.05	3.19	6.45	0.30	3.35	3.03	6.75
8	0.90	0.80	0.72	1.53	0.36	0.03	0.46	0.10	1.89	2.99	0.22	2.02	1.56	3.21
9	0.85	0.90	0.77	1.54	0.32	0.00	0.32	0.00	1.85	2.66	0.00	1.85	1.54	2.66
10	0.85	1.10	0.94	1.52	0.21	0.20	0.22	0.01	1.73	3.09	0.26	1.95	1.73	3.35
11	0.95	2.10	2.00	2.19	0.21	0.45	0.36	0.15	2.40	6.40	0.91	3.00	2.64	7.31
12	0.98	2.30	2.25	2.63	0.27	0.33	0.46	0.19	2.90	6.74	0.98	3.42	2.97	7.72
13	0.85	0.60	0.51	0.99	0.10	0.07	0.14	0.04	1.09	1.60	0.18	1.20	1.06	1.78
14	0.88	1.40	1.23	1.91	0.38	0.26	0.58	0.20	2.29	3.43	0.55	2.75	2.17	3.99
Ortalama	0.83	1.33	1.14	1.78	0.30	0.14	0.37	0.07	2.08	4.10	0.35	2.29	1.93	4.45
En Düşük	0.60	0.40	0.26	0.94	0.10	0.00	0.14	0.00	1.09	1.60	0.00	1.13	0.94	1.78
En Yüksek	0.98	2.30	2.25	2.93	0.55	0.45	0.58	0.20	3.19	6.74	0.98	3.42	3.03	7.72
S. Sapma	0.12	0.64	0.64	0.59	0.12	0.14	0.14	0.07	0.63	1.73	0.30	0.74	0.67	1.94
S. Hata	0.03	0.17	0.17	0.16	0.03	0.04	0.04	0.02	0.17	0.46	0.08	0.20	0.18	0.52

*No: Parsel numarası; k: Kapalılık; b: ortalama boy; kxb: kapalılık×boy; cyi: canlı yaprak ve 0,5 cm den küçük ymm; co: canlı orta= 0,6-1,0 cm arası ymm; oyi: ölü yaprak ve 0,5 cm den küçük ymm; tcoo: toplam canlı ve ölü 0,6-1,0 cm arası ymm; oo: ölü orta=0,6-1,0 cm arası ymm; tcyi: toplam yaprak ve 0,5 cm den küçük ymm; tc: toplam canlı ymm; to: toplam ölü ymm; oet: <1 cm toplam ymm; iet:<0,5 cm toplam ymm; gt: toplam ymm

Tablo 3. Yanıcı madde miktarları ile yanıcı madde özellikleri arasındaki korelasyon matrisi

	b	k	kxb	tc	to	gt	iet	ket
b	1							
k	.622*	1						
kxb	.981**	.734**	1					
tc	.904**	.543*	.917**	1				
to	.647*	.614*	.729**	.640*	1			
gt	.908**	.581*	.932**	.993**	.728**	1		
iet	.829**	.715**	.883**	.902**	.713**	.917**	1	
ket*	.808**	.646*	.830**	.823**	.633*	.833**	.761**	1

* ket: 1-2,5 cm arası ymm (diğer kısaltmalar için bkz. Tablo2)

Yapılan regresyon analizi sonuçlarına göre, yangın davranışı açısından önemli olan yanıcı madde miktarları ile en fazla ilişkili olan değişken kap×boy olmuştur (Tablo 3). Hemen bütün yanıcı madde gruplarında bu değişken regresyondaki değişimin önemli bir kısmını açıklamıştır. Toplam yanıcı madde miktarındaki değişkenliğin %93'ü tek başına kap×boy ile açıklanmaktadır ($P<0.01$). Yangın şiddetinde aktif yanmaya katılan tüketilebilir yanıcı

maddeler olarak tanımlanan ince etkin (iet) yanıcı maddelerdeki değişkenliğin de %93'ü kap×boy ve yanıcı madde boyu ile açıklanmaktadır. Yangın şiddetinde büyük oranda yer almamakla birlikte, aktif yanmanın bitmesiyle pasif yanma denilen içten içe kor halinde yanma aşamasında daha ziyade tüketilen ve dolayısıyla yanıcı madde tüketiminde dikkate alınan orta kalınlıktaki yanıcı maddelerdeki (0.6-1.0 cm arası=oet) değişkenliğin %86 sı da yine kap×boy ile açıklanmaktadır (P<0.01). Burada geliştirilen ve Tablo 4'de gösterilen modeller kullanılarak, deneme yangınlarının yapıldığı parsellerdeki yanıcı madde miktarları hesaplanmıştır.

Tablo 4. Yanıcı madde özelliklerine bağlı olarak yanıcı madde miktarlarını tahmin etmek üzere geliştirilen modeller

Bağımlı değişken	Model	Sabit ve Katsayılar		F	R ²	Adj. R ²	S.H.
		a	S.H.				
gt	Y = a + b kxb	a: 0.422 b: 3.324	0.412 0.295	126.875	0.927	0.920	0.571
	Y = a + b kxb	a:0.612 b:1.066	0.167 0.121	77.474	0.886	0.874	0.253
iet	Y = a + b kxb + c b	a: 0.879 b: 2.205 c:-1.179	0.173 0.470 0.476	61.760	0.932	0.917	0.205
oet	Y = a + b kxb	a:0.837 b:1.156	0.203 0.147	61.721	0.861	.847	0.308

3.1.2. Hava Halleri

Deneme yangınlarından bir hafta önce çalışma alanında kurulan seyyar 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.

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 kurusu ağırlıkları belirlenmiştir. Deneme yangını parsellerindeki ölü ve diri yanıcı madde

örneklerinin kurutma öncesi yaş ağırlıklarıyla fırın kurusu ağırlıkları karşılaştırılarak nem içerikleri ayrı ayrı belirlenmiştir.

3.2. Yangın Anında Yapılan Ölçümler

Kontrollü yakma yapılacak olan 20x15m boyutlarındaki 56 parsel, dozerle sürülerek rüzgar yönünde oluşturulmuş ve parsellerin etrafı 3m genişliğinde emniyet şeritleriyle bölünmüştür. Deneme yangınları sırasında, yangının diğer alanlara sıçramasını önlemek ve gerektiğinde söndürmek için alanda iki arazöz ve iki yangın ekibi hazır bulundurulmuştur. Deneme yangınları parsellerde, rüzgar yönüne uygun olarak parselin bir kenarından yangın ibrği ile şerit halinde başlatılıp, daha önceden tespit edilmiş mesafelere yangınların ulaşma zamanları kaydedilmiştir (Resim 4). Ulaşma zamanı eşzamanlı tutulan iki kronometre değerinin ortalaması olarak alınmıştır. Bu değerler yangının yayılma oranı hesaplamalarında kullanılacaktır. Yangın anında rüzgar hızı ölçümleri alanda kurulan mobil meteoroloji istasyonundan 15 sn aralıklarla alınmıştır. Yangın anındaki hava hallerinin ölçüldüğü istasyon yakılan parsellerden 40 m uzağa, yerden 10 m yükseğe kurulmuştur. 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 =Aktif yanmaya katılan yanıcı madde miktarı (kg/m²), r =Yangın yayılma oranını (m/sn) göstermektedir.

3.3. 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, 56 adet 20x15m'lik deneme parselinde kontrollü yakma yapılarak yanıcı madde özellikleri ve hava hallerinin yangın davranışı üzerine etkisi sayısal olarak ortaya konulmuştur.

4. BULGULAR

4.1. Yangın davranışının belirlenmesine ait bulgular

Deneme yangınlarına ait yanıcı madde özellikleri Tablo 1’de verilmiştir. Araştırmada yürütülen 56 adet deneme yangını verilerine göre, deneme parsellerinin yanıcı madde miktarları 1.89 ile 8.32 kg/m² arasında (ortalama 4.15 kg/m²) değişiklik göstermektedir. Bu çalışmanın ana hedeflerinden birini oluşturan eğimin yangın davranışı üzerine olan etkisini ortaya koyabilmek açısından deneme yangınlarının yapıldığı deneme parsellerinin eğimi %0 ile %27 arasında seçilmiştir. Yangınların yürütüldüğü günlerde hava şartlarında önemli farklılıklar gözlemlenmiştir. Bu dönemde hava sıcaklığı 25.4 ile 33.5 °C arasında, bağıl nem %30 ile 65 ve ortalama rüzgar hızı 5.3 ile 23.1 km/s arasında değişmiştir.

Tablo 5. Deneme yangınlarına ait yanıcı madde özellikleri

Yangın no	Kapalılık	Boy (m)	Yanıcı Madde Nem İçerikleri (%)			Yanıcı Madde Miktarları* (kg/m ²)			
			Canlı	Ölü	Kuru	iet	oet	tc	gt
1	0,80	2,10	109,69	6,9	11,59	0,67	2,78	5,44	6,01
2	0,70	1,61	114,8	7,9	10,29	0,67	2,14	3,98	4,17
3	0,90	2,08	114,8	7,9	10,29	0,45	3	5,95	6,64
4	0,70	1,77	38,05	6,6	10,6	0,75	2,27	4,28	4,54
5	0,60	1,34	84,33	7,1	10,95	0,69	1,77	3,13	3,09
6	0,95	2,05	84,33	7,1	10,95	0,33	3,09	6,15	6,9
7	0,95	2,50	105,94	6,7	10,62	0,41	3,58	7,28	8,32
8	0,67	1,02	73,61	8,2	10,45	0,44	1,63	2,81	2,69
9	0,73	0,70	64,05	11,8	13,65	0,25	1,43	2,35	2,12
10	0,70	1,25	64,05	11,8	13,65	0,51	1,85	3,31	3,33
11	0,87	1,90	89,97	8,1	11,88	0,46	2,75	5,37	5,92
12	0,80	2,45	94,51	11,4	12,03	0,79	3,1	6,18	6,94
13	0,75	1,60	94,51	11,4	12,03	0,59	2,22	4,17	4,41
14	0,85	0,85	92,02	13,4	7,64	0,2	1,67	2,91	2,82
15	0,93	0,63	92,02	13,4	7,64	0,09	1,51	2,55	2,37
16	0,90	0,50	92,02	13,4	7,64	0,08	1,36	2,19	1,92
17	0,70	1,60	94,51	11,4	12,03	0,67	2,13	3,96	4,14
18	0,80	1,50	80,91	10,02	11,45	0,47	2,22	4,17	4,41
19	0,80	1,20	80,75	9,95	11,05	0,37	1,95	3,54	3,61
20	0,80	0,90	73,3	6,73	10,17	0,26	1,67	2,90	2,82
21	0,80	1,25	78,3	8,12	10,75	0,38	1,99	3,65	3,75
22	0,80	1,10	78,15	8,02	10,57	0,33	1,85	3,33	3,35
23	0,70	1,00	75,25	7,36	9,81	0,4	1,65	2,85	2,75
24	0,85	1,30	74,3	7,15	9,56	0,33	2,11	3,92	4,1
25	0,90	2,10	66,15	6,26	8,45	0,45	3,02	6,00	6,7
26	0,75	2,00	65,78	6,28	8,53	0,74	2,57	4,97	5,41
27	0,77	2,05	65,75	6,27	8,35	0,72	2,66	5,18	5,67
28	0,85	2,15	85,63	6,56	8,88	0,58	2,95	5,83	6,5
29	0,75	0,85	85,63	6,56	8,88	0,29	1,57	2,69	2,54
30	0,80	1,20	82	6,54	9,17	0,37	1,95	3,54	3,61
31	0,80	1,95	82,05	6,55	8,78	0,62	2,64	5,13	5,61
32	0,70	0,63	90,88	15,1	12	0,24	1,35	2,17	1,89
33	0,75	1,00	102,78	18	11,97	0,35	1,7	2,98	2,92
34	0,83	1,50	96,78	15	9,97	0,42	2,28	4,29	4,56

Tablo 5'in devamı

35	0,75	0,80	109,33	9,4	10,71	0,27	1,53	2,59	2,42
36	0,80	1,30	109,33	9,4	10,71	0,4	2,04	3,75	3,88
37	0,80	1,15	100	8,3	11,19	0,35	1,9	3,43	3,48
38	0,80	2,00	100	8,3	11,19	0,64	2,69	5,23	5,74
39	0,83	1,05	100	8,3	11,19	0,28	1,84	3,31	3,32
40	0,83	1,50	89,47	13,9	4,76	0,42	2,28	4,29	4,56
41	0,80	1,70	69,4	8,7	10,87	0,54	2,41	4,60	4,94
42	0,80	1,70	69,4	8,73	10,87	0,54	2,41	4,60	4,94
43	0,65	1,50	69,4	8,7	10,87	0,7	1,96	3,58	3,66
44	0,85	1,75	89,26	14,3	9,95	0,46	2,56	4,93	5,37
45	0,85	1,35	89,26	14,3	9,95	0,35	2,16	4,04	4,24
46	0,70	0,75	79,84	9,8	7,84	0,29	1,44	2,39	2,17
47	0,80	1,15	81,07	10,5	9,02	0,35	1,9	3,43	3,48
48	0,80	1,25	82,95	9,7	11,2	0,38	1,99	3,65	3,75
49	0,83	1,15	82,95	9,7	11,2	0,31	1,94	3,52	3,59
50	0,85	1,55	75,97	7,6	9,25	0,4	2,36	4,48	4,8
51	0,65	0,75	75,97	7,6	9,25	0,33	1,4	2,29	2,04
52	0,70	0,85	67,37	9,52	17,39	0,34	1,52	2,57	2,4
53	0,83	1,98	29,2	14,68	8,76	0,57	2,74	5,35	5,88
54	0,75	0,75	59,63	11,21	4,94	0,25	1,49	2,49	2,29
55	0,75	1,55	56,67	2,33	4,69	0,57	2,18	4,07	4,29
56	0,85	1,55	50	2,1	2,48	0,4	2,36	4,48	4,8
En Yüksek	0,95	2,50	114,80	18,00	17,39	0,79	3,58	7,28	8,32
En Düşük	0,60	0,50	29,20	2,10	2,48	0,08	1,35	2,17	1,89
Ortalama	0,79	1,41	82,22	9,32	10,01	0,44	2,13	3,97	4,15
S. Sapma	0,08	0,50	17,62	3,15	2,34	0,17	0,53	1,20	1,51
S. Hata	0,02	0,12	4,15	0,72	0,55	0,04	0,12	0,28	0,36
Ö. Sayısı	18	18	18	19	18	18	18	18	18

Yanıcı madde miktarının belirlenmesi için geliştirilen modellerden hesaplanmıştır (bkz. Tablo 4).

Deneme parsellerinin eğimi ve yanıcı madde özellikleriyle hava hallerindeki değişkenlik yangın davranışında da farklılıkların ortaya çıkmasına neden olmuştur. Deneme yangınlarında gözlenen yayılma oranı 1.09 ile 17.91 m/dk, yangın şiddeti 265.61 ile 16169.20 kW/m arasında, yanıcı madde tüketimi de 0.90 ile 3.29 arasında değişmiştir. Deneme yangınlarına ait hava halleriyle yangın davranış verileri Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6. Deneme yangınlarına ait hava halleri ve yangın davranış verileri

Yangın No	Bağıl Nem (%)	Sıcaklık (°C)	Rüzgar (km/s)	Eğim (%)	Yayılma Oranı (m/dak)		Yanıcı Madde Tüketimi (kg/m ²)		Yangın Şiddeti (kW/m)	
					Ölçülen	Tahmin	Ölçülen	Tahmin	Ölçülen	Tahmin
1	46	27,6	20,5	12	11,02	7,91	2,60	2,47	8568,88	5303,59
2	65	26,2	9,8	11	2,52	3,08	1,53	1,76	996,37	1473,32
3	46	28,3	18,8	10	4,54	6,09	2,72	2,61	3429,14	4586,26
4	44	28,3	22,3	3	4,23	6,70	1,67	1,91	1832,37	3158,48
5	36	30,7	20,8	14	9,77	8,15	1,42	1,62	3573,42	3262,83
6	38	30	22,4	14	7,15	9,42	2,72	2,78	5186,2	7828,9
7	37	32,3	16,8	15	6,72	5,91	3,29	3,10	5929,68	6472,23
8	59	28,5	17,2	8	5,45	3,27	1,09	1,22	1576,82	1041,58
9	55	28,2	16,4	0	1,31	2,53	1,17	0,96	403,66	674,56
10	46	29,1	15,3	8	3,26	3,42	1,37	1,55	1156,1	1318,87
11	51	28,3	10,7	8	5,23	3,14	2,03	2,32	2763,65	2024,19
12	43	25,4	16,2	5	3,97	5,39	2,57	2,83	2590,02	4748,54
13	47	26,3	21,1	8	6,11	6,05	1,80	1,99	2788,98	2918,19
14	30	30,7	9,7	8	3,01	3,14	1,58	1,52	1291,03	1187,75
15	30	30,7	8,5	12	3,02	3,48	1,52	1,43	1206,48	1275,99
16	38	31	7,5	10	2,31	2,35	1,50	1,13	995,19	713,47

Tablo 6'nın devamı

17	47	26,4	18,7	10	10,98	5,49	2,08	1,92	5964,92	2563,31
18	39	25,7	20,3	4	7,08	7,28	1,89	2,06	3410,12	3653,69
19	36	26,7	16,8	7	5,82	6,81	1,67	1,86	2485,08	3098,08
20	35	26,9	20,2	10	7,02	11,25	1,48	1,66	2661,12	4634,45
21	48	26,7	14,6	16	10,74	6,54	1,85	1,86	5163,37	3133,96
22	46	26,9	12,8	16	10,53	6,16	1,73	1,76	4751,58	2794,79
23	44	27,8	13,7	8	4,35	5,06	1,22	1,46	1379,17	1901,15
24	44	27,7	15,6	8	7,79	5,57	1,92	1,86	3879,15	2639,43
25	33	25,8	21	14	17,91	15,80	3,21	2,92	16169,2	14157,92
26	33	26,9	20,8	13	16,06	13,40	2,59	2,50	11385,73	9094,97
27	33	27	23,1	13	16,10	14,96	2,57	2,58	12203,84	10440,23
28	34	27,5	18,4	11	16,26	9,77	2,99	2,75	13679,43	7828,98
29	40	26,3	16,3	11	10,18	8,65	1,49	1,55	3960,91	3316,28
30	36	26	18,9	12	7,42	12,47	1,97	1,94	3776,27	6063,82
31	36	27,6	17,2	10	5,21	8,85	2,42	2,46	3145,97	6067,64
32	62	25,6	11,2	3	1,09	1,98	0,90	1,00	265,61	554,18
33	42	32,2	7,8	18	2,23	1,85	1,27	1,49	776,78	716,07
34	39	33,2	8,6	18	2,80	2,28	2,10	1,96	1605,75	1177,91
35	42	31,8	11,5	14	2,93	3,49	1,41	1,28	1129,64	1196,51
36	42	31,8	10,9	18	2,93	3,96	1,87	1,78	1492,42	1871,55
37	41	32,2	7,6	14	2,84	3,04	1,73	1,60	1313,03	1309,02
38	55	32,2	7,6	18	1,56	2,52	1,98	2,21	810,01	1694,57
39	41	33	7,5	16	3,11	2,97	1,57	1,55	1296,53	1251,18
40	37	33,5	5,3	18	2,21	2,17	1,66	2,01	999,36	1213,01
41	42	32,2	11,4	3	3,29	2,18	1,95	1,87	1699,33	1067,58
42	42	32,2	13,48	3	2,76	2,49	1,71	1,91	1285,65	1225,61
43	46	32,5	12,9	7	3,19	2,40	1,51	1,48	1254,63	925,05
44	38	32,6	10,4	21	2,25	3,40	1,82	2,34	1112,93	2277,68
45	38	32,6	11,6	27	5,95	4,04	2,10	2,03	3365,88	2176,55
46	41	32,7	15,7	23	5,17	5,45	1,29	1,31	1773,71	1884,15
47	45	31,4	16,2	23	5,93	5,41	1,91	1,70	3065,56	2330,45
48	56	28,8	17,4	19	3,33	5,27	1,72	1,71	1511,94	2285,67
49	58	29,2	16,4	23	4,19	5,21	1,75	1,67	1963,05	2232,12
50	62	27,7	15,2	25	5,10	6,40	2,25	2,06	3085,46	3603,05
51	60	27	17	25	8,43	7,44	1,39	1,29	3195,39	2477,37
52	60	26,9	12	2	2,99	2,20	1,32	1,06	1054,03	639,16
53	55	27	12,5	0	3,34	1,61	2,53	2,13	2245,18	808,86
54	45	27,5	7,1	3	1,61	2,57	1,22	1,24	514,27	857,8
55	40	30,3	11,7	8	6,58	5,10	2,14	1,85	3811,12	2485,1
56	37	31,6	10,3	9	3,90	5,31	2,22	2,00	2334,77	2920,64
En Yüksek	65	33,50	23,10	27,00	17,91	15,80	3,29	3,10	16169,20	14157,92
En Düşük	30	25,40	5,30	0,00	1,09	1,61	0,90	0,96	265,61	554,18
Ortalama	43	29,13	14,49	11,91	5,76	5,51	1,87	1,87	3236,89	3045,68
S. Sapma	8	2,52	4,70	6,65	4,01	3,35	0,54	0,51	3294,04	2689,73
S. Hata	2	0,59	1,11	1,57	0,95	0,79	0,13	0,12	776,41	633,98
Ö. Sayısı	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18

Yangın davranış özellikleriyle yanıcı madde özellikleri, arazi eğimi ve hava halleri arasındaki ilişkileri belirlemek için korelasyon ve regresyon analizleri yapılmıştır. Analizler sonucunda ortaya çıkan korelasyon matrisi Tablo 7'de ve anlamlı ilişkilerin çıktığı regresyon modelleri ise Tablo 8'de verilmiştir. Yapılan korelasyon analizi sonunda rüzgar hızı, ölü yanıcı maddelerin nem içerikleri ve bağıl nem ile yayılma oranı arasında kuvvetli ilişkiler ortaya çıkmıştır ($r=0.709$, $P<0.01$; $r=-0.551$, $P<0.01$; $r=-0.334$, $P<0.05$). Yanıcı madde tüketimi ve yangın şiddeti ile de aralarında kuvvetli ilişki olan bu değişkenler, deneme

yangınları sırasında gözlenen en düşük ve en yüksek yangın davranış özelliklerini de açıklamaktadır.

Tablo 7. Yangın davranış karakteristikleri ile yanıcı madde özellikleri ve hava halleri arasındaki korelasyon matrisi

	S	BN	R	CN	ON	B	K	E	<i>ln</i> YO	<i>ln</i> YS	YMT	T
S	1											
BN	-.268*	1										
R	-.552**	-.095	1									
CN	.221	-.023	-.213	1								
ON	.224	.090	-.442**	.222	1							
B	-.080	-.159	.367**	.013	-.315*	1						
K	.189	-.381**	-.126	.213	.039	.334*	1					
E	.379**	-.023	-.074	.390**	.054	-.046	.176	1				
<i>ln</i> YO	-.419**	-.334*	.709**	-.118	-.551**	.368**	.054	.192	1			
<i>ln</i> YS	-.337*	-.381**	.664**	-.074	-.543**	.571**	.255	.207	.957**	1		
YMT	-.106	-.335*	.386**	.033	-.351**	.855**	.602**	.110	.540**	.756**	1	
T	-.032	-.208	.313*	.065	-.281*	.973**	.527**	.006	.343**	.569**	.910**	1

** Korelasyon 0.01 güven düzeyinde anlamlı

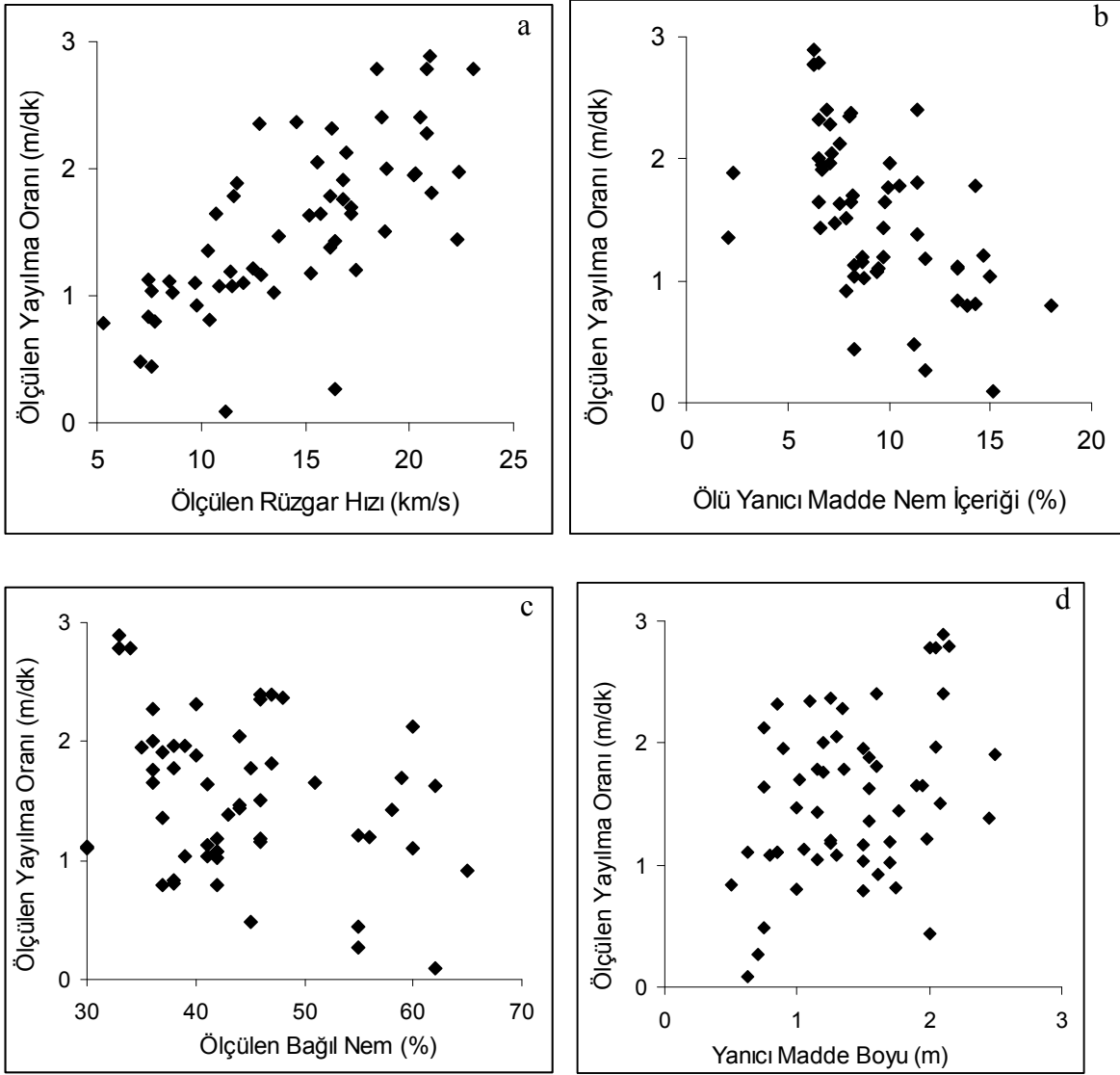
* Korelasyon 0.05 güven düzeyinde anlamlı

Tablo 8. Regresyon analizleri sonucunda geliştirilen yangın davranışıyla ilgili modeller

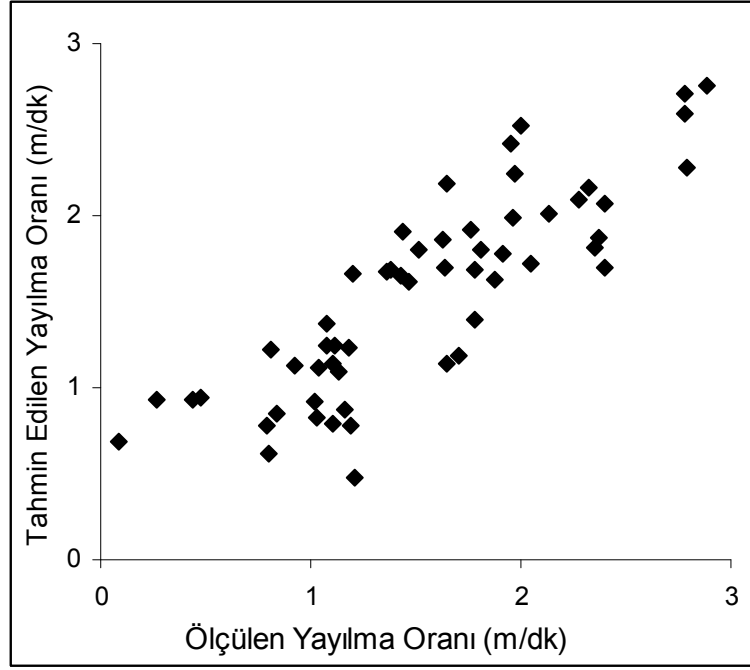
Bağımlı Değişken*	Modeller	Sabit ve Katsayılar	SE	F	R ²	Adj. R ²	SEE
YO	1a) $Y=a+bR$	a: 0.110 b: 0.099	0.204 0.013	54.451	0.502	0.493	0.466
	1b) $Y=a+bR+cBN$	a: 1.043 b: 0.095 c: -0.200	0.365 0.013 0.007	35.721	0.574	0.558	0.435
	1c) $Y=a+bR+cBN+dN_o$	a: 1.790 b: 0.078 c: -0.190 d: -0.058	0.421 0.013 0.006 0.019	30.467	0.637	0.616	0.405
	1d) $Y=a+bR+cBN+dN_o+eE$	a: 1.459 b: 0.080 c: -0.018 d: -0.060 e: 0.024	0.403 0.012 0.006 0.018 0.008	29.266	0.697	0.673	0.374
	1e) $Y=a+bR+cBN+dN_o+eE+fS$	a: 5.247 b: 0.048 c: -0.028 d: -0.061 e: 0.037 f: -0.105	0.968 0.013 0.006 0.016 0.007 0.025	34.563	0.776	0.773	0.325
	2a) $Y=a+bT$	a: 0.535 b: 0.323	0.088 0.020	259.767	0.828	0.825	0.225
	2b) $Y=a+bT+cBN$	a: 0.989 b: 0.311 c: -0.009	0.183 0.019 0.003	150.117	0.850	0.844	0.212
	2c) $Y=a+bT+cBN+dS$	a: 1.908 b: 0.307 c: -0.012 d: -0.028	0.415 0.019 0.003 0.011	111.433	0.865	0.858	0.202
	2d) $Y=a+bT+cBN+dS+eE$	a: 0.373 b: 0.554 c: -0.004 d: -0.005 e: 0.014	0.120 0.031 0.010 0.011 0.004	105.050	0.892	0.883	0.183
	3a) $Y= a+bR$	a: 5.980 b: 0.120	0.280 0.018	42.528	0.441	0.43	0.640
YMT	3b) $Y= a+bR+cT$	a: 5.376 b: 0.097 c: 0.225	0.281 0.017 0.052	37.413	0.585	0.57	0.556
	3c) $Y= a+bR+cT+dBN$	a: 6.610 b: 0.096 c: 0.196 d: -0.025	0.479 0.016 0.049 0.008	32.038	0.649	0.629	0.517
	3d) $Y= a+bR+cT+dBN+eE$	a: 6.182 b: 0.099 c: 0.192 d: -0.024 e: 0.031	0.463 0.014 0.046 0.007 0.010	30.609	0.706	0.683	0.477
	3e) $Y= a+bR+cT+dBN+eE+dS$	a:10.679 b: 0.059 c: 0.211 d: -0.035 e: 0.046 f: -0.127	1.227 0.016 0.041 0.007 0.010 0.033	34.301	0.774	0.752	0.422
	3f) $Y= bR+cT+dBN+eE+fS+gN_o$	a:11.610 b: 0.042 c: 0.189 d: -0.035 e: 0.047 f: -0.127 g: -0.067	1.129 0.015 0.037 0.006 0.009 0.029 0.018	37.749	0.822	0.800	0.379
YŞ							

*YO: Yayılma oranı (m/dk), YMT: Yanıcı madde tüketimi (kg/m2), YŞ: yangın şiddeti (kW/m), R: rüzgar hızı (km/s), BN: bağıl nem (%), N_o: ölü yanıcı maddelerin nem içeriği (%), E: yüzde eğim, S: hava sıcaklığı (°C), T: toplam yanıcı madde miktarı (kg/m2)

Yayılma oranı ile onu etkileyen değişkenler arasında yapılan regresyon analizi sonucunda, tahmin edilen yayılma oranı değerleriyle ölçülen yayılma oranı değerleri arasındaki ilişki logaritmik bir dağılım gösterdiğinden yayılma oranı değerlerine logaritmik dönüşüm yapılarak analizlerde bu yeni değerler kullanılmıştır. Tablo 8'deki regresyon modelleri incelendiğinde, rüzgar hızının yayılma oranının tahmin edilmesinde kullanılabilecek en önemli değişken olduğu ve tek başına yayılma oranındaki değişkenliğin %50'sini açıkladığı ($P<0.01$) görülmektedir (Şekil 6). Bu modele rüzgar hızının yanında bağıl nem ikinci bağımsız değişken olarak girdiğinde yayılma oranındaki değişkenliğin %57'si açıklanabilmektedir ($P<0.01$). Regresyona ölü yanıcı maddelerin nem içerikleri ve arazi eğimi üçüncü ve dördüncü bağımsız değişken olarak girdiğinde yayılma oranının açıklanan varyasyonunda önemli bir artış daha olmaktadır ($R^2=0.637$, $R^2=0.697$; $P<0.01$). Hava sıcaklığının regresyona beşinci bağımsız değişken olarak girmesiyle en iyi model ortaya çıkmakta ve yayılma oranındaki değişkenliğin %78'i bu modelle açıklanabilmektedir ($P<0.01$) (Şekil 6).

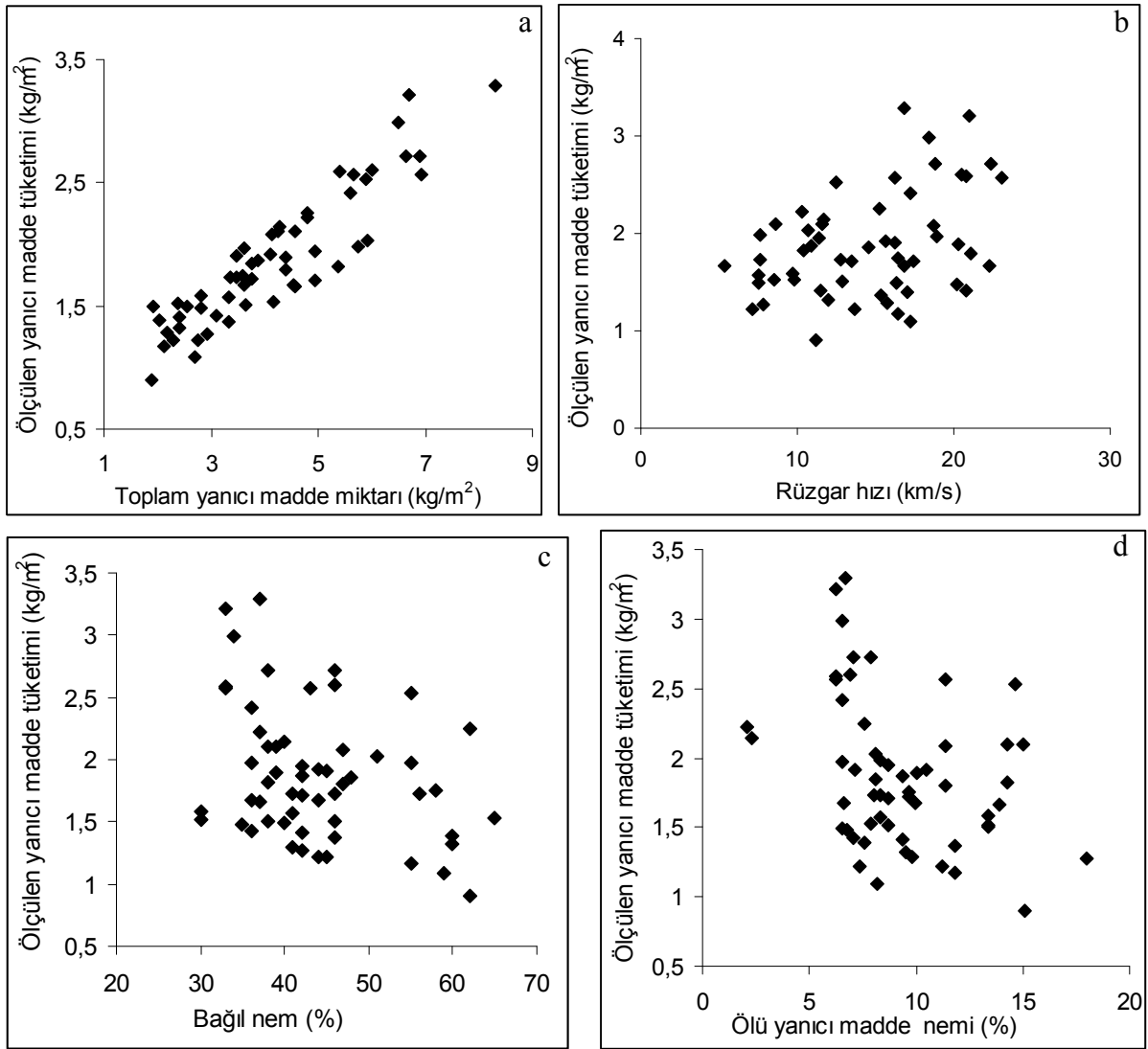


Şekil 5.. Yayılma oranı ile (a) rüzgar, (b) ölü yanıcı madde nem içeriği, (c) bağıl nem ve (d) yanıcı madde ortalama boyu arasındaki ilişki



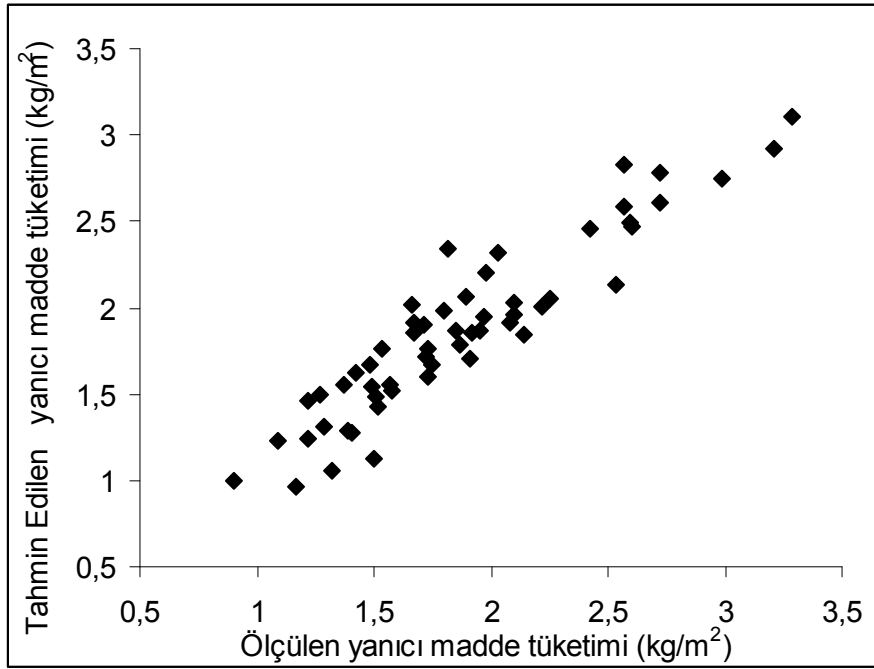
Şekil 6. Yayılma oranının gözlenen değerlerinin (logaritmik) ile model 1e'ye göre tahmin edilen değerleri arasındaki ilişki

Korelasyon analizi sonucunda, yangının ekolojik etkilerinin en önemli göstergesi olan yanıcı madde tüketimi ile başta toplam yanıcı madde miktarı olmak üzere, rüzgar hızı, ölü yanıcı maddelerin nem içerikleri ve bağıl nem arasında kuvvetli ilişkiler ($r=0.910$, $P<0.01$; $r=0.386$, $P<0.01$; $r=-0.335$, $P<0.05$; $r=-0.351$, $P<0.01$) ortaya çıkmıştır (Tablo 7, Şekil 7).



Şekil 7. Yanıcı madde tüketimi ile (a) toplam yanıcı madde miktarı, (b) rüzgar, (c) bağıl nem ve (d) ölü yanıcı madde nem içeriği arasındaki ilişki

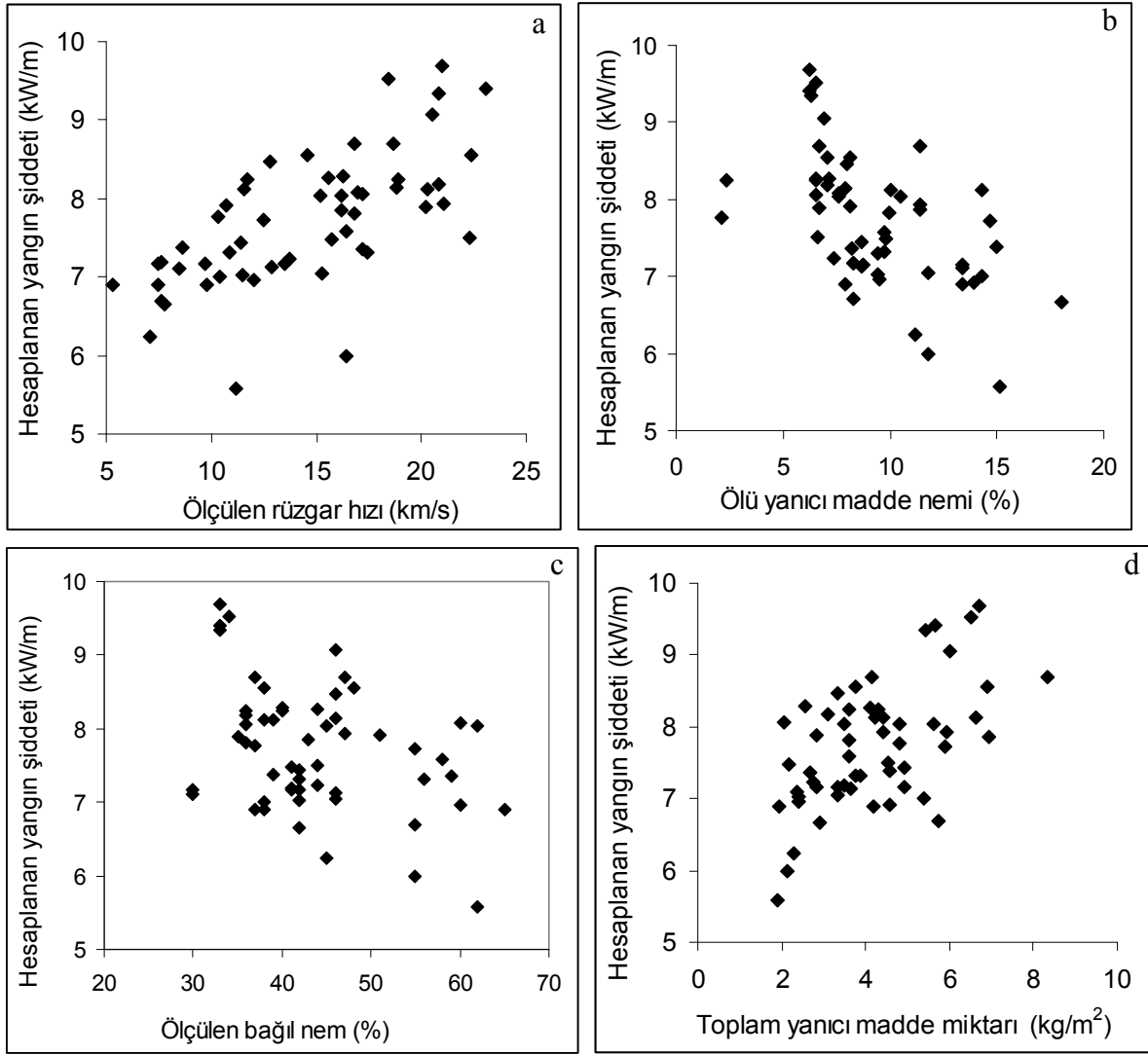
Regresyon analizi sonucuna göre yanıcı madde tüketimindeki değişkenliğin %83'ü tek başına toplam yanıcı madde miktarı ile açıklanabilmektedir ($P < 0.01$). Regresyona ikinci ve üçüncü bağımsız değişken olarak bağıl nem ve sıcaklık ilave edildiğinde yanıcı madde tüketiminin tahmini için açıklanan değişkenliğin biraz daha arttığı gözlenmiştir ($R^2 = 0.850$, $R^2 = 0.865$; $P < 0.01$). Arazi eğiminin dördüncü bağımsız değişken olarak regresyona dahil edilmesiyle yanıcı madde tüketiminin tahmin edilmesinde kullanılabilecek en iyi regresyon modeli elde edilmektedir ($R^2 = 0.892$, $P < 0.01$). Şekil 8'de yanıcı madde tüketiminin ölçülen değerleriyle model 2d'ye göre tahmin edilen değerleri arasındaki ilişki görülmektedir.



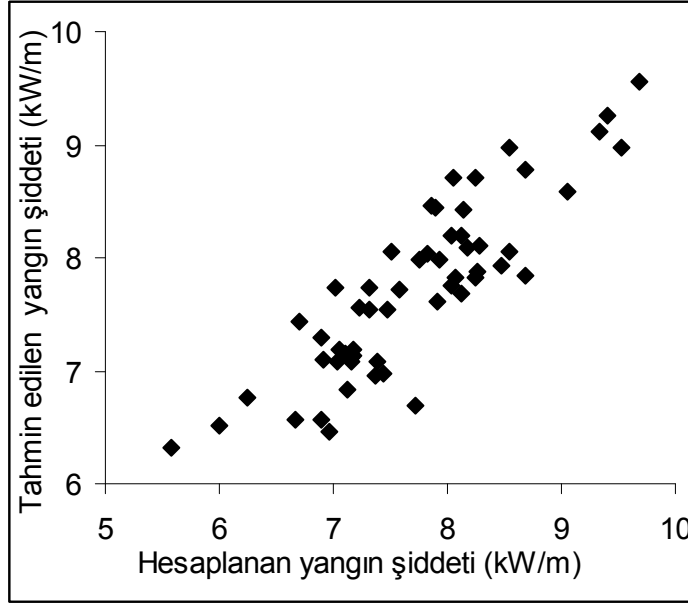
Şekil 8. Yanıcı madde tüketiminin ölçülen değerleriyle model 2d'ye göre tahmin edilen değerleri arasındaki ilişki

Yangın şiddeti, rüzgar hızı, ölü yanıcı maddelerin nem içerikleri ve bağıl nem ile yakından ilişkilidir ($r=0.664$, $P<0.01$; $r=-0.543$, $P<0.01$; $r=-0.381$, $P<0.01$) (Tablo 3). Şekil 9'da Yangın şiddeti ile (a) rüzgar hızı, (b) ölü yanıcı madde nem içeriği, (c) bağıl nem ve (d) toplam yanıcı madde miktarı arasındaki ilişki görülmektedir.

Tablo 8'deki regresyon modellerinde rüzgar hızı tek başına (md. 3a) yangın şiddetinde gözlenen değişkenliğin % 44'ünü açıklarken ($P<0.001$), regresyona toplam yanıcı madde miktarı ikinci değişken olarak ilave edildiğinde (md. 3b) yangın şiddetindeki değişkenliğin %59'u açıklanabilmektedir ($P<0.001$). Bunlara bağıl nem üçüncü bağımsız değişken olarak ilave edildiğinde (md. 3c) yangın şiddetindeki açıklanan değişkenliğin biraz artarak %65'e, dördüncü değişken olarak arazi eğimi ilave edildiğinde %71'e çıktığı görülmektedir. Regresyona beşinci bağımsız değişken olarak sıcaklık ilave edildiğinde yangın şiddetindeki değişkenliğin %77'si açıklanabilmektedir. Yangın şiddetindeki değişkenliği açıklayan en iyi model, regresyona altıncı değişken olarak ölü yanıcı maddelerin nem içerikleri dahil edildiğinde ortaya çıkmaktadır ($R^2=0.822$, $P<0.01$). Yangın şiddetinin gözlenen ve tahmin edilen değerleri Şekil 10'da gösterilmektedir.



Şekil 9. Yangın şiddeti ile (a) rüzgar hızı, (b) ölü yanıcı madde nem içeriği, (c) bağıl nem ve (d) toplam yanıcı madde miktarı arasındaki ilişki



Şekil 10. Yangın şiddetinin (logaritmik) hesaplanan değerleriyle model 3f'ye göre tahmin edilen değerleri arasındaki ilişki

4.2. Maki Tipi Yanıcı Maddelerde Yangın Davranışının Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) Yardımıyla Konumsal Analizi: Korudağ Örneği

Orman yangınlarıyla mücadelede başarılı olmanın temel yolu, yapılan planlamalarda yangın tehlike oranları sisteminden etkin bir şekilde faydalanabilmektir. Oluşturulan yangın tehlike oranları sistemi, Coğrafi bilgi sistemleri (CBS) teknolojisi ile güçlendirilerek, yangınla mücadele çalışmaları çok daha etkin ve ekonomik bir şekilde gerçekleştirilebilir. 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 birçok konumsal bilgiye aynı anda ulaşmak mümkündür. Bu bilgiler ışığında, en uygun söndürme taktik ve stratejilerinin tespitini en kısa ve en etkili sürede belirleyerek, yangınlarla mücadelede en yüksek başarıyı sağlamak mümkündür. Böylece, kaynakların etkin kullanılması sağlanarak hem masraflar en aza indirilmekte hem de yangınlar büyük boyutlara ulaşmadan 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 yanıcı madde tiplerinden biri olan maki tipi yanıcı maddelere ait, farklı hava

hallerinde yangın davranış özellikleri belirlenmiş ve bunun yanı sıra eğimin yangın davranışı üzerindeki etkisi modellenmiştir. Sonuç olarak, farklı eğitim gruplarında maki tipi yanıcı maddelerde yangın davranışı konumsal analizi coğrafi bilgi sistemleri yardımıyla değerlendirilerek yangınla mücadele çalışmalarında alternatif çözüm önerileri ortaya konulmuştur.

4.2.1. Gereç ve Yöntem

Çalışma alanı Çanakkale Orman Bölge Müdürlüğü, Keşan Orman İşletme Müdürlüğü, Korudağ Orman İşletme Şefliği (OİŞ)'dir (Şekil 11, 12). Çalışma alanının toplam ormanlık alanı 12 303 hektar olup, ormanlık alanlarının tamamına yakını kızılçam ağaçlandırmalarından oluştuğundan yangına 1.derecede hassastır. Çalışma alanı 1/25000 ölçekli Çanakkale G 17 a3, b3, b4, c1, c2 ve d2 numaralı topografik haritalarda yer almaktadır.

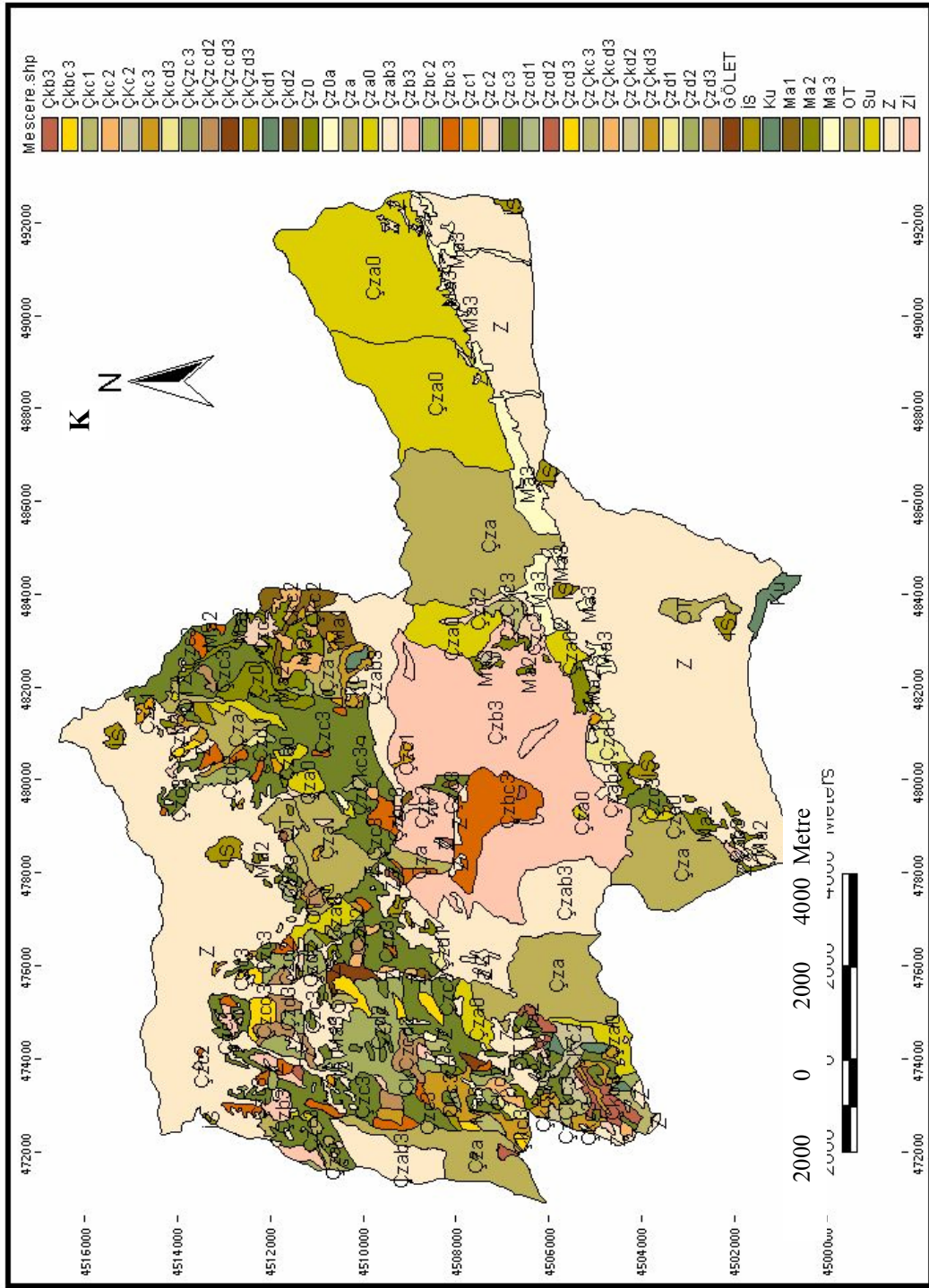
Bu proje kapsamında, Maki tipi yanıcı madde özellikleri ve hava hallerine bağlı olarak, farklı eğitim gruplarında yangın davranışının temel özelliklerinden yayılma oranı, yanıcı madde tüketimi ve yangın şiddeti hesaplanmış ve CBS yardımıyla sorgulanarak konumsal analizi yapılmıştır. Maki tipi alanlarında yanıcı madde miktarı, yayılma oranı, yanıcı madde tüketimi ve yangın şiddeti tahminleri, bundan önceki bölümlerde geliştirilmiştir.

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 özelliklerinden yayılma oranı haritaları oluşturulmuştur.

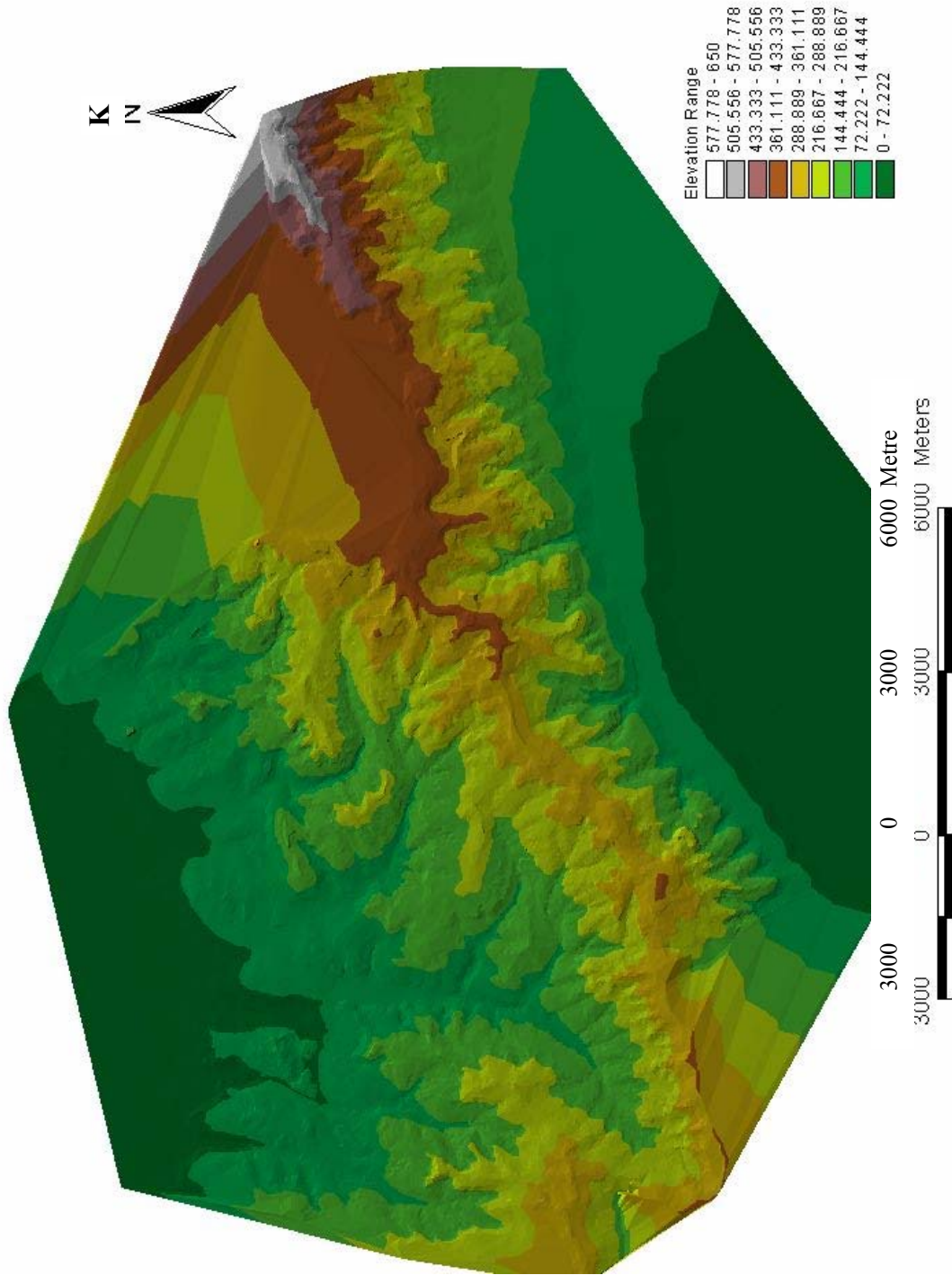
Korudağ uygulama alanında, yanıcı madde tipleri sınıflandırmasına göre, rüzgar dışındaki diğer bütün özellikler sabit kabul edilerek yayılma oranı haritaları oluşturulmuştur. Yayılma oranı haritaları oluşturulurken rüzgar hızı 30 km/s olası durumu dikkate alınmıştır. Bu rüzgar değerine göre hesaplanan yayılma oranı değerleri kendi içerisinde üç ayrı (0-4, 4.1-7, 7.1 ve 15 m/dk>) gruba ayrılarak sınıflandırılmıştır.

Elde edilen veriler söz konusu alanlara ait hazırlanmış olan sayısal meşcere tipi haritasına (ÇOBM, 2004) ve sayısal topografik haritasına (Yomralıoğlu, 2002) veri tabanı olarak girilmiştir. Veri tabanının oluşturulmasında ve sorgulamaların yapılarak sonuçların

sunumu için Arc/InfoTM ve Arc/ViewTM CBS (ESRI, 1993; ESRI, 1996) katmanları kullanılmıştır. Arc/Info ile uygulama alanlarının eğim haritası katmanları oluşturulmuştur. Ancak bu çalışma kapsamında geliştirilen modeller %0 ile %27 arasındaki eğimleri kapsadığından, bu sınırların dışındaki alanlarda, Van Wagner (1977) ve Hirsch (1996)'e göre belirlenen eğim faktörü yeni bir alan olarak veri tabanına eklenmiştir. Oluşturulan eğim haritası ile meşcere tipleri haritası karşılaştırılarak her meşcerenin eğimi ve ona bağlı olarak eğim faktörü hesaplatılmıştır. Buna bağlı olarak da yayılma oranının düşük, orta ve yüksek değerleri hesaplatılarak bunlara ait yeni katmanlar oluşturulmuştur. Daha sonra bu katmanlar yangınlarla mücadele çalışmalarında alternatif yöntemlerin belirlenmesi için kullanılmıştır. Yangın davranış özelliklerine ait haritalardan yayılma oranı, yangın şiddeti ve yanıcı madde tüketimini içine alan yangın şiddeti haritaları örnek olarak gösterilmiştir.



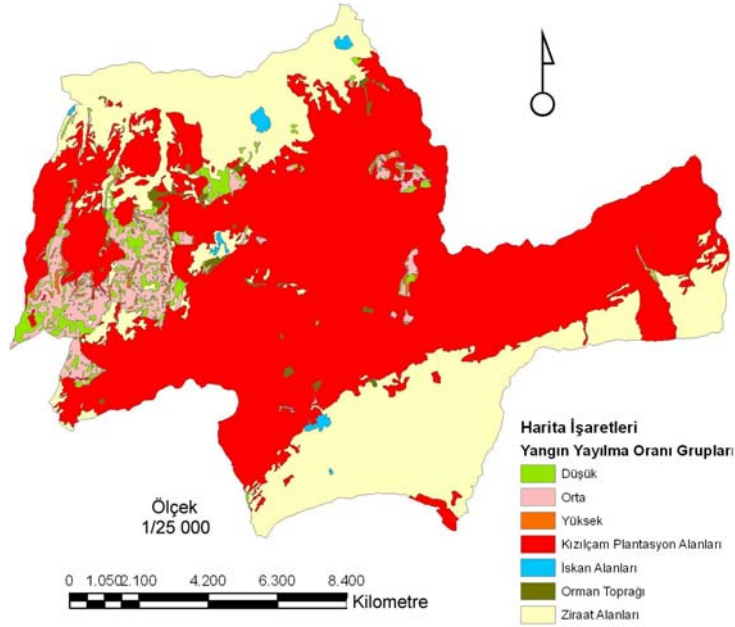
Şekil 11 . Uygulama alanının meşcere tipleri haritası



Şekil 12 . Uygulama alanının sayısal arazi modeli

4.2.2. Bulgular

CBS'nin coğrafi sorgulama ve analiz fonksiyonları ile öznitelik veri tabanı analiz işlemleri sonucunda Korudağ Planlama Biriminde maki tipi yanıcı maddeler, çoğunluğunu kızılçam ağaçlandırma alanlarının oluşturduğu ormanlık alanlardan ayrılarak sadece maki tipi yanıcı madde özelliklerine bağlı olarak yangın davranış özellikleri düşük, orta ve yüksek değerlere göre belirlenmiştir. Rüzgâr hızına göre hesaplanan yayılma oranı hesaplamasında diğer faktörler sabit tutulmuştur. Toplam 18 506 ha'lık ormanlık alanın, 1489 ha'lık kısmı, makilik alanlardan oluşmakta ve bu alanda saatte 30 m/dk hızda esen rüzgar koşullarındaki yayılma oranı 488,9 ha'ında düşük, ve 897,9 ha'ında orta seviyede gerçekleşirken, 102,6 ha'ında yüksek seviyedeki alan grubunda yer almıştır (Şekil 13).

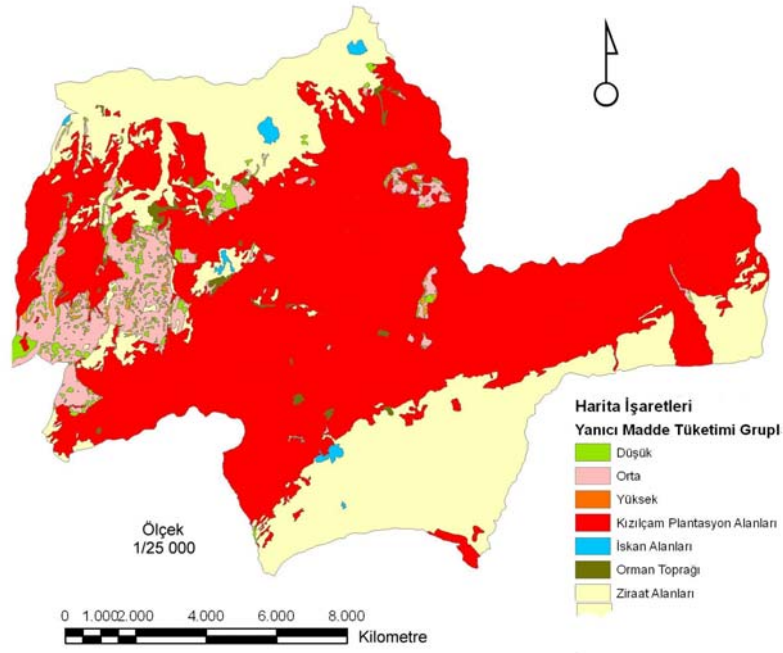


Şekil 13. Yayılma oranı değerlerinin (30 m/dk rüzgar hızında) alandaki dağılımı

Makilik alanlardaki bu yayılma oranı değerleri incelendiğinde, düşük ve orta yayılma oranının alanın genelinde hâkim olduğu anlaşılmaktadır. Bununla birlikte yüksek yayılma oranı gösteren ve kızılçam plantasyonlarına bitişik olan makilik alanlarda, kızılçamın yangınlar açısından çok tehlikeli olduğu ve diğer yandan makilik alanlarda yangının uygun koşullar oluştuğunda çok hızlı ilerlediği hesaba katılarak yangınla mücadele açısından dikkatli olunması gerekmektedir. Yayılma oranı yüksek olan küçük parçalara bölünmüş alanlarda yangın kontrol edilebilirse, çok fazla tehlikeli olmayacaktır. Bunun için alanların birbirlerine göre nispi konumları dikkatle incelenmelidir. Bu konuda CBS teknolojisinin kullanılması son

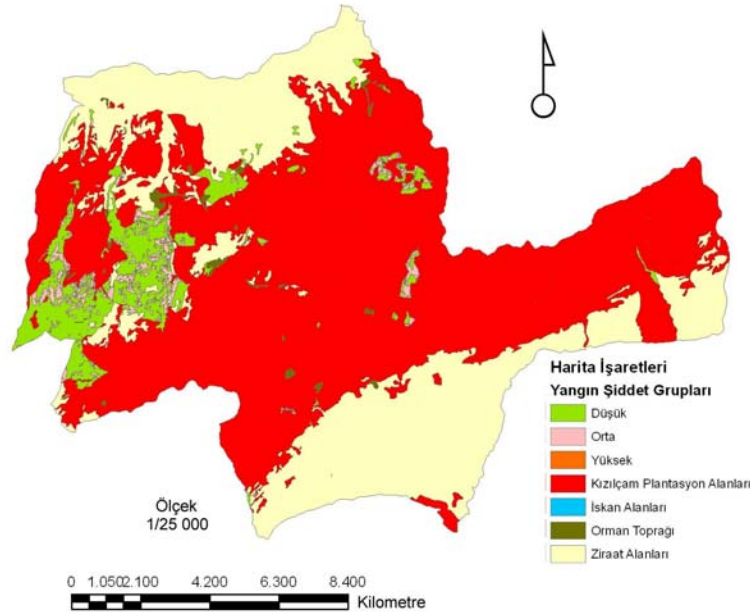
derece etkili olmuştur. Bu küçük alanlar birbirine yakın durumdaysalar ve birbirlerine yangının geçişi engellenemezse büyük alanda etkili olabilecek yangınlar meydana gelebilir. Şekil 3 incelendiğinde, düşük yayılma oranının ortaya çıktığı alanların birbirinden uzakta ve nispeten büyük alanlardaki gruplardan oluştuğu görülmektedir. Yangının bu alanlarda tutulabildiği müddetçe fazla tehlikeli bir durumun olmayacağı söylenebilir. Ancak, yüksek yayılma oranının gözlendiği kısımlara baktığımızda, bunların küçük alanlarda ortaya çıktığı ve çok büyük bir bütünlük arz etmediği görülmektedir. Ancak, bu alanların çoğunlukla, kızılçam plantasyonlarına bitişik olması, burada başlayacak olan bir yangının, kızılçam ormanlarına sirayet etmesi ve uygun rüzgar koşullarının oluşması durumunda, planlama birimindeki ormanlık alanın tamamına yakınına tehdit edeceği açıktır. Bu nedenle yayılma oranı açısından bütünlük arz edecek alanların birbirinden ayrılması için yangın öncesi gerekli mücadele önlemlerinin alınması gerekmektedir. Bu gibi alanlara yapılacak müdahalelerde, müdahale hattına karar verirken ve ekipler alana yerleştirilirken yayılma oranının dikkate alınması son derece önem arz etmektedir. 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.

Yangının ekolojik etkilerinin ortaya konulması açısından önemli olan humus yanıcı madde tüketimi uygulama alanındaki bütün maki tipi yanıcı maddelerde ortaya konulmuştur. Humus yanıcı madde tüketimi %10 yanıcı madde nem içeriğine göre hesaplanmıştır. Yanıcı madde nem içeriğinin düşük olduğu duruma göre yapılan hesaplamalarda düşük humus tabakası yanıcı madde tüketimi (DHYMT) ortaya çıkmıştır. DHYMT uygulama alanının 364 hektarında düşük seviyede, 968 hektarında orta seviyede ve 157 hektarında yüksek seviyede gerçekleşmiştir (Şekil 14).



Şekil 14. Düşük yanıcı madde tüketiminin alandaki dağılımı

Yangın şiddeti, yayılma oranı ve yanıcı madde tüketimine bağlı olarak hesaplanmıştır. Uygulama alanındaki düşük orta ve yüksek düzeydeki yangın şiddeti haritaları Şekil 5’de verilmiştir. Buna göre düşük yangın şiddeti, uygulama alanının 1129 hektarında düşük, 286 hektarında orta ve 74 hektarında yüksek derecede meydana gelmiştir (Şekil 15).



Şekil 15. Düşük yangın şiddeti sınıfının alandaki dağılımı

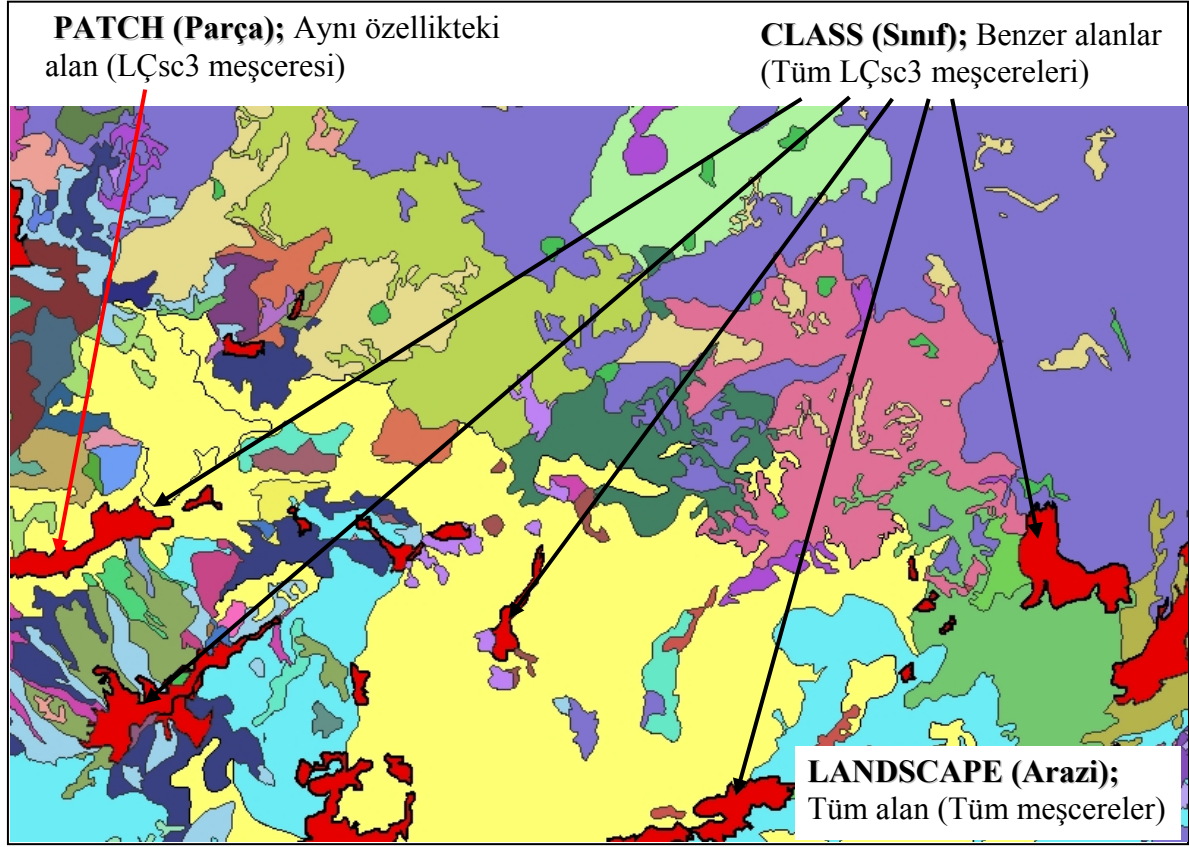
Şekiller topluca incelendiğinde, yangın şiddetinin yüksek olduğu alanlar, orta ve yüksek boylu-kapalı makilik alanlar olup, bu alanlara yapılacak müdahalede söndürme araç ve gereçleri çok iyi seçilmelidir. Ayrıca, koruma çalışmaları bu alanlarda yoğunlaştırılmalıdır.

4.2.3. Konumsal Analiz

Konumsal analiz; konumsal verilerin mevcut formlarının belirli bir amaca yönelik başka bir forma dönüştürerek yeni bir veri setinin oluşturulmasıdır. Kısaca konumsal analiz, ham veriyi yararlı bilgiye çeviren işlemdir (Longley, 2001). Bu çalışmada maki tipi yanıcı maddelerde yayılma oranını konumsal olarak ortaya koymak amacıyla FragstatTM programı kullanılmış olup orman parçası (patch), arazi (landscape) ve sınıf (class) bazında analizler yapılmıştır (McGarigal, 1994) (Tablo 9). Şekil 17’de gösterildiği üzere, tek bir LÇsc3 meşceresi bir Orman Parçasını (Patch) ifade etmekte, Arazideki tüm LÇsc3 meşcereleri sınıfı (class) ifade etmekte, alandaki tüm meşcereler ise Araziyi (Landscape) ifade etmektedir.

Tablo 9. Çalışmada kullanılan konumsal analiz ölçütleri

Ölçek	Kısaltma	Açıklama
Class	CA	Sınıf alanı (ha)
Class	PCLAND	Sınıf alan yüzdesi (%)
Class/landscape	LPI	En büyük parça oranı (%)
Class/landscape	NP	Parça sayısı (#)
Class/landscape	MPS	Ortalama parça büyüklüğü (ha)
Class/landscape	AWMSI	Alan ağırlıklı ortalama şekil katsayısı



Şekil 16. Konumsal objelerin ölçeklendirilerek sınıflandırılması (Kadioğulları ve Başkent, 2006)

Korudağ Planlama Biriminin, 2002 yılı orman amenajmanı planı altlık olarak kullanılarak, maki tipi yanıcı maddelerde yangın davranışı özelliklerinden sadece yangın yayılma oranı konumsal olarak analiz edilmiştir. Buna göre, arazi kullanım sınıflarının sınıf alanı (CA) değerlerinin yayılma gruplarına göre değişimi Tablo 10'da verilmiştir.

Tablo 10 . Maki Tipi yanıcı maddelerde yangın yayılma oranının konumsal analizi (Şekil 13'ün analiz sonuçları)

	Yangın Yayılma Oranı					
	Düşük	Orta	Yüksek	Makilik	Açıklık	Ekosistem
Sınıf (alan) ha	488,9	897,9	102,6	1489,4	683,3	18506,0
Parça Sayısı (#)	425	192	271	888	645	9753
Ortalama parça büyüklüğü (ha)	1,2	4,7	0,4	1,7	10,36	1,90
Sınıf alan yüzdesi (%)	32,8	60,3	6,9	8,4	36,11	100,00
En büyük parça oranı (%)	3,6	22,3	0,5	22,3	18,96	18,96
Alan ağırlıklı ortalama şekil katsayısı	2,3	7,8	1,8	5,5	7,30	11,13

Elde edilen konumsal analiz sonucu değerlendirildiğinde ve arazi sınıfı alanına (CA: 897,9) bakıldığında, makilik alanlarda yayılma oranının orta yayılma oranı grubunda yoğunlaştığı ve buna bağlı olarak, ortalama parça alanının (MPS:4,7) arttığı ve en büyük parça indeksi (LPI:22.3) değerinin çok fazla oranda arttığı, alan ağırlıklı ortalama şekil indeksi (AWMSI:7.8) değerinin ise yine arttığı belirlenmiştir. Orta yayılma oranı özellikteki alanların parça sayısının (NP: 192) az olduğu ancak, ortalama parça büyüklüğüne (MPS: 4,7) bakıldığında büyük parçalar halinde alanda dağıldığı görülmektedir. Bu durum yangınlar açısından değerlendirildiğinde, bu alanların orta düzeyde yangın tehlikesi taşıdığını söylemek mümkündür. Diğer yandan zaman içinde, vejetasyon gelişimi ile artacak olan yanıcı madde miktarı sayesinde bu alanlarda yangın tehlikesinin artacağı ve kızılçam alanlarıyla bitişik durumda olması nedeniyle, daha büyük tehlike arz edeceği gözden kaçırılmamalıdır.

Tablo 10'a göre LPI, MPS değerlerinin, orta yayılma oranı için artması ve bunun yanında NP, AWMSI değerlerinin de artması alanda parçalılığın (fragmentation) az olduğu ve ormanın daha düzenli ve monoton bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir (Tablo 10). Bu durum, Korudağ Planlama Birimi ormanlık alanının çoğunluğunu oluşturan Kızılçam ağaçlandırma sahalarının kendi içerisinde bütünlük arz etmesi ve makilik alanlardaki monoton yapının tüm alanda hakim olmasından kaynaklanmaktadır. Bu durum yangın tehlikesi bakımından arzu edilmeyen ve yangınla mücadeleyi zorlaştıran bir durumdur. Diğer yandan, yangın davranışında çok önemli bir parametre olan 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. Bu nedenle, yanıcı madde sürekliliği açısından bütünlük arzeden ve tekdüze bir yapıya sahip Korudağ Planlama Birimi, yangın tehlikesi açısından büyük bir potansiyele sahiptir.

5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Farklı eğim grubu ve nem koşullarında maki tipi yanıcı maddelerde yangın davranışının belirlenmesi ve coğrafi bilgi sistemleri kullanılarak haritalanması için yapılan bu çalışmada, öncelikli olarak yanıcı madde özellikleri ile yanıcı madde miktarları arasındaki ilişkiler araştırılmıştır. Yapılan regresyon analizleri sonucunda yanıcı madde özelliklerinden kapalılık ve boya bağlı olarak yanıcı madde miktarlarının tahmin edilmesinde kullanılabilecek modeller geliştirilmiştir. Geliştirilen bu modellerle deneme yangınlarının yapıldığı parsellerin yanıcı madde miktarları tahmin edilmiştir. Deneme yangınlarında, yanıcı madde özellikleri, arazi eğimi ve hava halleri ile yangın davranışı arasındaki ilişkiler araştırılmıştır. Sonuçta yangın davranış özelliklerinin yanıcı madde özellikleri, eğim ve hava hallerine bağlı olarak tahmin edilmesinde kullanılabilecek regresyon modelleri geliştirilmiştir.

Çalışmada ölçülen yayılma oranı değerleri ile rüzgar hızı, ölü yanıcı maddelerin nem içerikleri ve bağıl nem arasında kuvvetli ilişkiler ortaya çıkmıştır. Yapılan regresyon analizleri sonucunda yayılma oranını tahmin etmek için, rüzgar hızı, bağıl nem, ölü yanıcı madde nem içeriği, eğim ve sıcaklığı kullanan regresyon modeli geliştirilmiştir. Yangın davranışı üzerinde en etkili bağımsız değişkenin rüzgar olduğu bir çok çalışmayla ortaya konulmuştur (e.g. Rothermel, 1972; Catchpole vd., 1998; Fernandes, 2001; Bilgili ve Sağlam; 2003; Mendes-Lopes vd., 2003; Viegas, 2004; Weise vd., 2005; Savadogo vd., 2007). Bu çalışmada da rüzgar hızının yayılma oranı üzerinde en etkili faktör olduğu ve yayılma oranını artırdığı, bunu yanında bağıl nemin yanıcı maddelerin nem içeriklerini artırmasından dolayı yayılma oranı üzerinde negatif etkisinin olduğu ortaya konulmuştur.

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. Bir çok yazar (e.g. Wilson, 1990; Catchpole vd. 1998) ölü yanıcı maddelerin nem içeriklerindeki artışın yayılma oranında azalmaya neden olduğunu vurgulamışlardır. Bu çalışma sonuçlarında ölü yanıcı maddelerin nem içerikleri ile yayılma oranı arasında da benzer bir ilişki ortaya çıkmıştır (Şekil 6). Yapılan korelasyon analizinde de ölü yanıcı maddelerin nem içerikleri ile yayılma oranı, yanıcı madde tüketimi ve yangın şiddeti arasında anlamlı bir ilişki ($r=-0.551$, $P<0.01$; $r=-0.351$, $P<0.01$; $r=-0.543$, $P<0.01$) olduğundan böyle bir etkinin varlığı ortaya

konulmuştur. Bir çok çalışmada belirtildiği gibi (Trabaud, 1979; Catchpole vd., 1998, Vega vd., 1998) bu çalışmada da yanıcı madde ortalama boyu ile yayılma oranı arasında da anlamlı bir ilişki ortaya çıkmıştır. Fernandes (2001), canlı yanıcı maddelerin toplam yanıcı maddelerin önemli bir kısmını oluşturması durumunda, ölü yanıcı maddelerin tüm nem içeriği üz erine olan etkisinin sınırlı olacağını ve dolayısıyla yayılma oranı üzerinde desınırlı bir etkisinin beklenmesi gerektiğini ifade etmektedir. Bu çalışmada, deneme yangınlarından önce yanıcı madde miktarlarının belirlenmesi için yapılan örneklemelerde ölçülen veriler dikkate alındığında, canlı yanıcı maddeler toplam yanını maddelerin %93'ünü oluşturmasına rağmen ölü yanıcı madde nem içeriğinin yayılma oranı üzerinde etkili olduğu ortaya çıkmıştır. Bu durum çalışma yapılan alanın oldukça homojen bir yapıda olmasından kaynaklanmaktadır. Yanıcı maddedeki heterojenlik ölü yanıcı madde nem içeriklerinin yayılma oranı üzerine olan etkilerinin gözlenebilmesini kısıtlamaktadır.

Eğimin yangının yayılması üzerine olan etkisi oldukça önemlidir. Özellikle, topografyanın küçük alanlarda bile büyük değişiklikler gösterdiği dikkate alındığında eğimin yangın davranışı üzerine olan etkisinin önemi artmaktadır. Bu etkiyi ortaya koymak için ormanlık alanlarla ilgili geliştirilmiş birtakım eğim düzeltme faktörleri vardır ve uygulamada bunlardan faydalanılmaktadır (Noble vd., 1980; Forestry Canada, 1992). Fakat bu faktörler, maki gibi çalılık alanlardaki yayılma oranını olduğundan fazla tahmin etmektedir (Catchpole vd., 1998; Fernandes, 2001). Bundan başka son yıllarda eğimin yangın davranışı üzerine olan etkileri laboratuvar şartlarında çalışılmıştır ve eğimin yayılma oranı üzerinde etkili olduğu ortaya konulmuştur (McAlpine vd., 1991; Weise, 1993; Dupuy, 1995; Weise ve Biging, 1996; Weise ve Biging, 1997; Viegas, 2002; . Viegas, 2004a; Viegas, 2004b). Burada yapılan çalışmayla eğimin etkisi arazi şartlarında araştırılmış ve yayılma oranı, yanıcı madde tüketimi ve yangın şiddeti üzerinde etkisi ortaya konulmuştur. Ancak, bu çalışmanın sınırları %27'lik bir eğime kadardır ve bunun üzerindeki eğimli alanlarda burada geliştirilen modeller kullanılamazlar. Burada geliştirilen modellerin güvenilirliklerinin artırılabilmesi için eğim açısından daha geniş bir aralığa sahip benzer yapılardaki diğer alanlarda da bu çalışmaların yapılması gerekmektedir.

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. Yanıcı madde tüketiminin tahmin edilmesinde toplam yanıcı madde miktarının yanında bağıl nem ve sıcaklık da regresyon

modeline girmektedir. Fakat yanıcı madde tüketiminin tahmin edilmesinde en doğru sonucu, toplam yanıcı madde miktarı, bağıl nem, sıcaklık ve eğime bağlı olarak geliştirilen model vermektedir.

Yangın şiddeti ile rüzgar hızı ve yanıcı madde özellikleri ve eğim arasındaki ilişkiler ortaya konulmuştur. Yangın şiddetini tahmin etmek için, rüzgar hızı, toplam yanıcı madde miktarı, bağıl nem, eğim, sıcaklık ve ölü yanıcı madde neminin birlikte kullanıldığı model en kuvvetli ilişkiyi ortaya koymuştur.

Yangın davranışının ortaya konulabilmesi için, yangın davranışı üzerinde etkili olan yayılma oranı, yanıcı madde tüketimi ve yangın şiddetinin değişen şartlar altında ne şekilde ortaya çıkacağının tahmin edilebilmesi için regresyon modelleri geliştirilmiştir. Yangın davranışının belirlenmesinde rüzgar hızı, bağıl nem, ölü yanıcı madde nem içeriği, toplam yanıcı madde miktarı ve eğimin çok önemli etkisinin olduğu ortaya çıkmıştır. Dolayısıyla, yangınla mücadele çalışmalarında bu özellikler 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 soğutma 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 ve eğim düzeyi açısından 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.

Burada elde edilen sonuçlar ışığında hazırlanan örnek çalışmayla, 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 yanıcı madde tiplerinden biri olan maki tipi yanıcı maddelere ait, farklı hava hallerinde yangın davranış özellikleri belirlenmiş ve bunun yanı sıra eğimin yangın davranışı üzerindeki etkisi modellenmiştir. Sonuç olarak, farklı eğitim gruplarında maki tipi yanıcı maddelerde yangın davranışı konumsal analizi FRAGSTATS™ ve CBS yardımıyla değerlendirilerek yangınla mücadele çalışmalarında alternatif çözüm önerileri ortaya konulmuştur.

Bu çalışmayla ortaya konulan farklı eğitim grubu ve nem koşullarında maki tipi yanıcı maddelerdeki yangın davranışı, yangın tehlike oranları sisteminin ana bölümlerinden biri olan yangın davranışı tahmin sistemine önemli katkılar yapacaktır. Bu tür çalışmaların, yangına duyarlı bütün yanıcı madde tiplerine genişletilerek yapılması, geliştirilecek yangın tehlike oranları sistemi için bir ihtiyaçtır.

6. REFERANSLAR

- Andersen, H.E., McGaughey, R.J., Reutebuch, S.E. 2005. Estimating forest canopy fuel parameters using LIDAR data, *Remote Sensing of Environment* 94 (2005) 441–449.
- Albini, F. A. 1976. Estimating Wildfire Behavior And Effects. Gen. Tech. Rep. INT-30. Ogden, Utah: Intermountain Forest and Range Experiment Station, U.S. Department of Agriculture, Forest Service.
- 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.
- 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: 22, pp
- Andrews, P.L. ve Bradshaw, L.S., 1996. Interpration of the National Fire Danger Rating System for Yellowstone National Park, Ecological Implication of Fire in Greater Yellowstone, IAWF, USDA.
- 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
- Anonim, Çanakkale Ormanlarının Ekolojik Özellikleri ve Yangınlar, Orman Mühendisliği Dergisi, Sayı:3,4,5,6, Ankara. (1994).
- Aslan, Z., Sağlam, B., 1995, Orman Yangınları ve Meteorolojik Parametreler Arasındaki İlişkiler, I. Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi, Bildiriler Kitabı, Trabzon.
- Beaza, M.J., M. De Luis, J. Raventós and A. Escarré. 2002. Factors influencing fire behaviour in shrublands of different stand ages and the implications for using prescribed burning to reduce wildfire risk. *Journal of Environ. Manag.* 65: 199-208.
- 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*, 21(5):493-506.
- Bilgili, 2000, Orman Yangınları Tehlike Oranları Sistemine Doğru, T.C. Orman Bakanlığı Teknik Bülten, 1, 1, 13-14, Ankara.
- Bilgili, E. and Saglam B. 2003. Fire behavior in maquis fuels in Turkey. *Forest Ecology and Management* 184/1-3 pp. 201-207.
- Bilgili, E., 1995, Kanada Orman Yangınları Tehlike Oranı Sistemi ve Türkiye'de Uygulanabilme İmkânları, Orman Yangınlarının Önlenmesi ve Mücadelesi Semineri, Orman Bölge Müdürlüğü, İstanbul.
- Bilgili, E., 1996, Orman Yangınları ve Karar Vermede Yardımcı Sistemler, Güz yarıyılı Seminerleri, KTÜ Orman Fakültesi, Seminer Serisi No:1, Trabzon.
- Bilgili, E. 1998, 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, 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 CBS, KSÜ Fen ve Mühendislik Dergisi, 4, 2, 288-97.
- Burgan, R.E., 1979. Fire Danger/Fire Behavior Computation With the Texas Instrument TI-59 Calculator: User Manual. U.S. For. Serv. Gen. Tech. Report INT-61, 25.
- 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.
- Catchpole, W., Bradstock, R., Choate, J., Fogarty, L., Gellie, N., McCarty, G, McCaw, L., Marsden-Smedley, J.ve 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.
- Hodgson, A., 1968. Control Burning in Eucalypt Forests in Victoria, Australia, Journal of For. 66 (8), 601-605.
- Chandler, C., Cheney, P., Thomas, P., Trabaud, L.ve Williams, D., 1991. Fire in Forestry, Volume:1, Chapter 2, 31-54, U.S.A.
- Countryman, C. M., 1971, This Humidity Business, U.S. For. Serv. Pasific Southwest Forest and Range Exp. Sta., Berkeley, Cal., Unnumbered Report.
- 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.
- Çanakkale Orman Bölge Müdürlüğü (ÇOBM), Amenajman Dairesi Başkanlığı, 2004, Çanakkale.
- Davis, K.P., 1973. Forest Fuels, In: Forest Fire: Control and Use. McGraw-Hill.
- De Luis M., Baeza MJ., Raventos J., Gonzales-Hidalgo JC., 2004, Fuel Characteristics and Fire Behavior in Mediterranean Gorse Shrublands, International Journal of Wildland Fire 13, 79-87.
- 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.
- Dupuy, J.L., 1995. Slope and fuel load effects on fire behavior: laboratory experiments in pine needles fuel beds, Int. J. Wildland Fire 5, 153-164.
- Engstrom JD., Butler JK., Baxter LL., Fletcher TH., Weise DR., 2004, Ignition Behavior of Live California Chaparral Leaves, Combustion Science and Technology 176, 1577-1591.
- Environment Canada, 1984. User Guide to the Canadian Forest Fire Behavior Prediction System (Interim Edition), Canadian Forestry Service, 75
- ESRI, 1996. Arc/View, Esri Press, Redlands California, ABD.
- ESRI, 1993. Understanding GIS The ARC/INFO Method, Esri Press, Redlands CA., ABD.
- Fernandes, P.A.M., 2001. Fire spread prediction in shrub fuels in Portugal. Forest Ecology and Management, 144, 67-74.

- 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. ve C.E., Hardy 1976. Fire-Weather Observes Handbook. U.S. For. Serv. Agric. Handbook No. 494.
- Forestry Canada, 1992, Development and Structure of the Canadian Forest Fire Behavior Prediction System, Forestry Canada, Fire Danger Group, Inf. Rep., St-X-3.
- Gambiza, J., B.M. Campell, S.R. Moe and P.G.H. Frost. 2005. Fire Behaviour in semi-arid *Baikiaea plurijuga* savanna woodland on Kalahari sands in western Zimbabwe. S. Afr. J. Sci. 101: 239-244.
- 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.
- Green LR., 1981, Burning by Prescription in Chaparral , USDA Forest Service General Technical Report PSW-51.
- 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., Spec. Rep. 7, Edmonton, Alberta.
- Keane, R.E., Burgan R., Van ve Wagtendonk, J., 2001. Mapping Wildland Fuels for Fire Management Across Multiple Scales: Integrating Remote Sensing, GIS, and Biophysical Modeling, International Journal of Wildland Fire 10, 301-319.
- 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.
- Kadioğulları A. İ., Başkent, E. Z., 2006, Orman Kaynaklarındaki Zamansal Değişimin Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Uzaktan Algılama Teknikleri Yardımıyla Konumsal Olarak İrdelenmesi: İnayet ve Yenice Örneği, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Dergisi, Volume 10-3, 378-390
- Küçük, Ö., 2004 "Yanıcı Madde Özellikleri ve Yangın Davranışına Bağlı Yangın Potansiyelinin Belirlenmesi ve Haritalanması", KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Trabzon.
- Kucuk, O., B. Saglam. and E. Bilgili. 2007. Canopy fuel characteristics and fuel load in young black pine trees. Biotechnology and Biotechnological Equipment 21(2): 235-240.
- 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. ve 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., Md. SAF Public. 85-04, 6-16, Bethesda.
- Lindenmuth, A.W. and J.R. Davis. 1973. Predicting fire spread in Arizona oak Chaparral. RM-101, USDA, Forest Service.
- Longley, P.A., Goodchild, M.F., Maguire, D.J ve Rhind D.W., 2001. Geographic Information Systems and Science, Bath Press, London.
- Marsden-Smedley JB., Catchpole WR, Pyrke, A., 2001, Fire Modelling in Tasmanian Buttongrass Moorlands, IV. Sustaining Versus Nonsustaining Fires. International Journal of Wildland Fire 10, 255-262.
- Martin, R.E., D.W. Frewing and J.L. McClanahan. 1981. Average biomass of four northwest shrubs by fuel size class and crown cover. Pacific Northwest Forest and Range Service Experiment Station, USDA Forest Service, Research Note, PNW-374, 6 pp.
- Mcalpine, R.S., B.D. Lawson, and E. Taylor. 1991. Fire spread across a slope. P. 218-225 in Proc. of 11th Conf. on Fire and forest meteorology, Andrews, P.L., and D.F. Potts (eds.). Soc. Am. For. Publ. 91-04. Bethesda, MD. 616 p.
- McArthur, A. G. 1977, Grassland Fire Danger Meter Mk 5. Country Fire Authority of Victoria,

Melbourne.

- 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, Commonwealth of Australia, Forestry and Timber Bureau, Leaflet.
- McCaw WL., 1997, Predicting Fire Spread in Western Australian Malleeheath Shrubland, PhD Thesis, University of New South Wales, Canberra.
- McGarigal, K., ve Marks, B.J. 1994. Fragstats. Spatial Pattern Analysis Program For Quantifying Landscape Structure. Version 2.0. Corvallis: Forest Science Department, Oregon State University.
- McRae, D. J., 1985, Prescribed Burning of Boreal Mixedwood Slash in the Ontario Clay Belt Region, Can. For. Serv. Inf. Rep. O-X-367.
- Mendes-Lopes, J.M.C., Ventura, J.M.P., Amaral, J.M.P., 2003. Flame characteristics, temperature-time curves, and rate of spread in fires propagating in a bed of Pinus pinaster needles, Int. J. Wildland Fire 12, 67-84.eds. A.N. Anderson, G.D., Cook and R.J. Williams. pp. 33-46, Springer-Verlag, New York.
- 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.
- Morvan D., Dupuy JL., 2004, Modelling the Propagation of a Wildfire Through a Mediterranean Shrub Using a Multiphase Formulation, Combustion and Flame 138,199-210.
- Neyişçi, T., 1986: Antalya Doyran Yöresi Kızıl çam Ormanlarında Yangınların Tarihsel Etkileri. Ormancılık Araştırma Enstitüsü Teknik Raporlar serisi 29, Ankara. 5. 65-91
- Neyişçi, T., Şirin, G. ve Sarıbaşak, H., 2002. Batı Akdeniz Bölgesi'nde Orman Yangını Tehlikesinin Düşürülmesinde Denetimli Yakma Tekniğinin Uygulama Olanakları, TÜBİTAK Projesi, Proje No:TARP-2170, Türkiye Ormancılar Derneği Yayını, Yayın No:2, Ankara.
- 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, 2004, Orman Yangınları ile Mücadele Faaliyetleri Değerlendirme Raporu, T.C. Orman Bakanlığı, Orman Genel Müdürlüğü, Ankara.
- 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.
- Özdemir, T., 1977. Antalya Bölgesinde Kızılçam (Pinus brutia Ten.) Ormanlarının Tabii Gençleştirme Olanakları Üzerine Araştırmalar, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, A 27-2, 239-293.
- 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, D.C.,349, Washington.

- 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., 2002. Meteorolojik Faktörlere Bağlı Yanıcı Madde Nem İçerikleri ve Maki Tipi Yanıcı Maddelerde Yangın Davranışı, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi (Yayınlanmamış), Trabzon,
- Sağlam, B., Aslan, Z., 1997, Prediction of Forest Fires, XI. World Forestry Congress, Antalya, Türkiye.
- Sando, R. W., Haines, D. A., 1972, Fire Weather and Behavior at the Little Sioux Fire, USDA For. Serv. Res. Pap. NC-76.
- Santoni, P.A., Simeoni, A., Rossi, J.L., Bosseur, F., Morandini, F., Silvani, X., Balbi, J.H., Cancellieri, D. and L. Rossi. 2006. Instrumentation of wildland fire: Characterisation of a fire spreading through a Mediterranean shrub. Fire Safety Journal. 41, 2006, 171-184.
- Savadogo, P., Zida, D., Savadogo, L., Tiveau, D., Tigabu, M. and P.C. Oden. 2007. Fuel and fire characteristics in savanna-woodland of West Africa in relation to grazing and dominant grass type. Int., Journal of Wildland Fire, 16, 531-539.
- Schroeder, M.J. ve C.C., Buck 1970. Fire Weather A Guide for Application of Meteorological Information to Forest Fire Control Operations. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Idaho
- 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.
- Stocks, B. J., 1975, The 1974 Wildfire Situation in Northwestern Ontario, Can. For. Serv. Inf. Rep. O-X-232.
- 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., 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., 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., Flannigan, M.D., 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. (1987).
- 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.
- 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.
- Şengönül, K., 1984. Marmara Bölgesi Armutlu Yarımadası Koşullarında Güç Islanan Toprakların Oluşumu Üzerinde Etkili Olan Faktörler, İstanbul Üniversitesi, Orman

Fakültesi Yayınları.

- SPSS, 2001. SPSS for Windows: Advanced statistics Release 11.0 SPSS
- Trabaud, L., 1979. Etude du comportement du feu dans la garrique de chêne kermes à partir des températures et des vitesses de propagation. *Ann. Sci. For.* 36, 13-38.
- Turner, J.A., Lawson, B.D., 1978. Weather in the Canadian Forest fire Danger Rating System, Environment Canada Forestry Service, Pac. For. Res. Cent., Victoria, British Columbia, Inf. Rep. BC-X-177.
- 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.
- USDA, 1964. Handbook on National Fire-Danger Rating System, USDA For. Serv. Handb. FSH 5109.11, Washington, D.C.
- Van Wagner, C. E., 1968, Fire Behavior Mechanisms in A Red Pine Plantation, Can. Dep. For. Rural Dev. For. Br. Ottawa , Ont., Publ. No. 1229.
- Van Wagner, C.E. Effect of Slope on Fire Spread Rate, Environ. Can., Can. For. Serv., Bi-Mon.Res. Notes 33:7-8. (1977).
- Viegas, D.X., 2002. Fire line rotation as a mechanism for fire spread on a uniform slope, *Int. J. Wildland Fire*, 11(1), 11-23. doi:10.1071/WF01049.
- Viegas, D.X., 2004a. Slope and wind effects on fire propagation, *Int. J. Wildland Fire* 13, 143-156.
- Viegas, D.X., 2004b, On the existence of a steady-state regime for slope and wind driven fire. *International Journal of Wildland Fire* 11(1), 11-23. doi:10.1071/WF01049
- Viegas, D.X., 2005. A mathematical model for forest fires blowup *Combustion Science and Technology*, 177 (1): 27-51.
- Wilson, R.A., JR. 1990. Reexamination of Rothermel's fire spread equations in no-wind and no-slope conditions. USDA For. Serv. Res. Pap. INT-434. 13 p
- 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.
- Weise DR., Zhou X., Sun L., Mahalingam S., 2005, Fire spread in chaparral-'go or no-go?', *International Journal of Wildland Fire*, 14, 99-106.
- Weise, DR., Biging GS., 1997, A Qualitative Comparison of Fire Spread Models Incorporating Wind and Slope Effects, *Forest Science* 43, 170-180.
- Weise, D.R. and Biging GS, 1996, Effects of wind velocity and slope on flame properties. *Canadian Journal of Forest Research* 26, 1849-1858.
- Weise, D.R., 1993. Modeling wind and slope induced wildland fire behavior. Ph.D. dissertation, University of California, 130 pp.
- Williams, D.E., 1963, Forest Fire Danger Manual. Dept. of Forestry, Canada.
- Wilson, R.A., JR. 1990. Reexamination of Rothermel's fire spread equations in no-wind and no-slope conditions. USDA For. Serv. Res. Pap. INT-434. 13 p.
- Yomralıoğlu, T., Acar, H.H., Bilgili, E., Gümüş, S., Coğrafi Bilgi Sistemleri İle Orman Yangın Emniyet Yol ve Şeritlerinin Planlanması, Araştırma Fonu Projesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Proje Kod No: 99.112.006.1, Trabzon. (2002).
- Zhou X, Weise DR., Mahalingam S., 2005, Experimental Measurements and Numerical Modelling of Marginal Burning in Live Chaparral Fuel Beds, *Proceedings of the Combustion Institute* 30, 2287-2294.
- Zhou, X., S. Mahalingam and D. Weise. 2007. Experimental study and large eddy simulation of effect of terrain slope on marginal burning in shrub fuel beds. *P. Combust. Inst.* 31: 2547-2555.

PROJE ÖZET BİLGİ FORMU

Proje Kodu: 1050523
Proje Başlığı: Farklı eğim grubu ve nem koşullarında maki tipi yanıcı maddelerde yangın davranışının belirlenmesi ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanılarak Haritalanması
Proje Yürütücüsü ve Yardımcı Araştırmacılar: Bülent SAĞLAM, Ertuğrul BİLGİLİ, Ömer KÜÇÜK, Bahar Dinç DURMAZ, Hacı Ahmet YOLASIĞMAZ, Turan SÖNMEZ, Erol AKKUZU, İsmail BAYSAL, Tuncay IŞIK
Projenin Yürütüldüğü Kuruluş ve Adresi: Artvin Çoruh Üniversitesi, Orman Fakültesi, 08000, Artvin
Destekleyen Kuruluş(ların) Adı ve Adresi: Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK), Kavaklıdere, Ankara.
Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri: 01.05.2006-01.05.2008
Öz (en çok 70 kelime) Yapılan bu çalışmayla öncelikle homojen yapıdaki maki tipi yanıcı maddelerde yanıcı madde modelleri oluşturulmuş ve bu modellere göre yanıcı madde miktarları tahmin edilen parsellerde deneme yangınları yapılmıştır. Böylece farklı eğim grubu ve nem koşullarında maki tipi yanıcı maddelerde yangın davranışı belirlenmiştir. Yangınlar farklı nem koşullarını yakalamak için değişik zamanlarda farklı eğim gruplarında ve değişik nem şartlarında gerçekleştirilmiştir. Burada belirlenen yangın davranış özellikleri Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanılarak sayısal haritalara aktarılmış ve elde edilen verilerle, konumsal veri analizi programı FRAGSTATS™ kullanılarak konumsal analiz yapılmıştır.
Anahtar Kelimeler: Yangın, yanıcı madde, yangın davranışı, eğim, maki, Türkiye
Projeden Kaynaklanan Yayınlar: 1. Sağlam, B., Bilgili E., Küçük Ö., Dinç Durmaz B., Baysal, İ., 2008. Estimating Fuel Biomass of Some Shrub Species (Maquis) in Turkey, Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 32, 4, 349-356 2. Sağlam, B., Bilgili, E., Kuçuk, O., Dinc Durmaz, B., Baysal, I., 2007. Preliminary Results of Fire Behavior in Maquis Fuels Under Varying Weather and Slope Conditions in Turkey, In: Butler, Bret W.; Cook, Wayne, comps. 2007. The fire environment—innovations, management, and policy; conference proceedings. 26-30 March 2007; Destin, FL. Proceedings RMRS-P-46CD. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 662 p. CD-ROM.
Bilim Dalı: Orman Mühendisliği
Doçentlik B. Dalı Kodu: 1205