

T.C.
KASTAMONU ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ORMAN MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI



**KIZILÇAM VE KARAÇAM MEŞCERELERİNDE HAVA
HALLERİNE BAĞLI OLARAK ÖLÜ VE CANLI YANICI
MADDE NEM İÇERİĞİNİN BELİRLENMESİ**

EKREM ŞİMŞEK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

PROF. DR. ÖMER KÜÇÜK

EKİM - 2022
KASTAMONU

TEZ ONAYI

Ekrem ŞİMŞEK tarafından hazırlanan “**KIZILÇAM VE KARAÇAM MEŞCERELERİNDE HAVA HALLERİNE BAĞLI OLARAK ÖLÜ VE CANLI YANICI MADDE NEM İÇERİĞİNİN BELİRLENMESİ**” adlı tez çalışmasının savunma sınavı **03.10.2019** tarihinde yapılmıő olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Orman Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Danışman	Prof. Dr. Ömer KÜÇÜK Kastamonu Üniversitesi
Jüri Üyesi	Doç. Dr. Mertol ERTUĞRUL Bartın Üniversitesi
Jüri Üyesi	Doç. Dr. Gonca Ece ÖZCAN Kastamonu Üniversitesi

Jüri üyeleri tarafından kabul edilmiştir olan bu tez Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca onanmıőtir.

Enstitü Müdürü V. Doç. Dr. Osman ÇİÇEK

TAAHHÜTNAME

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu; ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını, bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini bildirir ve taahhüt ederim.

Ekrem ŞİMŞEK

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KIZILÇAM VE KARAÇAM MEŞCERELERİNDE HAVA HALLERİNE BAĞLI OLARAK ÖLÜ VE CANLI YANICI MADDE NEM İÇERİĞİNİN BELİRLENMESİ

EKREM ŞİMŞEK

KASTAMONU ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ORMAN MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI
DANIŞMAN: PROF. DR. ÖMER KÜÇÜK

Orman ölü örtü tabakası içerisinde bulunan nem, tutuşma ile doğrudan ilgilidir. Ölü örtüde çeşitli boyutlarda bulunan yanıcı maddeler içerisindeki nem miktarının gün içerisinde nasıl bir değişim gösterdiğinin belirlenmesi, yangın potansiyelinin ortaya konulması açısından son derece önemlidir. Bugüne kadar yapılan çalışmaların çoğu ölü örtüdeki yanıcı madde nem içeriklerinin belirlenmesi ile ilgili olup, canlı yanıcı madde nem içeriğinin belirlenmesi ile ilgili uluslararası çalışma ise yok denecek kadar azdır. Bu yönüyle bu çalışma, ülkemiz için ilk olma özelliğini taşımaktadır. Bu çalışma, Kastamonu Orman Bölge Müdürlüğü, Karadere Orman İşletme Müdürlüğü ile İstanbul Orman Bölge Müdürlüğü Kanlıca Orman İşletme Müdürlüğündeki karaçam ve kızılçam ormanlarında gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmanın amacı, orman yangınlarının başladığı ölü örtüdeki nem değişiminin hava hallerine bağlı olarak nasıl değiştiğinin belirlenmesidir. Diğer bir ifade ile hava hallerine bağlı olarak ölü örtü ve ağaçların tepe kısmında bulunan yanıcı maddelerdeki nem içeriğinin modellenmesidir. Kızılçam ve karaçam meşcerelerinin ölü örtü (ibre, 0-0,6 cm, 0,6-2,5 cm çaplarındaki materyaller) ve humus tabakasından örnekler ile ağaçların tepe taç kısmından (canlı ibre, sürgün, 0-0,3 cm ve 0,3-0,6 cm çaplı ince dallar) örnekler gün içerisinde 13:00-14:00 saatleri arasında alınmıştır. Nem içeriklerinin ölçülmesi için yanıcı madde örnekleri rastgele alınmıştır. Arazide örneklerin alınması sırasında meteorolojik veriler, araziye kurulan mobil meteorolojik (nisbi nem, sıcaklık, rüzgar) istasyonundan elde edilmiştir. Çalışma alanından alınacak örnekler yaş olarak arazide tartılarak, daha sonra fırın kurusu ağırlıkları belirlenmek üzere laboratuvara getirilmiştir. Örneklerin yaş ve kuru ağırlıkları değerlendirilerek nem içerikleri belirlenmiştir. Ölü ve canlı yanıcı madde nem içerikleri verileri ile meteorolojik veriler SPSS istatistik programında analiz edilmiştir. Yanıcı madde nem içerikleri ile meteorolojik veriler arasındaki ilişkileri belirlemek ve modeller geliştirmek için korelasyon ve regresyon analizleri yapılmıştır. Sonuçlar, Ülkemizde tüm yangın amenajman uygulamaları (örneğin kontrollü yangınların planlanması, yangın tehlike oranları, yangın potansiyeli ve yangın davranışının anlaşılması) için kullanışlı olabilir.

ANAHTAR KELİMELER: Ölü yanıcı madde, canlı yanıcı madde, yanıcı madde nem içeriği, hava halleri, kızılçam, karaçam

Ekim 2022, 55 Sayfa

ABSTRACT

MSC THESIS

DETERMINATION OF MOISTURE CONTENT OF THE DEAD LIVE FUEL DEPEND ON METEOROLOGICAL PARAMETERS IN CALABRIAN PINE AND ANATOLIAN BLACK PINE STANDS

EKREM ŞİMŞEK

**KASTAMONU UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE
DEPARTMENT OF FOREST ENGINEERING
SUPERVISOR:PROF. DR. ÖMER KÜÇÜK**

Moisture content of dead fine fuel is directly related to ignition. It is very important to determine how the amount of moisture in forest fuels in various sizes in the dead cover changes during the day, in terms of putting out the fire potential. Much of the work to date has been concerned with the determination of the moisture content of dead fuel, and the international study of the determination of the content of live fuel moisture is scarce. In this respect, this study is the first for our country. This study was carried out in Karacam and Kızılcım forests in Kastamonu Regional Directorate of Forestry, Karadere Forest Enterprise and İstanbul Regional Directorate of Forestry Kanlıca Forest Enterprise. The purpose of this study is to determine how the change of humidity in the dead bedding that forest fires begin to change due to weather conditions. In other words, it is the modeling of the moisture content in dead fuel at the top of the dead cover and trees depending on the weather conditions. Within the scope of this study, dead litter (0-0,6 cm, 0,6-2,5 cm diameter materials) and samples from humus layer and top of crown of trees (live needle, shoot, 0-0,3 cm and thin branches of 0,3-0,6 cm diameter) were taken between 13: 00-14: 00 hours during the day. Examples of fuels were taken randomly to measure moisture content. Meteorological data were obtained from the mobile meteorological station (relative humidity, temperature, wind). The samples to be taken from the study area were weighed in the field and then brought to the laboratory to determine the oven dry weight. Moisture contents were determined by evaluating the wet and dry weights of the samples. Meteorological data with dead and live fuel moisture content data were analyzed in the SPSS statistical program. Correlations and regression analyzes were carried out to determine the relationship between combustible fuel moisture content and meteorological data and to develop models. The results may be useful for all fire management applications in our country (eg planning controlled fires, fire hazard rates, fire potential and understanding of fire behavior).

KEYWORDS:Dead fuel, live fuel, fuel moisture content, weather conditions, calabrian pine, Anatolian black pine

October 2022, 55 Page

TEŞEKKÜR

“Kızılcım (*Pinus brutia*) ve Karaçam (*Pinus nigra*) Meşcerelerinde Hava Hallerine Bağlı Olarak Ölü ve Canlı Yanıcı Madde Nem İeriğinin Belirlenmesi” isimli bu alıőma, Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıőtır. Çalışma boyunca destek ve yardımlarını esirgemeyen tez danıőmanım sayın hocam Prof. Dr. Ömer KÜÇÜK’e teőekkürü bir borç bilirim. Tezin düzenlenmesinde yardımcı olan Dr. Öğr. Üyesi Durmuş Ali ÇELİK ve Dr. Öğr. Üyesi Özkan EVCİN’e teşekkür ederim. Yine bu günlere gelmemde çok büyük emekleri olan, hayatım boyunca bana her türlü konuda destek veren çok sevgili aileme ve eőime teşekkür ederim. Bu çalışmanın orman yangınlarıyla ilgilenen herkese faydalı olması ve yapılacak yeni araőtırmalara katkı sağlaması en büyük dileğimdir.

EKREM ŞİMŞEK

Kastamonu, 2022

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
TEZ ONAYI	ii
TAAHHÜTNAME	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
TABLolar DİZİNİ	ix
FOTOĞRAFLAR DİZİNİ	x
HARİTALAR DİZİNİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL ÇERÇEVE	8
2.1 Yangın Tehlike Oranları Sistemleri ve Yapıları.....	8
2.1.1 Meteorolojik Yangın İndeksi (MYİ) Sistemi.....	10
2.1.1.1 İnce yanıcı madde nem kodu.....	11
2.1.1.2 Humus tabakası nem kodu	12
2.1.2 Yangın Davranışını Tahmin (YDT) Sistemi.....	13
2.2 Yanıcı Madde Nem İçeriği Üzerine Etki Eden Temel Faktörler.....	14
2.2.1 Sıcaklık	15
2.2.2 Rüzgar	15
2.2.3 Nisbi Nem	16
2.2.4 Yağış	16
3. MATERYAL VE YÖNTEM	20
3.1 Çalışma Alanının Tanıtımı	20
3.2 Nem İçeriğini Belirlemek İçin Örneklerin Alınması.....	25
3.3 Nem İçeriklerinin Belirlenmesi	27
3.4 Meteorolojik Ölçümler	28
3.5 Laboratuvar Ölçümleri	28
3.6 İstatistik analizler	30
4. BULGULAR	31
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	48
KAYNAKLAR	51
ÖZGEÇMİŞ	56

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1 Yangın tehlike oranları sisteminin yapısı ve bileşenleri	9
Şekil 2.2 Meteorolojik yangın indeksi sisteminin yapısı ve bileşenleri.....	10
Şekil 2.3 Yangın davranışı tahmin sisteminin yapısı	13
Şekil 4.1 Kızılcıçamda rüzgara bağlı olarak tahmin edilen ve ölçülen canlı sürgün nem içeriği arasındaki ilişki	36
Şekil 4.2 Kızılcıçamda sıcaklık ve rüzgara bağlı olarak tahmin edilen ve ölçülen canlı 3mm dal nem içeriği arasındaki ilişki	37
Şekil 4.3 Kızılcıçamda sıcaklık ve rüzgara bağlı olarak tahmin edilen ve ölçülen canlı 6mm dal nem içeriği arasındaki ilişki	37
Şekil 4.4 Kızılcıçamda sıcaklığa bağlı olarak tahmin edilen ve ölçülen ölü ibre nem içeriği arasındaki ilişki	38
Şekil 4.5 Kızılcıçamda sıcaklığa bağlı olarak tahmin edilen ve ölçülen ölü 6mm dal nem içeriği arasındaki ilişki	38
Şekil 4.6 Kızılcıçamda rüzgar ve sıcaklığa bağlı olarak tahmin edilen ve ölçülen humus nem içeriği arasındaki ilişki.....	39
Şekil 4.7 Karaçamda rüzgara bağlı olarak tahmin edilen ve ölçülen canlı ibre nem içeriği arasındaki ilişki	44
Şekil 4.8 Karaçamda rüzgara bağlı olarak tahmin edilen ve ölçülen canlı sürgün nem içeriği arasındaki ilişki	45
Şekil 4.9 Karaçamda sıcaklık ve rüzgara bağlı olarak tahmin edilen ve ölçülen ölü ibre nem içeriği arasındaki logaritmik ilişki	45
Şekil 4.10 Karaçamda rüzgar ve sıcaklığa bağlı olarak tahmin edilen ve ölçülen 6mm dal nem içeriği arasındaki ilişki	46
Şekil 4.11 Karaçamda rüzgar ve sıcaklığa bağlı olarak tahmin edilen ve ölçülen 25mm dal nem içeriği arasındaki ilişki	46
Şekil 4.12 Karaçamda rüzgar ve nisbi neme bağlı olarak tahmin edilen ve ölçülen humus nem içeriği arasındaki ilişki.....	47

TABLÖLAR DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 2.1 Bağıl nem ve yangın tehlikesi arasındaki ilişki	16
Tablo 4.1 Kızılçam meşçeresi yanıcı madde nem içeriği ve hava halleri veri özeti	32
Tablo 4.2 Kızılçam meşçeresi yanıcı madde nem içeriği ve hava halleri arasındaki ilişkiyi gösteren korelasyon tablosu.....	33
Tablo 4.3 Kızılçam meşçerelerinde yanıcı madde nem içeriklerini hava hallerine göre tahmin eden regresyon modelleri	35
Tablo 4.4 Karaçam meşçeresi yanıcı madde nem içeriği ve hava halleri veri özeti	41
Tablo 4.5 Karaçam meşçeresi yanıcı madde nem içeriği ve hava halleri arasındaki ilişkiyi gösteren korelasyon tablosu.....	41
Tablo 4.6 Karaçam meşçerelerinde yanıcı madde nem içeriklerini hava hallerine göre tahmin eden regresyon modelleri	43

FOTOĞRAFLAR DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Fotoğraf 3.1 Örneklerin alındığı alandan bir görünüm	22
Fotoğraf 3.2 YM ve humus nem örneklerinin alınarak naylon poşetlere yerleştirilmesi	26
Fotoğraf 3.3 Her arazi çalışması yapıldığı gün alınan 8 adet yanıcı madde örnekleri	27
Fotoğraf 3.4 Ölü yanıcı madde örnekleri ve humus tabakasından alınan örneklerin deneme alanı 30 cm × 30 cm	28
Fotoğraf 3.5 Alınan örneklerin kurutma fırınında kurutulması	29
Fotoğraf 3.6 Kurutulan örneklerin tartılması	29

HARİTALAR DİZİNİ

Sayfa

Harita 3.1 Çalışma alanının meşcere haritası üzerindeki konumu (Kadıdağı).....	21
Harita 3.2 Çalışma alanının uydu görünümü (Kadıdağı).....	21
Harita 3.3 Çalışma alanının meşcere haritası üzerindeki konumu (Kanlıca).....	23
Harita 3.4 Çalışma alanının uydu görünümü (Kanlıca)	23

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Kısaltmalar

BYİ	: Başlangıç Yayılma İndeksi
BYMİ	: Birikmiş Yanıcı Madde İndeksi
ÇİYM	: Çok İnce Yanıcı Madde (0,3 cm– 0,6 cm)
FKA	: Fırın Kurusu Ağırlığı
İYM	: İnce Yanıcı Madde (0 cm – 0,3 cm)
KDS	: Karar Destek Sistemi
NN	: Nisbi nem
OKYM	: Orta Kalınlıktaki Yanıcı Madde (0,6 cm – 2,5 cm)
UYTOS	: Ulusal Yangın Tehlike Oranı Sistemi
YDT	: Yangın Davranışını Tahmin
YİT	: Yangın İhtimalini Tahmin
YMNK	: Yanıcı Madde Nem Kodu
YSİ	: Yangın Şiddeti İndeksi
YTOS	: Yangın Tehlike Oranı Sistemi.....

1. GİRİŞ

Türkiye Akdeniz iklim kuşağında bulunması sebebiyle yaz aylarında yoğun bir yangın riski tehdidi bulundurmasından dolayı yıl içerisinde önemli bir oranda yangın görülmektedir. Orman yangınları milyonlarca liralık ekstra harcamaya ve orman ekosisteminde geriye dönülemez felakete yol açmaktadır (OGM, 2008). Başarılı bir şekilde orman yangınları ile savaşmak için o bölgedeki canlı yanıcı madde, ölü yanıcı madde ve humus tabakasının nem içerikleri belirlenerek hava hallerine bağlı nasıl bir değişim gösterdiği hakkında bilgi sahibi olmak gerekmektedir.

Ülkemiz ormanlık alanı 22,7 mil hadır. Türkiye'nin %29'unu oluşturur (OGM, 2019). Orman yangınları açısından I. ve II. derece yangın için hassas olan bölgeler ormanlık alanların %58'lik kısmında yer almaktadır. Yangın istatistikleri 1937 yılı itibariyle tutulmaya başlanıp 2019 yılının son zamanına kadar meydana gelen 112.402 adet orman yangını sonucunda toplam 1.691.578 ha, yıllık da ortalama olarak 20.629 ha ormanlık alan yangından zarar görmüştür. Bu dönemdeki yıllık ortalama yangın adedi sayısı 1.370 tane olup, bir yangın başına düşen ortalama yanan alan miktarı 15,05 ha. Son on yıllık (2010-2019) periyot içerisindeki orman yangınları incelenmiş sonucunda 25.633 tane orman yangını çıktığı ve bu yangınlarda ise toplam 73.877 ha orman alanının yangından zarar gördüğü bilinmektedir. Son on yıllık periyot içerisinde yangın başına düşen ortalama yanan alan miktarı ise 2,88 ha olmuştur (OGM, 2019).

Orman yangınları konusunda yapılan çalışmalar neticesinde geliştirilen uygulama ve tekniklerin yanı sıra gelişen teknolojinin de kullanılmasıyla hem yanan alan miktarında hem de yangın adedinde fark edilecek derece de azalma sağlanmıştır. Başarılı bir yangın söndürme çalışması, yangınların erken fark edilip ilk müdahale kısa bir zaman içerisinde yapılmasına bağlı olduğu görülmektedir. Yangınları erken görebilmek için orman yangınları gözetleme kuleleri ve diğer görevli personelin yangın riskinin yüksek olduğu zaman diliminde daha fazla dikkatli olması gerekmektedir. Bu yüzden değişken ve sabit çevresel faktörlere bağlı olup farklılık gösteren orman yangını potansiyelinin doğru bir biçimde belirlenmesi gerekmektedir. Çok iyi bilmek gerekmektedir ki, yangınla mücadele çalışmasında, yanıcı madde

karakteristikleri ve hava halleri yangın potansiyeli ve orman yangınının tutumu üzerine çok etkilidir. Özellikle lodos ve kurutucu poyraz esen rüzgarların gerçekleştiği sıcak günlerde, orman yangınlarının ilk başlangıcı olan ince yanıcı madde nem içerikleri çok süratli bir biçimde düşmekte ve tutuşmaya hazır hale gelmektedirler. Böyle anlarda ormanlık alandaki diğer yanıcı maddelerin de kurumması neticesinde bir biri ardına bir çok yerde orman yangını çıkmaktadır (Sağlam, 2002). 2008 senesinde çıkmış olan ve Türkiye'deki en büyük yangın olduğu bilinen Taşağıl yangını (15 797 ha) ekstrem hava şartlarında gerçekleşmiştir (OGM, 2008). Bu şekilde ekstrem hava koşullarında orman yangını potansiyelini belirleyebilmek için, yangının öncelikle başladığı bilinen ölü örtü katmanına ait bütün verilerin öncesinde toplanarak muhtelif olarak değerlendirilerek alternatif çözümler üretilebilmesi gerekmektedir.

Orman yangınları öncelikle ormanın zemininde bulunmakta olan ölü örtü tabakasında başlayıp duruma göre gelişim göstererek diğer yanıcı maddelerde etkili olmaktadır. Orman yangını, yeterli oranda yanmak için elverişli ölü örtü tabakası olmadığı durumlarda tepe yangını gerçekleşmez. Orman yangının başlaması için gerekli şartlar, ormanın zemin kısmında bulunan bu tür humus tabakası ve ince yanıcı madde nemiyle yakından ilişkilidir. Örtü yangınından tepe yangınına dönüşmesi; tepe altının yüksekliği, rüzgar, örtü yangını şiddeti, tepe tacı kısmındaki ince yanıcı madde miktarı ile beraber tepe kısmındaki yanıcı maddenin nem içeriğiyle doğrudan ilgilidir. Yanıcı madde nem içerikleri hava sıcaklığı, yağış, buharlaşmaya ve bağıl neme bağlı olarak farklılıklar göstermektedir. Hava hallerinde gerçekleşen bu değişimler en çok ölü yanıcı madde nem içeriğini etkilemektedir. Özellikle bu ince ölü yanıcı maddelerden ibreler, hava hallerinde gerçekleşen ufak değişiklikten bile etkilenmesi ile hızlı kuruma ve ıslanma oranlarına sahiptir. Hava hallerinin etkisi ile hızlıca kuruyan ibreler yangına cazip bir örtü katmanı hazırlamaktadırlar. YTO sistemi içerisinde bir öge olan ince yanıcı maddelerin nem içerikleri, yangınların belirli zamanlardaki gerçekleşme potansiyelinin belirlenmesine yardımcı olur. Yanıcı maddelerden alt tabakada bulunan humusta, İYM'e göre daha fazla kuruma ve ıslanma oranlarına sahiptir. Humus katmanı ve kalın yanıcı maddelerin daha çok nem içerikleri mevsime göre değişiklik göstermekte olup yanıcı madde harcamasının ölçülmesinde kullanılır. Yangın şiddetini, yangının yayılma oranını ve yanıcı madde harcanmasını artıran ise yanıcı maddelerin nem içerikleri düşük olanlarıdır. Bilhassa tepe yangını olarak bilinen

yangınlarda canlı yaprakların nem içerikleri yangın davranışında etkisini göstermekte, nem içeriği az olan yaprak kısımları yayılma hızını ve yangının şiddetini çoğaltmaktadır (Küçük, 2004; Küçük vd., 2009; Sağlam, 2002).

Ölü ince yanıcı madde nem içeriği yangın davranışının tahmininde ve tüketilebilir ince yanıcı maddelerin tutuşmasında, yangın yayılma oranında ve yangın şiddetinde kilit rol oynarlar. Mevcut yangın davranışının ve potansiyel yangın davranışının tahmini için ölü yanıcı madde nem içeriğinin yangın yöneticileri tarafından bilinmesi çok önemlidir. Bu yüzden yangın tehlike oranları sistemi ve birçok yangın davranış modellerinin merkezinde yanıcı madde nem içeriği yer almaktadır (Anderson, 2009; Deeming vd., 1978; Luke ve McArthur, 1978; Slijepcevic vd., 2015; Van Wagner, 1987).

Yangınların başlaması orman zemininde bulunan ince yanıcı maddelerin (ibre + <0,6 cm çaplı dal) nemiyile yakından ilişkilidir. Diğer bir ifade ile nem içeriği, ormandaki yanıcı maddelerin tutuşmasının artmasında büyük rol oynamaktadır. (Countryman 1974; Montgomery ve Cheo 1971; Olsen, 1960; Schroeder ve Buck, 1970; Trabaud 1976). Yanıcı madde nem içeriği hava sıcaklığına, yağışa, nisbi neme ve buharlaşmayla bağımlı olarak farklılık göstermekle birlikte, meteorolojik parametrelerdeki değişimler en çok ölü yanıcı madde nemini etkiler. İnce ölü yanıcı madde içinde bulunan ibreler, hava durumlarındaki en ufak değişimlerden dahi etkilenmektedir (Sağlam, 2002). İnce yanıcı maddeler, (ibre + <0,6 cm çaplı dal) tutuşma aşamasında rol oynadığı için hem yangın potansiyelinin hem de yangın tutum şemasının anahtar bileşenlerindedir. Bununla ilgili uygulanan çalışmalar mevcuttur (Agudo vd., 2007; Chrosciewicz, 1986; Gonzalez vd., 2009; Hartford ve Rothermel, 1991; Hatton vd., 1988; Loomis ve Main, 1980; Philpot ve Mutch, 1971; Simard, 1968; Viegas vd., 1998; Viney ve Hatton, 1989).

Ülkemizde ise, hali hazırda yanıcı madde nem içeriklerine bağlı yangın tehlikesini tahmin eden sistemler kullanılıyor olmaktadır. Sadece meteoroloji verilerinden alınmış bilgiler tahlil edilerek belirli zamanlar için yangın potansiyel tahmini il sınırları ölçeğinde gerçekleştirilmektedir. Bu da yanmaya sebep yanıcı maddelerin nem içeriklerindeki değişimin nasıl gerçekleştiğini yansıtmamaktadır. Bu noksanlığı

giderebilmek için meteorolojik verilerle yanıcı madde nem içerikleri ile etkileşimini belirlemek ve tahmin edebilmek çok önemlidir. Yanıcı madde nem içeriklerini tahmin edebilmek için yapılan çalışmalarla birden çok model olmasına rağmen, Türkiye’de ise bu anlamdaki çalışmalar sınırlı sayıdadır. (Karaoğlu 2011; Sağlam 2002).

Bu çalışma ülkemizde yangına hassas bölgelerde ve en fazla yayılış alanına sahip ibrelili türlerden olan Kızılçam ve karaçam meşcerelerinde yapılmıştır (Küçük vd., 2008; Küçük vd., 2015). Bu çalışmanın amacı karaçam ve kızılçam meşcerelerinde hava hallerine bağlı olarak canlı yanıcı madde nem içerikleri ile ölü ve humus yanıcı madde nem içeriklerini tahmin eden regresyon modelleri geliştirmektedir. Sonuçlar günlük yangın potansiyelinin belirlenmesi ve bu iki türde yangın davranışının daha iyi anlamak için kullanışlı olabilecektir.

Yangınların başlamasını etkileyen önemli bir faktör yanıcı madde nemidir. Yanıcı madde nem içeriği %35’lerden aza inmedikçe, yani başka bir deyişle kurumadıkları sürece yanmaları zordur. Nem içeriği fazla olan yanıcı maddelerin kurummasında uzunca zamana gerek vardır, bu da yangının gerçekleşmesini ve ilerlemesini engelleyen bir faktördür. Yanıcı madde tutuşabilirliği en çok nem içeriklerinden etkilenmektedir. (Countryman, 1974; Montgomery ve Cheo, 1971; Olsen, 1960; Schroeder ve Buck, 1970; Trabaud, 1976).

Türkiye’de gerçekleşen büyük orman yangınlarının çoğu ilk müdahaleye geç kalındığı için kontrolü kaybedilip büyümüş olan yangınlardır. Yani bu kontrolden çıkarak büyüme seyreden yangınların davranışları belirlenemediğinden ekiplerin idaresinde zorlanılmaktadır. Yangın davranışını etkileyen, yangınla mücadelede yapılan çalışmalar, yanıcı maddelerin özellikleri, hava durumları ve yer şekilleri önemli rol oynamaktadır. Yangın davranışını düzgün ve güvenli bir şekilde tahmin edebilmek için, yangın davranışını etkileyen etmenlerin iyi tanınması gerekmektedir. Bununla birlikte, yangının gerçekleşebileceği ihtimali olan yerlerin de öncesinde bilmek çok önemlidir. Yangın ihtimalinde yanıcı maddelerin özelliği ve hava şartları önem arz eder. Yanıcı madde, alt tabakada ya da tepe kısımlarında bulunan tutuşabilen, ölü ya da canlı herhangi bir gereçtir. Toprak kısmında, üstünde ve yüksekte bulunan yanabilen ya da tutuşmaya meyilli herhangi bir nesne ya da bileşim olarak tanımlanmış

(Ford-Robertson, 1971) yanıcı maddeler, yangının başlayıp devam etmesine zemin hazırlar. Bundan dolayı, yangın öncesinde yapılacak olan planlama ve yangına karşı yapılacak olan çalışmalarda önemli olan, yanıcı maddelerin özelliğinin yangın hareketi açısından ne anlam ifade ettiğinin bilinmesi gerekmektedir.

Tutuşmada rol alan, ince yanıcı madde olan özellikle canlı ibre, sürgün ve ince dallar orman yangınlarında son derece önem arz etmektedir. Rüzgar ile yanıcı maddenin nem içerikleri yangın davranışına etken en önemli etmendir. Bu konuyla ilgili dünyanın çeşitli ülkelerindeki ekosistem tiplerinde ve Akdeniz ekosistemlerinde çalışmalar olup genellikle ölü örtü tabakasındaki yanıcı maddelerin nem içeriğinin belirlenmesine yöneliktir. Canlı yanıcı madde nem içeriklerinin belirlenmesine yönelik sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır.

Türkiye’de mevcut durumda yanıcı madde nem içeriğinin öngörülmesine bağlı bir donanım kullanılmıyor. Yalnızca meteorolojiden alınmış veriler tahlil edilerek belirli zamanlar için yangın ihtimalleri öngörüsünde bulunmaktadır. Buda, yanmayı gerçekleştiren yanıcı maddelerin nem içeriklerinde nasıl bir değişim olduğunu göstermemektedir. Bu noksanlığın düzeltilmesi için meteorolojik verilerin ve yanıcı madde nem içerikleri ile etkileşimini belirlemek ve öngörebilmek çok önemlidir. Yanıcı maddenin nem içeriğinin öngörülmesi için dünyada birçok yerde çeşitli çalışmalar yapılarak birçok şablonlar geliştirilmiş ancak Türkiye’de ise bu anlamda ki çalışmalar çok azdır. Bu anlamda, Sağlam (2002) koordinatörlüğünde yürütülmekte olan bir yüksek lisans tezi haricinde herhangi bir çalışma yapılmamıştır.

Avustralya’da birden çok değişik yangın tehlike oranları kullanılır durumdadır. Daha fazla McArthur (1966, 1967) tarafından Avustralya’daki okalıptüs orman alanları için uygulanan yangın tehlike oranları her yerde kullanılmaktadır. McArthur, 30-60 dk kadar yakılmış 800 kadar test yangını gerçekleştirmiş ve yaptığı ölçüm ile yangın davranış verileri ile bir sayaç yapmıştır. Böylelikle, Kanada sisteminde yapıldığı gibi, tam anlamıyla arazide yapılan araştırmalarla deneysel kaynaklı bir düzenek yapılmıştır. Bu sistem sonrasında eşitlikler ve indeksler haline getirilmiş (Noble vd., 1980) ve hesap makinesiyle kullanılmak için programlanmıştır (Crane, 1982). Bu sistem aynı anda güneyinde test edilerek kullanılmıştır.

Görüldüğü üzere orman yangınları çok fazla ziyanlara sebep olduğu için dünya genelinde birçok ülkede uzun zamandan beri YTO kullanılıyor olmaktadır. Yapılan açıklamalara göre orman yangınları ile mücadele de duyarlı Amerika, Avustralya ve Kanada gibi birçok ülkede kullanılan yangın tehlike oranları sistemi arasında kısmi ufak değişiklikler olsa da genellikle aynı değişkenler (topografya, hava halleri ve yanıcı madde) kullanılıyor olmaktadır. Bunların içinden Kanada sistemi daha kolay ve anlaşılır olması ve Türkiye koşullarına daha kolay uyum sağlayabileceğinden, Türkiye'ye göre düzenlenmiş ve uygulanmıştır.

Orman YTO sistemi orman yangınları için daha hassas Amerika, Kanada, Avustralya gibi çoğu ülkede geliştirilerek uygulanmaya devam etmektedir. Bunlar ile birlikte Fiji, Yeni Zelanda, Çin, Şili, Rusya gibi bazı ülkelerde, halihazırda bulunan sistemler ile şartlarına uygulanıp gereken değişimler ve eklemeler yapıp kullanılmıştır. YTO sistemleri yangın amenajman çalışmaları için kullanıldığında işletme istekleri, yangın sorunları durumları, işletmenin topografik yapısı, yanıcı maddelerin tipi, elde olan kaynaklar ve bütçe durumları dikkate alınmaktadır.

CBS gibi Karar Destek Sistemleri (KDS)'nden yararlanmak istemeyen yangın teşkilatlarının başarısının kısıtlı ve yüksek maliyetli olduğu bir gerçektir. Kanada, Amerika ve Avustralya gibi ülkeler bunların bilincine vardığından bu gibi sistemler geliştirilerek ülkede uygulanmıştır. Türkiye'de bunun gibi sistemler uygulanması bir zaruret haline dönmüştür. Kanada'da uygulanan sistem daha anlaşılır ve Türkiye'ye uyarlanması çok daha basit olduğundan bundan öncesinde yapılan uygulamalarda bu sistem üzerinde çalışılmıştır. Kanada yangın tehlike oranları sisteminin bir kısmı olan MYİ sisteminde temel bileşenleri olan ince yanıcı maddelerin nem kodu, humus tabakası nem kodu, kuraklık kodu, başlangıçtaki yayılma indeksi, birikmiş olan yanıcı maddelerin indeksi, meteorolojik yangın indeksi bulunmaktadır. Özellikle bunlar yangınların başlamasında çok önemli rol oynamaktadır.

Türkiye'nin yıllardır binlerce ha orman alanının yangından zarar görmesiyle yangın potansiyellerinin ve davranışlarının isabetli bir şekilde belirleyebilmek ve buna bağlı olarak orman yangınları ile etkili bir mücadele edilebilmesi için yardımcı sistemler gerekmektedir. YTOS bu bağlamda fazlaca bir eksikliği giderecektir. Yapılan

Çalışmada, yangına en hassas iki tür olan karaçam ve kıızılamda bir günde değişik zaman içerisinde meteorolojik verilerle ilişkili olarak humus, l örtü tabakası ve ağaçların tepe kısmındaki yanıcı madde nem içerikleri ngrlmştır. Yapılan bu çalışma sonucunda Türkiye için Ulusal Yangın Tehlike Oranları Sisteminin (UYTOS) bir alt biriminden olan meteorolojik yangın sistemi içerisinde haftalık yangın potansiyellerinin belirlenmesi için kullanılacaktır. Diğer taraftan modeller yangın yayılma oranının tahmin edilmesinde de kullanılabileceği gibi l ve canlı yanıcı madde nem içeriğinin yayılma oranı üzerinde nasıl bir etki yaptığının açıklanmasında da kullanışlı olabilecektir.

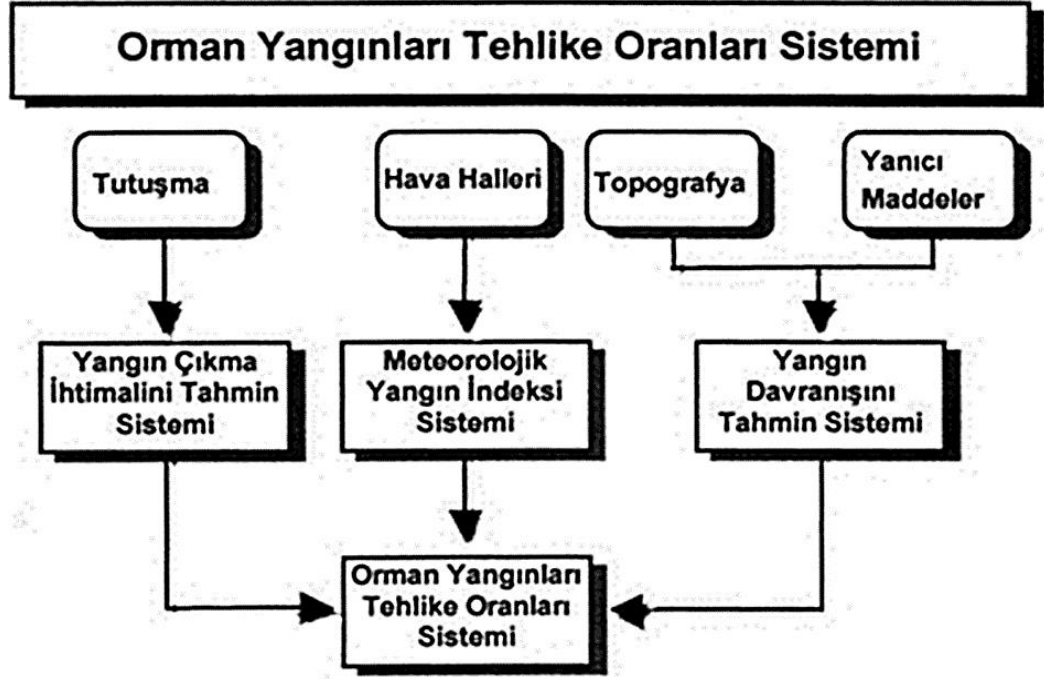
2. KURAMSAL ÇERÇEVE

Orman yangınları ile mücadelede, hava halleri ve yanıcı maddelerin özellikleri yangınların durumu üzerinde olan etkisinin çok iyi öğrenilmesi gerekmektedir. Bilhassa, yanıcı maddelerin özelliğiyle endeksli olarak edinilecek esas ve güvenli parametreler yanıcı madde şekillerinin ortaya konulmasıyla ve bu yanıcı çeşitlerine ait farklı hava koşullarında yangın tutumlarının modellenenilmesi orman yangınları işe mücadelede büyük bir öneme sahiptir. Bu da ancak birçok farklı bilgiyi bir arada değerlendirebilen bir düzen ile gerçekleştirilebilir.

Yangın idarecileri orman yangınları ile etkili bir mücadele gerçekleştirebilmek için, yapacağı planlara katkı sağlayabilecek her çeşit referans, malumat ve programdan yararlanmak durumundadırlar. Oluşturulmuş orman yangını organizasyonlarında başarılı olmak için, yararlandıkları Karar Destek Sistemleri (KDS)'nin gelişmelerine ve Yangın Tehlike Oranları Sistemi (YTOS)'nin başarılı bir halde gerçekleştirilmesine bağlıdır (Bilgili, 2000). Bu belirtilen sistemlerden faydalanmayan orman yangını organizasyonları etkileyici kararlar alamayacağı gibi, başarısı kısıtlı ve maliyeti yüksek olacaktır.

2.1 Yangın Tehlike Oranları Sistemleri ve Yapıları

Orman yangını tehlikesi; hava halleri, topografya ve yanıcı maddeler gibi stabil ve istikrarsız çevresel faktörlere bağlı olmasıyla gerçekleşen yangın potansiyelidir. YTO ise; herhangi bir noktada bir orman yangınının gerçekleşme potansiyeli, olan bir orman yangınının yayılması, gücü kontrolünün kaybedilmesi ve yanmasından sonra etkisinin belirlenmesi olarak tarif edilir (Bilgili 1999). YTO sistemi 1800'lü yılların sonlarından beri çalışılıp geliştirilmiş ve bugüne de kesintisiz yeni eklemelerle ilerletilmeye çalışılmaktadır. Bu sistemler yapısında ve formülasyonlarında değişiklikler göstermesine bilakis (MYİ) Sistemi, (YDT) Sistemi ve Yangın İhtimalini Tahmin (YİT) Sistemi olarak üç kısımdan ibarettir (Şekil 2.1).

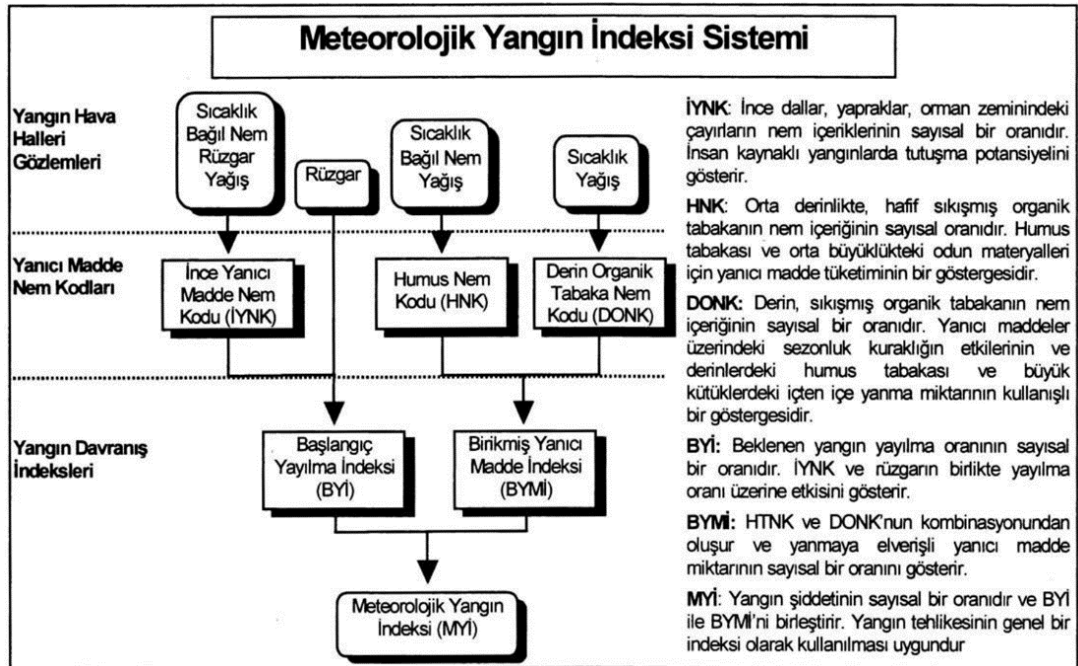


Şekil 2.1 YTO sisteminin yapısı ve bileşenleri

Meteorolojik Yangın İndeksi sistemi, yalnızca bir tür yanıcı madde tipi için orman yangını davranışı ile ilgili genel bilgi vermektedir. Bu halde, diğer yanıcı maddelerde yangın tutumları nasıl olacağı konusunda sorun olarak gerçekleşmektedir. Bu sorun ise, yangın tehlike oranı sisteminin başka bir ögesi olan istisnai bir yanıcı madde tipinden yangın durumu hakkında bilgilendiren yangın davranışını tahmin sistemi ile çözüm bulunmaya çalışılmıştır (Lawson vd., 1985). Özellikle Amerika, Kanada ve Avustralya gibi yangınların etkisinin fazla olduğu dünya ülkeleri yangın tehlike oranı sisteminin rehberliğini yapan, bazı Avrupa ülkeleri, Yeni Zelanda ve Çin gibi ülkeler bu sistemleri kullanmaya başlamışlardır (Beck vd., 2001). Görüldüğü üzere orman yangınları sonucu büyük çapta zarar gören ülkeler uzun yıllardır YTO sistemlerini kullanmaktadır. Yangın tehlike oranları sistemlerine baktığımızda özellikle Amerika, Kanada ve Avustralya gibi ülkelerin sistemleri çok ufak değişiklikler gösterse de genel manada aynı parametreleri (yanıcı madde, topografya ve hava halleri) kullandıkları görülmektedir. Kanada da uygulanan sistemlerin yapısı zor olmaması ile ve Türkiye koşullarına daha kısa sürede uyarlanacağından, Türkiye'ye göre düzenlenip ele alınmaktadır.

2.1.1 Meteorolojik Yangın İndeksi (MYİ) Sistemi

Meteorolojik yangın indeksi sistemi yanıcı maddelerin hava şartlarıyla alakalı olarak orman yangını çıkma ihtimalinde ve yangının hareketi konusunda bilgilendirmektedir. MYİ sistemi altı kısımdan oluşur (Şekil 2.2). Bu bölümler, birer birer ya da muhtelif olarak, yalnızca yanıcı madde nem ve rüzgarın orman yangını hareketinde etkisini belirlerler. Bu kısımlardan üç tanesi ise yanıcı madde nemini ifade etmekte ve YNMK ismini almaktadırlar. Bu bölümler geçmişte ve şuanda hava koşullarının yanıcı madde nem üzerine olan etkisini belirtmektedir. Geri kalan üç bölüm ise yangın davranışları ile alakalı neticeleri belirtmekte ve yangın davranış indeksleri ismini almaktadırlar. Bu bölümler, orman yangını yayılmaları oranlarının göstergesi ile ifade edilen Başlangıç Yayılma İndeksi (BYİ); yanıcı madde eksikliği ve orman yangınlarının toprakta gerçekleşen etkileşiminin göstergesi olan Birikmiş Yanıcı Madde İndeksi (BYMİ)'yle orman yangının hızının bir göstergesi olduğu bilinen Yangın Şiddeti İndeksi (YŞİ)'dir. Meteorolojik yangın indeksi sistemleri, cansız ve organik katmanların nem içeriğinin belirli periyotlar için hesaplanması, yapılan uygulamanın ise orman yangını çıkış sezonu süresince devam edecek bir biçimde yapılması, en çok orman yangınlarının gözlem yapıldığı zaman içerisinde orman yangını davranışı hareketlerini öngörmek, YNMK ve orman yangını davranışları indekslerinden oluşmaktadır.



Şekil 2.2 Meteorolojik yangın indeksi sisteminin yapısı ve bileşenleri

Yukarıdaki şekilde belirtilmiş olan yanıcı madde nem kodlarının (YMNK) vazifesi zaten yağış meblağının muhasebesini düzenlemektir. Yanıcı madde nem kodları yağmur sonrasında yağışın ne oranda ve yanıcı maddelerden hangi katmanlarda tutularak kurummasına bağlı olup bu tabakaların ne ölçüde nem kaybettiğini açıklayan sistemdir. Belirtilen nem indekslerinin hepsi yağmurda ıslanması ve yağış sonrasında kuruma olmasıyla iki safhada incelenmektedir. Bu nedenle yanıcı maddelerin tabakaları birbirleriyle oldukça farklılık göstermektedir. Ölü örtü tabakası olan humus ve organik tabaka kısmında yağışlara muhalif (kuruma ve ıslanma bakımından) oldukça yavaş tepki göstermektedir. Diğer taraftan üst kısımda bulunan ince tabaka tamamen dış etmenlere açık olmasından oldukça hızlı tepki göstermektedir. Mesela, etkili bir yağış sonrasında birkaç gün güneşli, yanıcı maddenin kurummasına elverişli bir halde, fazlaca bir İnce Yanıcı Madde Nem Kodu (İYNK) oluştururken, Humus Nem Kodu (HNK) daha düşük düzeyde kalır. Bu durumların tersi olduğunda uzun süreli kurak olan günlerin sonrasında da, kısmi bir yağış İnce Yanıcı Nem Kodu'nu düşürdüğünden nem kodlarının diğerleri daha yüksek olacaktır (Sağlam, 2002). Aşağıda, Bu çalışmalara konu olan İYNK ve HNK ile alakalı bilgiler verilmektedir.

2.1.1.1 İnce yanıcı madde nem kodu

İnce Yanıcı Nem Kodu içerisinde ince dal, yaprak, orman alanlarının zemininde bulunan çayır otlarının nem içerikleri sayısal oranıdır. Belirtilen yanıcı maddeler çaplar 0,6 cm'den küçük olmakta, 1 ile 2 cm derinliğe sahip olmaktadır. İnce Yanıcı Nem Kodu sıcaklık, rüzgarın hızı, bağıl nem ve yağış gibi hava hallerinden etkilenmektedir. Buna rağmen, yağışların orman vejetasyonları tarafından tutulması sebebiyle bir günlük toplam yağışın 0,5 mm ya da daha az olmasıyla da İYM bundan etkilenmemektedir. Buna göre İnce Yanıcı Nem Kodu'nun yağıştan etkilenmesi de en az 0,6 mm olması gerekmektedir. İnce Yanıcı Nem Kodu'nun hesaplaması yangın meteoroloji istasyonundan alınan gözlemler öğlen saatlerinde yapılmalıdır. Başka bir hesaplama yapmak içinde sonra ki günü beklenmelidir. İnce Yanıcı Madde Nem Kodu'nun hesaplamalarında geçmiş günün değerleri alınır, bundan başka da o güne ait yağış, rüzgarın hızı, bağıl nem ve sıcaklık verileri alınır. İYM nem içeriklerini 6 saatte normal hava koşullarında kaybederler. Sabah erken saatlerde yağın yağmur sonrasında ince üst tabaka nem içerikleri en yüksek seviyede yani %100'dür. Ama bu

süreden 6 saat gibi bir zaman geçmesinden sonra İYM yanmaya uygun hal alacaktır. Bu hal İYM nem içeriğinin %35 seviyelerine inmesi demektir, bu da insan kaynaklı orman yangınlarının yanma potansiyeline hüküm verilmesinde önem arz etmektedir. İnce Yanıcı Madde Nem Kodu, diğer taraftan gerçekleşen orman yangını büyümesinde ve yine yangının potansiyel yayılmasında, yangınların şiddetini tespit etmede dolaylı olarak rol almaktadır (Sağlam, 2002).

2.1.1.2 Humus tabakası nem kodu

Humus tabakası nem kodu (HNK), 5-10 cm derinliklerde bulunan, 0,6-5 cm çaplarındaki, az sıkışmış olan organik tabaka kısmının nem içerik sayısal oranıdır. Yağan yağmurun bir bölümü İYM ve orman canlı ve cansız örtüsü ile tutulmasıyla humus tabakası etkilenen kısmı bir günlük zaman diliminde min yağış toplamı 1,5 mm'dir. Rüzgar hızı ise bu tabakada orman zemininde bulunan ölü örtünün alt kısmında bulunmasıyla bu yanıcı maddelerde nem değişimini engellemektedir. Bu yanıcı maddeler 12 günde nem içeriğinin 2/3'ünü kaybetmektedirler. Humus tabakası nem kodu, orman yangınının tutuşma sürecini, yanıcı maddelerin yoğunluk derecesini belirlemede kullanılmaktadır ve yangın şiddet indeksinde dolaylı olarak rol oynamaktadır. Bununla birlikte, orman yangınları ile mücadelede ve yangın soğutma çalışmasında karşılaşılabilecek zorluğun olması kadar, orman yangınının toprağa yapacağı etkisinin de göstergesidir.

Yangın davranışlarını etkileyen özelliklerden bir diğeri de yanıcı madde içerisindeki nem miktarıdır. Orman yangınlarında yanabilecek maddelerin içerisindeki nem miktarı az olduğu kadar, yangının çıkış ve yayılma potansiyeli o kadar yükselir. Yağışların az oluşu, hava sıcaklıklarının yüksekliği ve rüzgar gibi etmenler, orman yangınlarında yanıcı maddelerin kuruluşunu etkiler.

Meteorolojik yangın indeksi sistemi yangın tehlikesinin ortaya konulmasında katkıları olmasına rağmen, standart olan yanıcı madde tiplerinde ve yalnızca hava koşullarına bağlı olup yangın davranışları hakkında bütünüyle bilgilendirmesi, diğer yanıcı madde tiplerinde yangın davranışının ortaya konulmasında bir noksanlık olarak çıkmaktadır.

2.1.2 Yangın Davranışını Tahmin (YDT) Sistemi

Yangın Davranış Tahmini Sistemi herhangi bir alanda çıkacak olan bir orman yangınının hava hallerinde, topografyasında ve yanıcı maddelerin özellikleri ile alakalı olarak sergileyecek davranışları sayısal veri olarak ortaya koymaktadır. Elde edilmiş olan değerler, Meteorolojik Yangın İndeksi sisteminden elde edilmiş olan değerlerin aksine, sayısal yani asıl durumları tabir eden değerlerdir. Yangın davranışlarını tahmin edebilmek, yanıcı maddelerin tipine, topografyaya ve meteorolojik bilgilere ve çok sayıda başkaca güvenli bilgiler ile olmaktadır (McRae vd., 1979). Yangın Davranışını Tahmin sistemi 4 tahminde bulunur. Bunlar ise yayılma oranı (m/dak), yangının şiddeti (kW/m), yanıcı maddelerin tüketimi (t/ha, kg/m) ve yangının türü (örtü, tepe)'dür (Şekil 2.3). Bunlarla beraber, yan ve arka yangın yayılması oranı ve uzaklık (m/dak ve m), yanan ormanlık alan (ha) ve yangının çevresel uzunluğu (km veya m) gibi değerler ile sonuç olarak elde edilebilmektedir (Küçük, 2004).



Şekil 2.3 Yangın davranışı tahmin sisteminin yapısı

Yangın Davranışı Tahmin sisteminin kontrollü kontrolsüz yangınların rehberi, Meteorolojik Yangın İndeksi Sisteminin özel yanıcı maddelerin komplekslerinin genişletilmesi olmaktadır. Yangın Davranışı Tahmin sistemi ülkelerin her birinin

yanıcı maddelerin tipine göre geliştirilen yangın davranış modelleriyle oluşmaktadır. Bu yangın davranış modellerinin çalışabilmesi de hava hallerinin, topografyanın ve yanıcı maddenin özellikleri de bilinmesiyle olur. Meteorolojik Yangın İndeksi sistemi bizlere hava hallerinin bilgilerini verir. Yanıcı maddelere özgü, yanıcı maddelerin tipi olarak belirlenen ve farklı ülkelerde farklı sayılarda olan yanıcı maddelerin modeli aracılığıyla hesaplanır. Meşcerenin yapısı, ölü örtü ve diri örtünün durumu, yanıcı madde tipinde kullanılan başlıca kıstaslardır. Sonuçta; bir ormanlık alanda çıkacak yangının halihazırdaki havanın halleri, topografyası ve yanıcı maddenin özelliğinde nasıl bir davranış sergilediği sayısal veriler olarak ortaya konmaktadır. Yani, yangın davranışı doğru tahmin edilirse eğer, yangın hattı doğru yer ve zaman için hazırlanılır. Böylelikle yangın söndürme çabası ve gücü minimuma indirgenmiş olur ve hem maliyet hem ziyan en aza indirilmiş olur.

2.2 Yanıcı Madde Nem İçeriği Üzerine Etki Eden Temel Faktörler

Yanıcı maddenin nemi, halihazırdaki hava şartlarının farklılık göstermesine bağlı, orman yangınının başlamasını ve sınırlandırmasını sağlayıcı bir etmendir. Yanıcı maddenin nemi fazla olduğu zamanlarda tutuşmanın çok düşük, yayılmasının az oranda, bununla beraberde; yanıcı madde nemi az oranda olduğu zamanlarda tutuşma çabuk gerçekleşip, yayılması bir o kadar hızlıdır (Blackmarr, 1972; Chandler vd., 1991; Shroder ve Buck, 1970). Yanıcı maddenin neminin içeriği %5'lerden daha az olduğunda kalın ve ince yanıcı maddelerin orman yangını aynı oranda yayılmaya meyillidir. Yanıcı maddelerin nem oranı %5 ile %10 arasında olduğu zamanlarda kalın yanıcı maddelerde gerçekleşen yangınlar, ince yanıcı maddelerde gerçekleşen yangınlara göre daha süratli yayılmaktadırlar. Yanıcı maddelerdeki nem oranları %10'un üstünde olduğunda ise yine kalın ve ince yanıcı maddelerdeki yayılma oranı eşitlenmeye başlar. Fakat; yanıcı maddelerdeki nem oranları %15'in üzerine çıktığında ince yanıcı madde materyalleri kendiliğinden sönmekte, kalın ve kaba olan yanıcı madde materyalleri yanmasını sürdüreceklendir (Chandler vd., 1991). Özellikle ölü yanıcı madde nem içeriğini etkileyen bazı meteorolojik parametreler aşağıda kısaca açıklanmıştır.

2.2.1 Sıcaklık

Yanıcı madde içerisindeki ısı ve bulunduğu ortamın sıcaklığı, yangınların nasıl başlayacağını ve yayılacağını belirleyen önemli etmenlerdendir. Yanıcı maddelerin yanmasına ihtiyaç olan ısı (320°C, 608 F), tutuşmayı kolaylaştırıp, yanıcı maddelerin en başta sahip oldukları sıcaklıkla ilişkilidir (Burgan ve Rothermel, 1984). Orman yangınlarında sıcaklığın önemli olmasının sebebi, yanıcı maddelerin nem ve sıcaklığın üzerindeki etkisindedir. Ormandaki yanıcı madde konveksiyonla çevresinde bulunan havadan ve radyasyon ile de güneşten almaktadır. Hava sıcaklıkları normal şartlara göre daha yüksek olduğunda yanıcı madde sıcaklıkları da yüksek olacak ve buna bağlı olarak da tutuşmalarındaki ısı derecesinin oldukça az olması yeterlidir. Normal şartların üstündeki sıcaklık, yanıcı maddelerdeki nem oranlarının düşmesine ve kuruyarak yangında daha kolay yanmasını sağlar. Orman yangını devam ederken bu şekilde kurumuş yanıcı maddelerle birleştiğinde hızlanarak ilerlemektedir (Bilgili vd., 2002).

2.2.2 Rüzgar

Rüzgar, genellikle yangının şeklini belirleyen faktörlerin en önemlisidir. Yangın yayılma oranları, çevre değerleri ve alanına ait öngörüler için geliştirilmiş modellerin çoğunda rüzgar hızını esas değişken olarak görmektedir. Rüzgar, yangının önünü açarak geliştirir, alevlerin önüne gelen yanmamış durumdaki yanıcı maddeleri radyasyon yolu ile sıcak hava sayesinde tutuşma ve yanmasını artırarak destek sağlar (Burgan ve Rothermel, 1984; Chandler vd., 1991).

Orman yangınları başlangıç itibariyle dairesel bir gelişim gösterebilir de, sonrasında rüzgar, meyil ve başkaca çevresel etmenlerinde etkisi ile elips yada farklı bir şekle dönüşür (Bilgili vd., 2002). Rüzgar hızı belirli bir seviyenin üzerine çıkması halinde, yanıcı maddenin özelliklerinde olan değişikliklerinde yangın davranışına olan etkisini ortadan kaldırmakta, yani özellikle yangının yayılma oranını da belirleyen tek etmen haline geçmektedir. Dolayısıyla, rüzgar yangın davranışında olan kararsızlık ve düzensizlikte etkilidir.

2.2.3 Nisbi Nem

Yanıcı maddelerin nem içeriklerini etkileyen bağıl nem, sıcaklığın gün içerisinde artmasıyla öğle zamanlarında en düşük seviyelerde seyrederek. Bununla beraber de yanıcı madde nem içeriklerinin azalmasıyla kuru bir vaziyet alır. Bu nedenle, nisbi nemin düşük seviyede olduğu anlarda orman yangınları için tehlike arz eder. Diğer yandan, nisbi nem, yangın potansiyelini ortaya koymaktaki en önemli kıstaslardandır. (Küçük ve Sağlam, 2004). Kolay bir şekilde ölçülebildiği için, ortaya koyulmasında başlıca kriterlerdendir (Tablo 2.1).

Tablo 2.1 Bağıl nem ve yangın tehlikesi arasındaki ilişki

Bağıl Nem	Yangın Tehlikesi
% 40'dan Fazla	Az
% 26-40	Orta
% 15-16	Tehlikeli
%15'den Düşük	Çok Tehlikeli

2.2.4 Yağış

Yağışın orman yangını davranışlarına olan tesiri, yanıcı maddelerin nemine olan tesirinden kaynaklanmaktadır. Orman yangınının başlamasında ve gelişmesinde, yanıcı maddelerin neminin belli bir seviyenin altına inmesi gerekmektedir. Genellikle %30'luk nem yanıcı madde nem oranı yangında başlayarak gelişmesinde üst sınır olarak bilinmektedir (Bilgili vd., 2002). Yağışın, yanan yanıcı maddeleri hemen ıslattığından, özellikle de ince ve orta derece kalın yanıcı maddelerde gerçekleşen orman yangınının yayılışında neredeyse durdurucu tesiri olur. Yani, yağışın ısrarla devam etmesi, orman yangını tehlikesini neredeyse ortadan kaldıracaktır (Çanakçıoğlu, 1993).

Görüldüğü üzere, yanıcı maddenin nem içeriği genellikle standart bir yanıcı maddenin tipinde, nisbi nem, sıcaklık, yağış miktarı ve rüzgar hızı gibi hava hallerinden alınan verilerin hepsi yada birkaç tanesine göre tahmin edilebilmektedir. Yanıcı maddelerin nem içeriklerini tahmin edebilmek için kullanılan modeller, yangınlar açısından tehlikeli ormanları ve geniş sahalarda yayılan ve yanıcı maddelerin özelliklerini de çok

fazlaca temsil etmelidir. Yanıcı maddenin neminin tahmini hızlı olmalı ve en önemlisi de doğru yapılması gerekmektedir. Bu sebeple geliştirilecek modeller, çevresel şartlar ve yanıcı madde özellikleri benzeyen farklı sahalarda da rahat bir şekilde uygulanabilmelidir.

Yanıcı madde nem içeriğinin tahmin etmede iki temel yaklaşım bulunmaktadır. Bunlar; ampirik (deneysel) veya proses tabanlı modellerdir. Deneysel modeller yanıcı madde nem içeriği ile hava halleri, yanıcı madde özellikleri ve meşcere karakteristikleri arasındaki istatistiksel ilişkiler üzerine kurulmuştur. Proses tabanlı modeller ise, yanıcı maddede meydana gelen değişimleri simüle ederek yanıcı madde nem içeriğini tahmin etmeye dayalıdır. Bu modeller arazi, laboratuvar ve teorik bilgiler üzerine kurulmaktadır (Matthews, 2014).

Ölü yanıcı maddeler ince yanıcı maddeler, yapraklar (İbreler), sürgünler ve <6mm ince çaplı dallar, kalın ve kaba yanıcılar, devrik dal ve kütüklerden oluşmaktadır. Amerikan sisteminde yanıcı maddeler 1h (<6mm), 10h (6-25mm), 100h (25-75mm) ve 1000h (>75mm) nemini kaybetme özelliklerine göre sınıflandırılmaktadır. Orman örtü tabakasının yanıcı madde nem içeriği döküntü ibre kısmı, askıda duran ölü materyaller ve humus tabakası şeklinde ayrı ayrı belirlenmektedir (Gould vd., 2011). Sıcaklık, nisbi nem ve örtü tabakasındaki yanıcı madde üzerindeki suyun varlığındaki değişimler yanıcı madde nem içeriğine yansımaktadır (Viney, 1991). Yağmurun olmadığı durumlarda ölü ince yanıcı madde (<6mm) nem içeriğinin %3-%35 arasında değiştiği ifade edilmektedir (Berry ve Roderick, 2005). Üst sınır lif doygunluk noktası olan nemin %100'e ulaşması olarak bilinir. Örtüdeki yanıcı maddelerde yağış sularının hücre içi boşlukları doldurması ve depolanması durumunda nem içeriği değerinin %300'e kadar ulaşabileceği ifade edilmektedir (Matthews vd., 2007). Ölü yanıcı maddelerdeki başlangıç nem ile denge nemi arasında fark olduğu denge nemine ulaşana kadar başlangıç neminin 2/3'ünü (%63) kaybettiği (Merril ve Allexander, 1987), bu değişimin yanıcı maddenin kimyasal ve fiziksel özellikleri ile hava halleri hava halleri tarafından belirlendiği ifade edilmektedir (Slijepcevic vd., 2013; Viney, 1991).

Arazi tabanlı orman yangınları davranış modellerinde bir çok yangın yayılma ölçü birimleri ör; yanıcı madde tutuşma zamanı (Madriral vd., 2011), alev kalma süresi (Burrows, 2001) ve alev geometrisi (Nelson ve Adkins, 1988) analiz edilmiştir. Yayılma oranının tahmini yangın yönetim faaliyetlerine yardımcı olmak için örneğin kontrollü yangınlarda (Fernandes vd., 2009) veya doğal yangınların söndürülmesinde kullanışlı olabilmektedir (Finney, 2005). Yayılma oranı tahminlerinde matematiksel tanımlara dayalı fiziksel modeller (Linn vd., 2002) ile ampirik yaklaşımlı deneysel modeller kullanılmaktadır. Ampirik yaklaşımlı modellerde yanıcı madde özellikleri ile çevresel faktörler arasındaki ilişkiler laboratuvar ve arazi şartlarında (Fernandes vd., 2000) çalışılmaktadır. Yayılma oranını tahmin etmek için geliştirilen ampirik modellerde yaygın olarak yanıcı madde nem içeriği kullanılmaktadır.

Ölü yanıcı madde nem içeriği örtü yangınları rejimini etkilerken ve bu konuda yoğun çalışmalar yapılmakta iken tepe yangını rejimini etkileyen özellikle yayılma oranını etkileyen canlı yanıcı madde nem içeriğindeki değişimi tahmin eden çalışmalar oldukça sınırlıdır (Rossa vd., 2016). Halbuki hem ölü hem de canlı yanıcı maddeler yanıcı madde kompleksleri içinde birlikte yer almaktadır. Hem ölü hem de canlı yanıcı maddelerin nem içeriklerinin doğal şartlar altındaki yangın davranışına ayrı ayrı etkilerinin belirlenmesi işi içinden çıkılmaz hale getirmektedir (Anderson vd., 2015). Canlı yanıcı madde nem içeriğinin tahminine yönelik maki türlerinde laboratuvar çalışmaları yapılmıştır (Plucinski vd., 2010). Canlı yanıcı madde nem içeriğinin maki yanıcı maddelerinde veya tepe yangınlarında yayılma oranının ciddi bir şekilde azalttığı ifade edilmektedir (Rorhermel, 1972; Van Wagner 1987). Ölü ve canlı yanıcı maddelerin karıştırıldığı bazı laboratuvar çalışmalarında bu azaltıcı etkinin ifade edilenden daha az olduğu, karışımda bozulma oranlarının da etkili olduğu belirtilmektedir (Marino vd., 2012; Viegas vd., 2013).

Canlı ve ölü yanıcı maddeler karıştırılarak yapılan çalışmada ölü ve canlı yanıcı madde nem içeriğinin yayılma oranı üzerinde farklı role sahip olduklarını destekleyici bilgiye ulaşamamışlardır (Rossa ve Fernandes, 2017). Laboratuvar şartlarında okalipütis ince yanıcı maddelerinde yapılan küçük yangınlarda yayılma oranı üzerinde sıcaklık ve nisbi nemin etkili olduğu bunun yanında daha az ilişkili olan yağmurdan sonraki gün sayısı ve rüzgarın az etkili olduğu, geliştirilen modelin performansının iyi olduğu

ancak yangın yöneticilerinin kullanımı için pratik olmadığı belirtilmektedir (Rossa vd., 2016). Rüzgarın ve eğimin olmadığı laboratuvar şartlarında yanıcı madde neminin yayılma oranı üzerindeki etkisini belirlemek için yapılan başka bir çalışmada, nem içeriğinin yayılma oranını ciddi oranda azalttığı ve bunu %80 oranında açıklayan model geliştirdikleri ifade edilmektedir (Rossa vd., 2017).

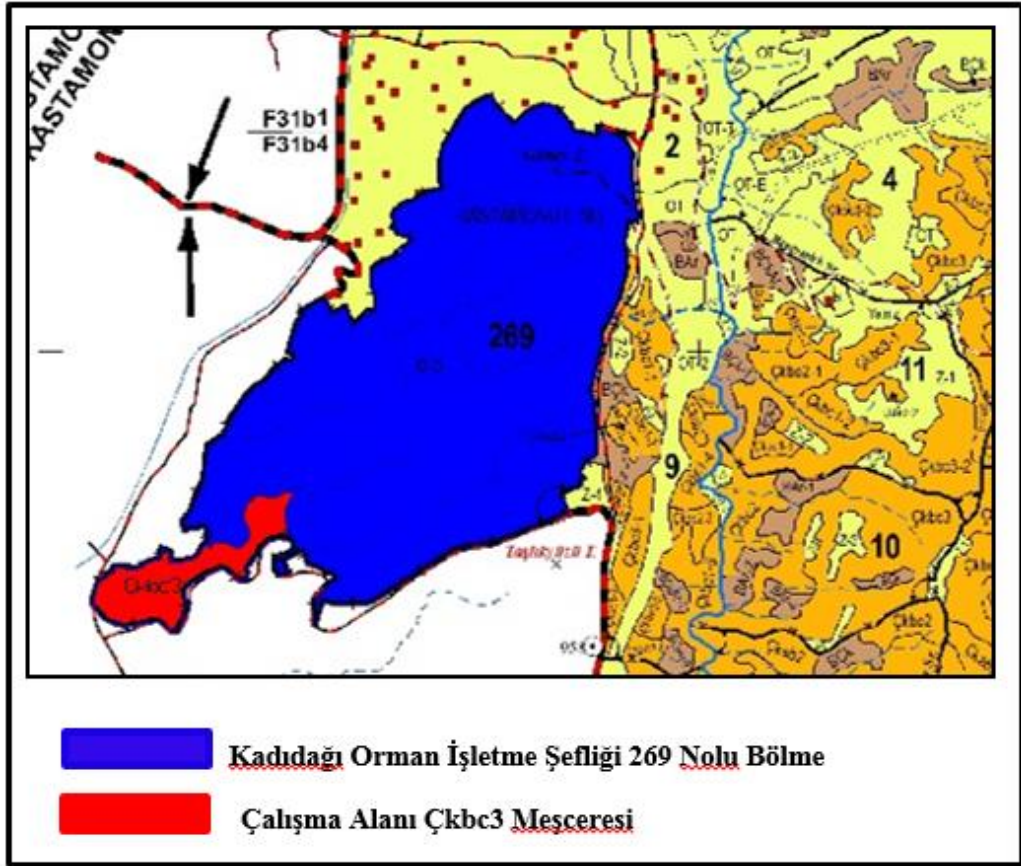
3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Çalışma Alanının Tanıtımı

Bu çalışma Kastamonu Orman Bölge Müdürlüğü, Karadere Orman İşletme Müdürlüğü Kadıdağı Orman İşletme Şefliği ile İstanbul Orman Bölge Müdürlüğü Kanlıca Orman İşletme Müdürlüğündeki Karaçam (*Pinus nigra*) ve Kızılcıam (*Pinus brutia*) ormanlarında gerçekleştirilmiştir.

Kızılcıam için deneme alanları İstanbul Kanlıca Orman İşletme Müdürlüğünde, Kanlıca Orman İşletme Şefliğinde, Karaçam için deneme alanları Kastamonu Karadere Orman İşletme Müdürlüğünde, Kadıdağı Orman İşletme Şefliğinde alınmıştır.

Araştırma alanı Karaçam için, Kastamonu Orman Bölge Müdürlüğü, Karadere Orman İşletme Müdürlüğü Kadıdağı Orman İşletme Şefliği sınırları içinde yer alan tam kapalı Karaçam Çkbc3 meşceresinde ölçüm ve gözlemler yapılmıştır. Çalışma alanının 1/25.000 ölçekli amenajman planlarındaki durumu Harita 3.1’de ve uydu görüntüsü Harita 3.2’de verilmiştir.



Harita 3.1 Çalışma alanının meşcere haritası üzerindeki konumu (Kadıdağı)

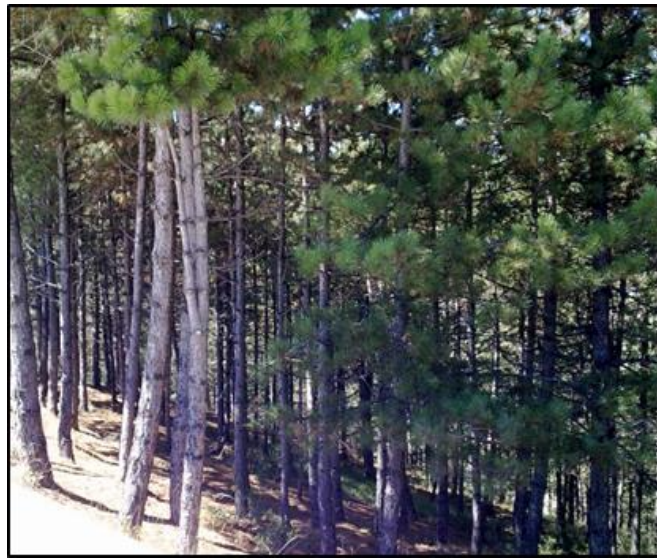


Harita 3.2 Çalışma alanının uydu görünümü (Kadıdağı)

Çalışma alanı coğrafi konum olarak; 41° 21' 44"- 41° 22' 36" Kuzey enlemleri ile 33° 45' 01"- 33° 47' 13" Doğu boylamları arasında bulunmaktadır. Genel olarak Doğu ve Kuzeydoğu bakıya bakan yamaçlarda yer almaktadır. Denizden en yüksek yeri 940 m olup, en alçak yeri ise 850 m'dir.

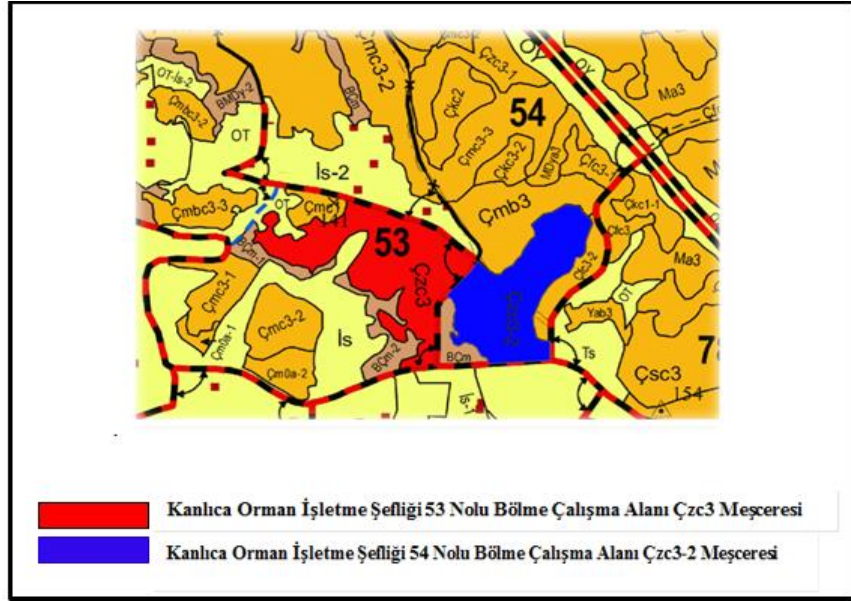
Topoğrafik yapı olarak; genelde Doğu ve Kuzeydoğu bakıya bakan yamaçlarda yer almaktadır ve orta meyilli bir arazi yapısına sahip olup, eğimi %29-56 arasındadır. Çalışma yapılan meşceredeki ağaç yaş sınıfı 41-60 yaş arasındadır. Meşcere tipi Çkbc3 (sırıklık-direklik ve ince ağaçlık çağında, tam kapalı %71-100 kapalılığa sahip Karaçam meşceresi) tür. d 1.30 çap sınıfı 8,0-35,9 cm'dir (Fotoğraf 3.1). Çalışma alanının genel alanı 131,5 ha olup; 125,2 ha'ı ormanlık, 6,3 ha'ı ormansız alandır. Çalışma alanı planın 3 nolu bölmesinde yer alan Çkbc3 meşceresidir. Bu meşcerenin ise kapladığı alan 8,6 ha'lık kısmından oluşur.

Çalışma alanının meteorolojik özelliklerini yansıtan meteorolojik veriler, 1 km uzaklıkta ve 800 m rakımlı Kastamonu Meteoroloji il müdürlüğünden temin edilmiştir. Çalışma alanı, Türkiye Makro İklim Bölgeleri ayrımına göre "Batı Karadeniz İklim Tipi" bölgesinde yer almaktadır. Bölgede, ilkbahar ve sonbahar ılıman, kışları sert geçer. Yağışlar ilkbahar ve sonbaharda yağmur, kışın ise kar şeklinde ve bol yağmakta, yazın genelde kurak geçmektedir (OGM, 2012).

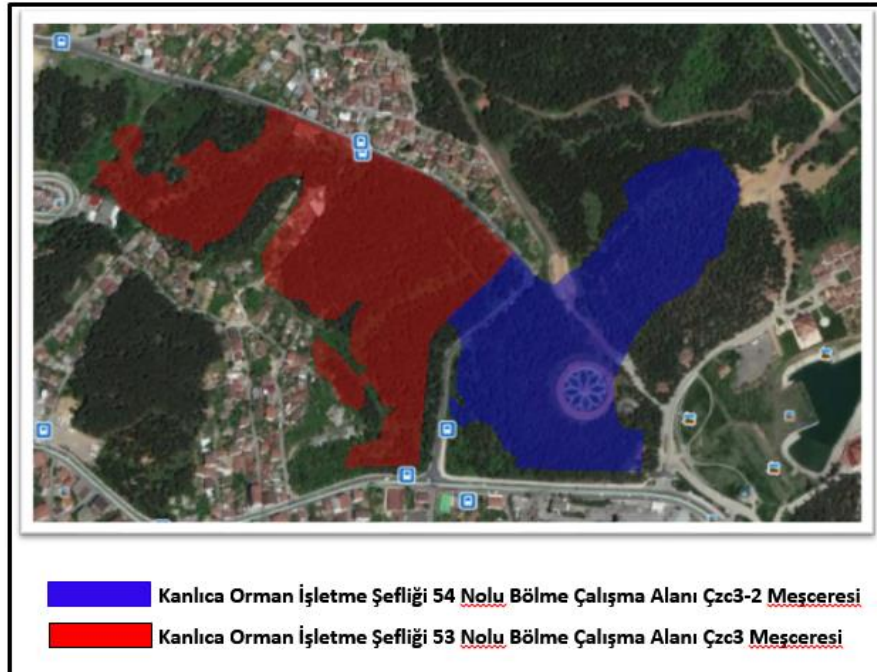


Fotoğraf 3.1 Örneklerin alındığı alandan bir görünüm

Araştırma alanı Kızılcım için, İstanbul Orman Bölge Müdürlüğü, Kanlıca Orman İşletme Müdürlüğü Kanlıca Orman İşletme Şefliği sınırları içinde yer alan Çzc3 ve Çzc3-2 tam kapalı ve orta kapalıdaki Kızılcım meşcerelerinde ölçüm ve gözlemler yapılmıştır. Çalışma alanının 1/25.000 ölçekli amenajman planlarındaki durumu Harita 3.3 ve uydu görüntüsü Harita 3.4’de verilmiştir.



Harita 3.3 Çalışma alanının meşcere haritası üzerindeki konumu (Kanlıca)



Harita 3.4 Çalışma alanının uydu görünümü (Kanlıca)

Kanlıca Orman İşletme Şefliğinin genel alanı; 5.871,5 ha. ormanlık, 5.910,0 ha. ormansız olmak üzere toplam 11.781,5 ha'dır. Çalışma Çzc3 meşceresinin bulunduğu toplam 15 ha'lık alanda yapılmıştır.

Çalışma yapılan Çzc3 meşceresindeki ağaç yaş sınıfı 61-80 yaş arasındır. Eğim %11, meşcere tipi Çzc3 (ince ağaçlık çağında, tam kapalı %71-100 kapalılığa sahip Kızılcım meşceresi) tir. d 1,30 çap sınıfı 20,0-35,9 cm'dir.

Yine bir başka örneklerin alındığı Çzc3-2 meşceresindeki ağaç yaş sınıfı 61-80 arasındır. Eğim %6, meşcere tipi Çzc3-2 (ince ağaçlık çağında, tam kapalı %71-100 ve orta kapalı %41-70 Kızılcım meşceresi)dir.

Coğrafi Konumu, 41° 08' 25 " – 41° 01' 25" Kuzey enlemleri ile 29° 02' 19 " – 29° 12' 44" Doğu boylamları arasında bulunmaktadır. Plan ünitesinin en yüksek yeri 440m. Alem Dağı, en alçak noktası ise deniz seviyesidir.

Topoğrafik yapısı, Marmara geçiş bölgesi iklim kuşağı içerisinde yarı nemli orman kuşağı ile Karadeniz ve İstanbul Boğazı'ndan gelen nemli hava akımları ile de kısmen nemli orman kuşağına sahiptir. Yükselti deniz seviyesinden 400 m'lere kadar çıkmakta ve genellikle orta eğimli ve kısa mesafedeki yamaçlardan oluşan peneplen benzeri bir arazi yapısından oluşmaktadır.

Klimatolojik Durum İstanbul boğazı ve etrafı Akdeniz ikliminin etkisindedir. Ama bu çevrede kuraklık güney ve batı kıyılarımızda olduğu kadar şiddetli değil ve süresi de uzun değildir. Bölgede Akdeniz makro ikliminin, don tehlikesinin de bulunduğu kış ayları şiddetli ve genellikle daha nemli bölgesel bir tipi olarak karşımıza çıkar. Karadeniz iklimi ve Akdeniz iklimi arası bir geçiş iklimine sahiptir. İstanbul yağış özelliği ile de kuzey ve güney arasında bir geçiş alanı meydana getirir.

Belirlenmiş olan çalışma alanlarında, oldukça düz veya düze yakın, yoğun ölü örtü homojen olduğu ve diri örtü yoğunluğu az veya hiç olmayan deneme alanları belirlenmiştir. Diğer taraftan deneme alanlarının ziraat alanı, yol, orman içi açıklık gibi yerlerden en az 40-50 m uzaklıkta ve meşcere içerisinde seçilmesine dikkat edilmiştir. Çünkü açık alanlar sıcaklık, rüzgar, nisbi nem ve güneş radyasyonu gibi yanıcı madde

nemi üzerinde doğrudan etkili olan faktörler yönünden meşçere içine göre değişiklik göstermektedir.

3.2 Nem İçeriğini Belirlemek İçin Örneklerin Alınması

Ölü örtü ve canlı yanıcı maddelere ait örnekler yangın açısından en tehlikeli ağaç türü olan kızılçam ve karaçam meşcerelerinden alınmıştır. Örnek alınma zamanı kızılçam için 2012-2013 yılları temmuz, ağustos ve eylül aylarıdır. Bu aylar sıcaklığın en yüksek nisbi nemin en düşük olduğu diğer bir ifade ile yangın potansiyelinin en yüksek olduğu aylardır. Karaçam için örnekleme Kastamonu'da 2010 yılında yine kızılçamda olduğu gibi yangın potansiyelinin en yüksek olduğu haziran, temmuz, ağustos ve eylül aylarında yapılmıştır. Nem içeriğinin belirlenmesi için yanıcı madde örnekleri canlı, ölü ve humus şeklinde üç kategoriden alınmıştır. Canlı yanıcı madde örnekleri ağaçların tepe taç kısmındaki ibre, sürgün, 0-0,3cm çaplı dal, 0,3-0,6cm çaplı dal kısımlarından alınmıştır ki, yanma özelliklerine göre yangın anında en fazla tüketilen yanıcı madde kısımlarını teşkil ederler. Ölü yanıcı maddeler ise, ölü örtü tabakasından alınmıştır. Bu tabakadaki yanıcı madde kısımları ölü ibre, 0-0,6cm çaplı dal, 0,6-2,5cm çaplı dal olmak üzere üç kategoriye ayrılmıştır. Ayrıca ölü örtünün alt kısmında yer alan humus tabakasından da humus örnekleri alınmıştır. Ölü örtüdeki ibreler 30 cm x 30 cm bir alan içerisinden alınarak poşetlenmiş ve ağzı kapatılmıştır. Aynı alan içerisinden humus tabakasından da örnek alınıp poşetlenmiş ve ağzı sıkıca bağlanarak hava almaları önlenmiştir.

Dal makası ile kesilen canlı sürgünler, ibreler ve ince dal örnekleri yaş olarak arazide tartılarak, daha sonra her bir örnek yanıcı madde kısmı laboratuvara götürülmek ve daha sonraki analizlerde kullanılmak üzere naylon poşete konulmuştur (Fotoğraf 3.2). Naylon poşetin üzerine yapıştırılan etikete örneğe ait tüm bilgiler; örnek numarası, alındığı tarih-saat, hava halleri bilgileri ve arazi ağırlıkları kaydedilmiştir. Aynı şekilde ölü örtü tabakasından da yanıcı madde nem içeriği için örnekler alınmıştır.

Canlı ve ölü yanıcı maddelerden ve humus tabakasından belirli miktarda ve standartlarda alınan yaş yanıcı madde örnekleri arazide hassas terazi ile tartılarak kayıt edilmiştir. Örnekleme dönemi boyunca meteorolojik ölçümler arazide mobil

meteorolojik el aleti olan Kestrel 4.500 ile yapılmıştır. Bunun yanında örnekleme alanına en yakın yerdeki meteoroloji istasyonlarından da örneklemenin yapıldığı dönemlere ait veriler (nisbi nem, rüzgar, sıcaklık, yağış) temin edilmiştir.

Yanıcı madde nem içeriğinin belirlenmesi için örneklerin alınma işlemi Haziran ayında başlanarak Eylül sonuna kadar 3 – 4 günlük zaman aralıklarında ve standart ölçüm zamanı olan öğle saatlerinde 13:00-14:00 arasında yapılmıştır. Her arazi çalışmasının yapıldığı gün 4 adet canlı yanıcı madde ve 4 adet ölü yanıcı madde örneği olmak üzere toplamda 8 adet yanıcı madde örneği alınmıştır (Fotoğraf 3.3).



Fotoğraf 3.2 YM ve humus nem örneklerinin alınarak naylon poşetlere yerleştirilmesi



Fotoğraf 3.3 Her arazi çalışması yapıldığı gün alınan 8 adet yanıcı madde örnekleri

3.3 Nem İçeriklerinin Belirlenmesi

Çalışma alanından alınan canlı (ibre, sürgün, 0-0,3 cm ve 0,3-0,6 cm çapında dal) ve ölü yanıcı madde (ölü ibre, 0-0,6 cm ve 0,6-2,5 cm çapında kuru dal) örnekleri ile humus tabakasının 30 cm × 30 cm ebadındaki alandan (Fotoğraf 3.4) alınan örneklerin yaş ağırlıkları arazide tartılarak ağırlıkları poşetlerin üzerindeki örnek tanımlama fişlerine yazılmıştır.

Alınan bu örneklerin fırın kuru ağırlıklarını ölçmek üzere laboratuvarında 105°C de 24 saat tutulmuştur. Kurutulmuş olan bu örnekler yeniden elektronik terazi ile 0,01 gr hassasiyet ile tartılıp fırın kuru ağırlıkları belirlenmiştir. Sonucunda ise yaş ve kuru ağırlıklar arasında yapılan ölçümlerde canlı, ölü ve humus yanıcı madde kısımlarına ait nem içeriği değerleri belirlenmiştir.



Fotoğraf 3.4 Ölü yanıcı madde örnekleri ve humus tabakasından alınan örneklerin deneme alanı 30 cm × 30 cm

3.4 Meteorolojik Ölçümler

Araştırma yapılan alanının meteorolojik verileri (sıcaklık, bağıl nem, rüzgar) kestrel adı verilen ölçüm cihazı yardımıyla örneklerin alındığı zamanlarda yani 13:00 - 14:00 saatleri arasında ölçülüp kaydedilmiştir. Ölçümler sırasında nisbi nem, sıcaklık, rüzgar verilerinin ortalama değerlerinin doğru okunabilmesi için kestrel ölçüm cihazı 10 dakika boyunca açık bırakılarak değerlerin değişmediği ya da en az değiştiği zamanda okunan değerler kaydedildi. Bu okumalar her örneğin alınma sırasında kaydedilmiştir. Aynı zamanda Kastamonu ve İstanbul Meteoroloji Müdürlüklerinden Haziran, Temmuz, Ağustos, Eylül aylarına ait nisbi nem, sıcaklık, rüzgar ve yağış değerleri alındı.

3.5 Laboratuvar Ölçümleri

Alınan örnekler laboratuvara getirilip kurutma fırınında 105°C'de 24 saat süre ile ağırlıklarında bir değişme olmayıncaya kadar kurutulduktan (Fotoğraf 3.5) sonra hassas terazi ile tartılarak kuru ağırlıkları belirlendi (Fotoğraf 3.6). Yanıcı maddenin yaş ağırlığı ile kuru ağırlığı arasındaki ilişkiye göre her bir yanıcı madde kategorisine

ait nem içeriği belirlenmiş oldu. Her bir yanıcı madde kısmının nem içeriğinin belirlenmesinde aşağıdaki formül kullanılmıştır.

$$\text{Yanıcı madde nem içeriği (\%)} = \frac{\text{yaş ağırlık} - \text{kuru ağırlık}}{\text{kuru ağırlık}} \times 100 \quad (3.1)$$



Fotoğraf 3.5 Alınan örneklerin kurutma fırınında kurutulması



Fotoğraf 3.6 Kurutulan örneklerin tartılması

3.6 İstatistik analizler

SPSS 22.0 paket programına yanıcı madde nem içeriğine ait veriler (kuruma yüzdeleri) ile meteorolojik (nisbi nem, sıcaklık, rüzgar, yağış) veriler girilerek bu veriler arasında ilişki olup olmadığını belirlemek için korelasyon analizi, yanıcı madde nem içeriğinin tayini için regresyon analizleri yapılmıştır. Regresyon analizlerinde tahmin edilecek yanıcı madde nem içeriği kısmı bağımlı değişken, meteorolojik parametreler ise bağımsız değişken olarak kullanılmıştır. Modellerde kullanılan değişkenlerin normal dağılım gösterip göstermediği K-S testi ile test edilmiş olup normal dağılım göstermeyen değişkenlere logaritmik dönüşüm uygulanmıştır.

Analizlerde doğrusal ve doğrusal olmayan modeller geliştirilmiş olup, tahmin gücüne etki eden en önemli parametreler SPSS istatistik analiz programında stepwise metodu ile belirlenmiştir. Geliştirilen modellerin belirtme katsayısı (R^2) ile standart hata değerleri modellerde ifade edilmiştir.

4. BULGULAR

Çalışma sonucunda elde edilen veriler Tablo 4.1, Tablo 4.2 ve Tablo 4.3'te verilmiştir.

Kızılçam meşceresinde ölü ve canlı yanıcı madde nem içeriğinin belirlenmesine yönelik yapılan ölçümlere ait veriler incelendiğinde canlı ibre örneklerinde nem içeriğinin %121 ile %300 arasında, sürgün nem içeriğinin %140-%390 arasında, canlı çok ince dal (<3mm) nem içeriğinin %65-%250 arasında, canlı ince dal (3- 6mm) nem içeriğinin %37-%340 arasında değiştiği belirlenmiştir. Ölü ibre nem içeriği ise %7-23 arasında, humus nem içeriği ise %27-%44 arasında değişmiştir. En yüksek ölçülen sıcaklık istasyon sıcaklığı 26,8 °C olmuştur (Tablo 4.1).

Kızılçam meşceresinde ölü ve canlı yanıcı madde nem içeriği bağımlı değişkenleri ile hava halleri olan sıcaklık, nisbi nem, rüzgar ve yağış gibi bağımsız değişkenler arasında korelasyon analizi ile ilişki olup olmadığı analiz edilmiştir (Tablo 4.2). Analiz sonuçlarına göre; Canlı ibre nem içeriği ile sıcaklık arasında ($p < 0,05$; $r = 0,48$) bir ilişki olduğu görülmüştür. Diğer hava halleri ile canlı nem içeriği arasında bir ilişki tespit edilememiştir. 3mm çapında ince dal nem içeriğinin ise sadece arazide ölçülen nisbi nem ile ilişkili olduğu ortaya çıkmıştır ($p < 0,05$; $r = 0,52$). 6mm çapındaki canlı dal nem içeriği ile meteorolojik parametreler arasında anlamlı bir ilişki tespit edilememiştir. Genel olarak bakıldığında kızılçam meşcerelerinde canlı yanıcı madde nem içeriği ile hava halleri (sıcaklık, nisbi nem, rüzgar, yağış) arasında anlamlı bir ilişki olmadığı ifade edilebilir.

Kızılçam meşceresi ölü yanıcı madde nem içerikleri ile meteorolojik parametreler arasında ilişki olup olmadığını tespit etmek için yapılan korelasyon analizi sonucunda; ölü ibre nem içeriği ile nem ve sıcaklık arasında anlamlı ($p < 0,01$) bir ilişki olduğu görülmektedir. Benzer şekilde 6mm çapına kadar kalınlıkta olan ölü dal nem içeriği ile sıcaklık, nem, rüzgar ve yağış arasında anlamlı bir ilişki olduğu korelasyon tablosunda görülmektedir. Humus nem içeriği ile benzer şekilde sıcaklık ve nisbi nem içeriği arasında da anlamlı ilişki olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 4.1 Kızılçam meşceresi yanıcı madde nem içeriği ve hava halleri veri özeti

Tanımlayıcı istatistik özet tablosu							
	N	Minimum	Maximum	Mean		Std. Deviation	Variance
				Statistic	Std. Error	Statistic	Statistic
Canlı ibre	18	121,05	300,00	190,8511	11,26445	47,79100	2283,980
Canlı sürgün	18	140,62	390,90	244,0856	19,23639	81,61308	6660,695
Canlı dal 3mm	18	65,00	250,00	167,7194	12,53315	53,17366	2827,438
Canlı dal 6mm	18	37,77	340,00	190,6056	20,54018	87,14461	7594,184
Ölü ibre	18	7,40	23,66	15,6539	1,09005	4,62468	21,388
Ölü dal 6mm	18	11,63	30,55	19,0444	1,24693	5,29027	27,987
Ölü dal 25mm	18	8,10	27,06	16,1083	1,23098	5,22262	27,276
Humus	18	27,69	44,66	36,6178	1,17103	4,96824	24,683
Arazi T	18	22,20	36,00	28,0111	0,86809	3,68301	13,565
Arazi RH	18	42,00	75,00	56,8889	2,38444	10,11632	102,340
Arazi R	18	0,00	4,20	1,2833	0,26113	1,10786	1,227
İst T	18	21,00	26,80	24,3500	0,45678	1,93793	3,756
İst RH	18	55,00	80,00	70,3333	1,84710	7,83657	61,412
İst W	18	2,10	11,20	7,7611	,53052	2,25079	5,066

Tablo 4.2 Kızılcım meşçeresi yanıcı madde nem içeriği ve hava halleri arasındaki ilişkiyi gösteren korelasyon tablosu

		Correlations													
	Canlı ibre	sürgün	Dal 3mm	Dal 6mm	Ölü ibre	Ölü dal 6mm	Ölü dal 25mm	humus	araziT	araziRH	araziR	istT	istRH	istW	
Canlı ibre	1	0,473*	0,389	0,448	0,360	0,146	0,356	0,238	-0,311	0,016	0,202	-0,460	-0,252	-0,042	
										0,948	0,422	0,055	0,314	0,867	
										18	18	18	18	18	
Sürgün	0,473*	1	0,236	0,471*	0,179	-0,124	-0,126	-0,108	0,149	-0,207	0,639**	-0,038	-0,066	-0,097	
											0,004	0,882	0,794	0,702	
											18	18	18	18	
Dal 3mm	0,389	0,236	1	0,630**	0,314	0,202	-0,102	0,014	-0,340	0,103	0,510*	-0,521*	-0,140	0,040	
											0,030	0,026	0,580	0,874	
											18	18	18	18	
Dal 6mm	0,448	0,471*	0,630**	1	0,310	0,018	0,013	-0,050	-0,202	-0,203	0,469*	-0,532*	-0,129	-0,196	
											0,419	0,050	0,023	0,609	
											18	18	18	18	
Ölü ibre	0,360	0,179	0,314	0,310	1	0,814**	0,514*	0,697**	-0,904**	0,517*	0,008	-0,737**	0,066	-0,022	
											0,028	0,973	0,000	0,794	
											18	18	18	18	
Ölü dal 6mm	0,146	-0,124	0,202	0,018	0,814**	1	0,556*	0,802**	-0,870**	0,737**	-0,259	-0,533*	0,134	-0,030	
											0,000	0,299	0,023	0,596	
											18	18	18	18	
Ölü dal 25mm	0,356	-0,126	-0,102	0,013	0,514*	0,556*	1	0,627**	-0,577*	0,349	-0,451	-0,541*	0,191	-0,002	
											0,156	0,060	0,020	0,448	
											18	18	18	18	
Humus	0,238	-0,108	0,014	-0,050	0,697**	0,802**	0,627**	1	-0,745**	0,529*	-0,544*	-0,544*	-0,055	-0,091	
											0,024	0,020	0,020	0,828	
											18	18	18	18	

Tablo 4.2'nin devamı

	Correlations													
	Canlı ibre	sürgün	Dal 3mm	Dal 6mm	Ölü ibre	Ölü dal 6mm	Ölü dal 25mm	humus	araziT	araziRH	araziR	istT	istRH	istW
Arazit	-0,311	0,149	-0,340	-0,202	-0,904**	-0,870**	-0,577*	-0,745**	1	-0,627**	0,178	0,789**	0,002	-0,037
										0,005	0,480	0,000	0,993	0,885
										18	18	18	18	18
Arazirh	0,016	-0,207	0,103	-0,203	0,517*	0,737**	0,349	0,529*	-0,627**	1	-0,193	-0,294	0,478*	0,400
											0,443	0,236	0,045	0,100
											18	18	18	18
Arazir	0,202	0,639**	0,510*	0,469*	0,008	-0,259	-0,451	-0,544*	0,178	-0,193	1	-0,068	0,058	0,149
										0,443		0,790	0,818	0,556
										18	18	18	18	18
İstt	-0,460	-0,038	-0,521*	-0,532*	-0,737**	-0,533*	-0,541*	-0,544*	0,789**	-0,294	-0,068	1	0,031	-0,090
										0,236	0,790		0,904	0,721
										18	18	18	18	18
İstrh	-0,252	-0,066	-0,140	-0,129	0,066	0,134	0,191	-0,055	0,002	0,478*	0,058	0,031	1	0,506*
										0,045	0,818	0,904		0,032
										18	18	18	18	18
İstw	-0,042	-0,097	0,040	-0,196	-0,022	-0,030	-0,002	-0,091	-0,037	0,400	0,149	-0,090	0,506*	1
										0,100	0,556	0,721	0,032	
										18	18	18	18	18

*. Correlation is significant at the 0,05 level (2-tailed).

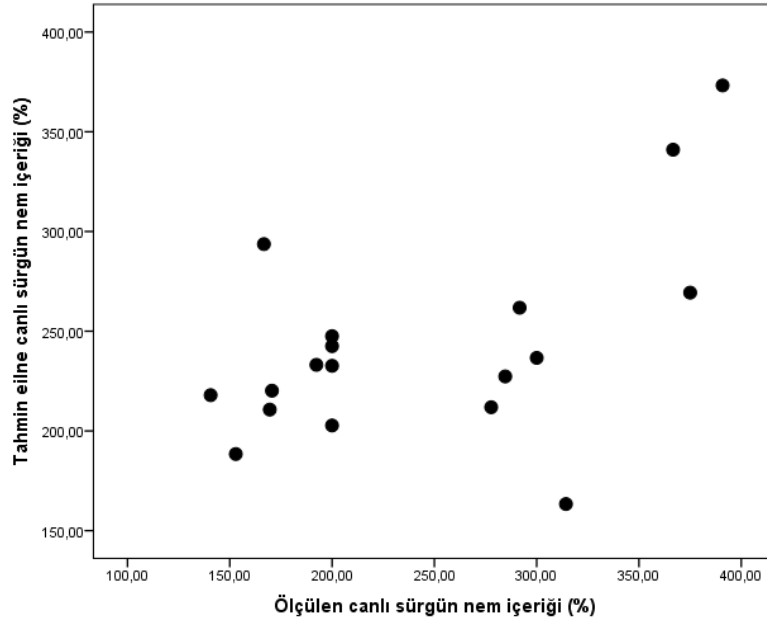
** . Correlation is significant at the 0,01 level (2-tailed).

Kızılcıçamda bağımsız değişken olarak kullanılan meteorolojik parametreler ile bağımlı değişkenler olarak kullanılan yanıcı madde kategorileri nem içerikleri arasında ilişkinin derecesini belirlemek için regresyon analizleri yapılmıştır. Regresyon analizlerinde Stepwise metodu kullanılarak bağımlı değişkenler üzerinde en etkili olan bağımsız değişkenler ve bu değişkenlere ait katsayılar belirlenmiştir.

Canlı ibre nem içeriğini tahmin etmek için yapılan analizlerde bağımlı değişkenler ile bağımsız değişkenler arasında anlamlı bir ilişki bulunamamıştır. Canlı sürgün nem içeriğini tahmin etmek için yapılan regresyon analizleri sonucunda yapılan ölçümlerde sadece arazide ölçülen rüzgar hızının etkili olduğu görülmüştür. Canlı sürgün nem içeriğinin tahmin edilmesi için yapılan analizde değişkenliğin %41'i ($R^2 = 0,41$; $P < 0,01$) rüzgar hızı tarafından açıklanmaktadır (Tablo 4.3).

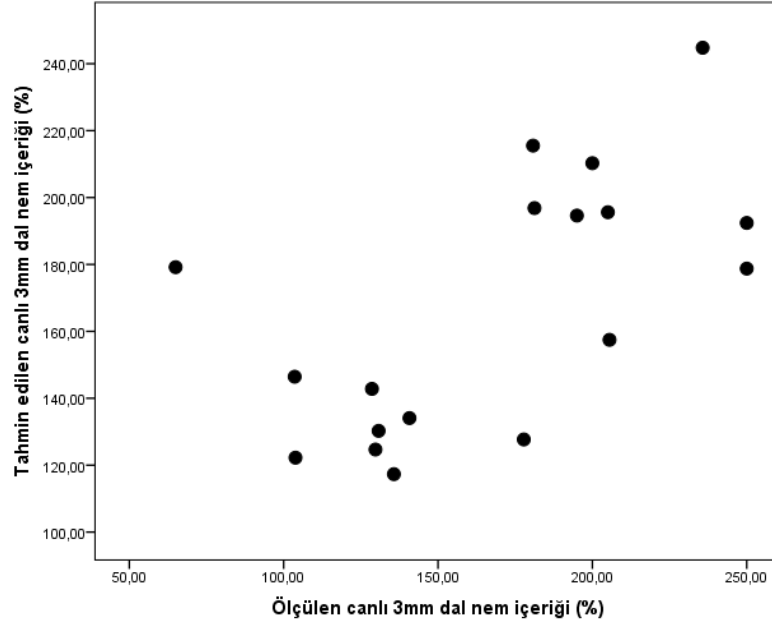
Tablo 4.3 Kızılcıçam meşcerelerinde yanıcı madde nem içeriklerini hava hallerine göre tahmin eden regresyon modelleri

Bağımlı değişkenler	Model formu	Parametre tahminleri			R^2	Adj R^2	SH
		a	b	c			
<i>Canlı sürgün nem içeriği (%)</i>	<i>Canlı sürgün = a + bRüzgar_arazi</i>	183,66	47,08	-	0,41	0,37	64,69
<i>Canlı dal (<3mm) nem içeriği (%)</i>	<i>Canlı dal = a + bSıcaklık_istasyon + cRüzgar_arazi</i>	465,12	-13,42	22,91	0,50	0,43	40,08
<i>Canlı dal (3-6mm) nem içeriği (%)</i>	<i>Canlı dal = a + bSıcaklık_istasyon + cRüzgar_arazi</i>	697,27	-22,61	34,20	0,47	0,40	67,44
<i>Ölü ibre nem içeriği (%)</i>	<i>Ölü ibre = a + bSıcaklık_arazi</i>	47,446	-1,135		0,82	0,81	2,039
<i>Ölü dal (<6mm) nem içeriği (%)</i>	<i>Ölü dal = a + bSıcaklık_arazi</i>	54,06	-1,71		0,76	0,74	2,68
<i>Humus nem içeriği (%)</i>	<i>Humus = a + bSıcaklık_arazi + cRüzgar_arazi</i>	64,35	-0,903	-1,904	0,73	0,70	2,75

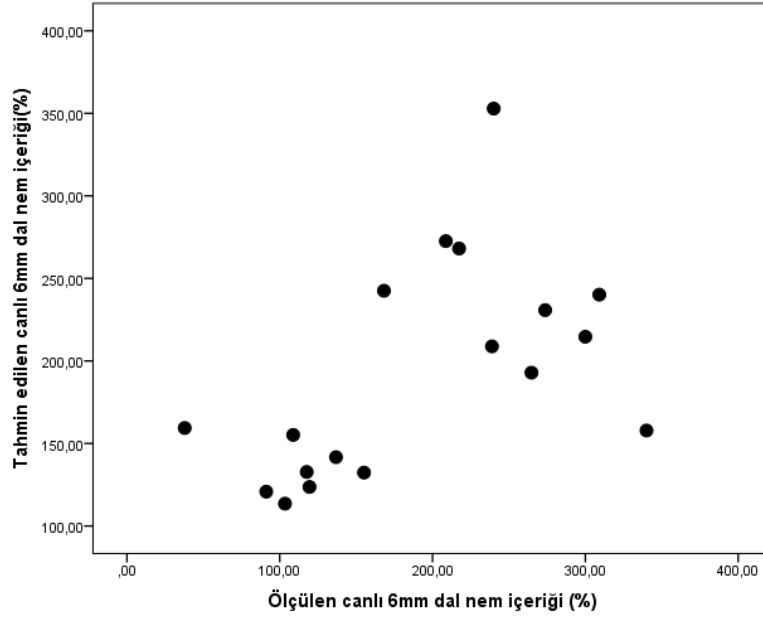


Şekil 4.1 Kızılçamda rüzgara bağlı olarak tahmin edilen ve ölçülen canlı sürgün nem içeriği arasındaki ilişki

Canlı 3 mm dal nem içeriğini tahmin etmek için yapılan analizlerde arazide ölçülen rüzgar hızının ve istasyonda ölçülen sıcaklığın etkili olduğu görülmüştür. Canlı 3 mm dal nem içeriğinin tahmin edilmesi için yapılan analizde değişkenliğin %50'si ($R^2 = 0,50$; $P < 0,01$) rüzgar hızı ve sıcaklık tarafından açıklanmaktadır (Şekil 4.2). Benzer şekilde Canlı 3-6mm dal nem içeriğini tahmin etmek için yapılan analizlerde arazide ölçülen rüzgar hızının ve istasyonda ölçülen sıcaklığın etkili olduğu görülmüştür. Canlı 3 mm dal nem içeriğinin tahmin edilmesi için yapılan analizde değişkenliğin %47'si ($R^2 = 0,47$; $P < 0,01$) rüzgar hızı ve sıcaklık tarafından açıklanmaktadır (Şekil 4.3). Buradan da görüldüğü üzere canlı yanıcı maddenem içeriği kategorileri ile meteorolojik parametreler arasında çok anlamlı ilişkiler tespit edilememiştir. Bunun birçok sebebi olabilir. Örneğin vejetasyon mevsiminde hava sıcaklıkları çok yüksek olup buna bağlı ölü örtü nem içerikleri çok düşük olsa bile, ağacın canlı kısımlarındaki su içeriği miktarı çok yüksek olacağından nem içeriği çok yüksek çıkacaktır. Ölü örtü nem içerikleri ile meteorolojik parametrelerin anlamlı etkileşimi söz konusu iken canlı kısımlar için aynı durum söz konusu olmayacaktır. Diğer taraftan örneğin alındığı mevsim, ay, ağacın türü, boniteti, yetişme muhiti, bakışı ve toprak özellikleri gibi çevresel birçok faktör canlı yanıcı madde nem içeriğindeki değişimi etkilemektedir.



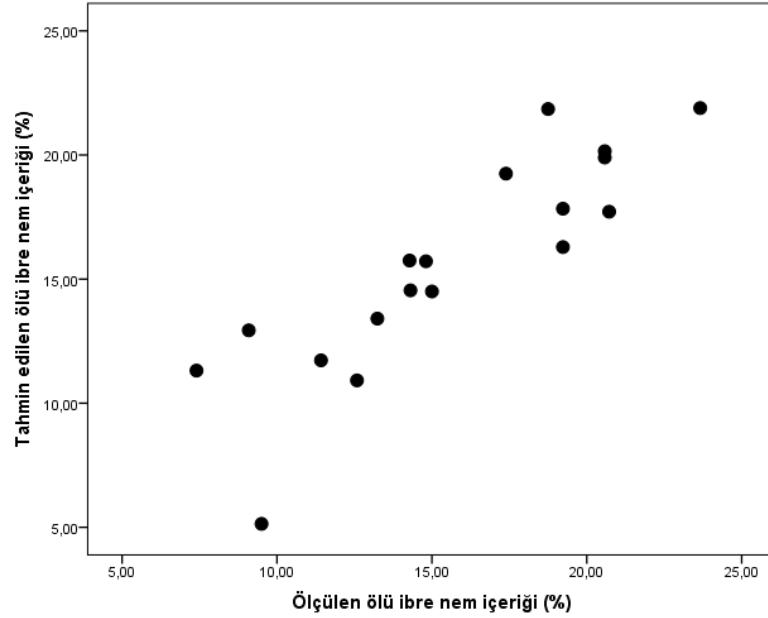
Şekil 4.2 Kızılcıamda sıcaklık ve rüzgara bağlı olarak tahmin edilen ve ölçülen canlı 3mm dal nem içeriği arasındaki ilişki



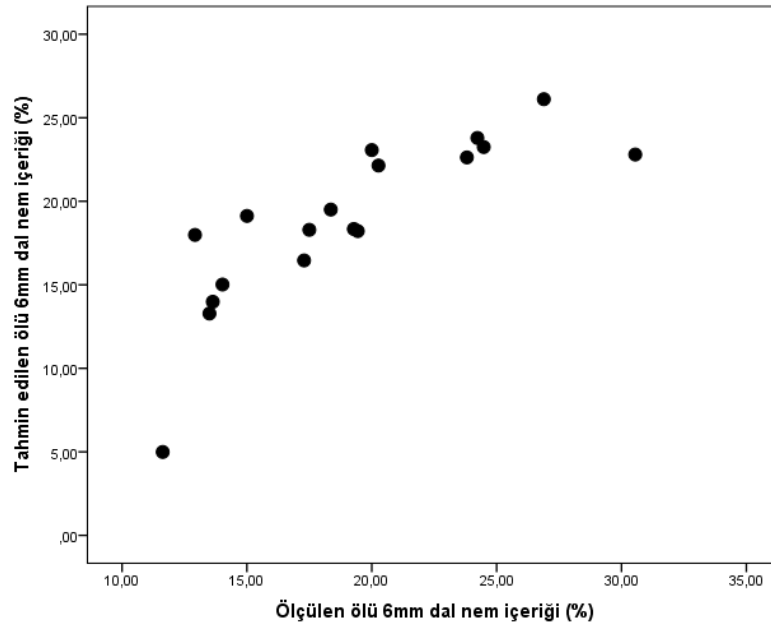
Şekil 4.3 Kızılcıamda sıcaklık ve rüzgara bağlı olarak tahmin edilen ve ölçülen canlı 6mm dal nem içeriği arasındaki ilişki

Ölü ibre nem içeriğini tahmin etmek için yapılan regresyon analizleri sonucunda ölü ibre nem içeriğindeki en etkili faktörün sıcaklık olduğu görülmüştür. Ölü ibre nem içeriğindeki değişkenliğin %82'si ($R^2 = 0,82$; $P < 0,01$) tek başına arazide ölçülen sıcaklık değeri tarafından açıklanmaktadır (Şekil 4.4). Ölü 6mm kalınlığa kadar olan dallardaki nem içeriğini tahmin etmek için yapılan regresyon analizleri sonucunda en

etkili faktörlerin de ölü ibrede olduğu gibi tek başına arazide ölçülen sıcaklık değeri olduğu görülmüştür. Ölü 6mm kalınlıktaki dal nem içeriğindeki değişkenliğin %76'sı ($R^2 = 0,76$; $P < 0,01$) tek başına arazide ölçülen sıcaklık değeri tarafından açıklanmaktadır (Şekil 4.5).

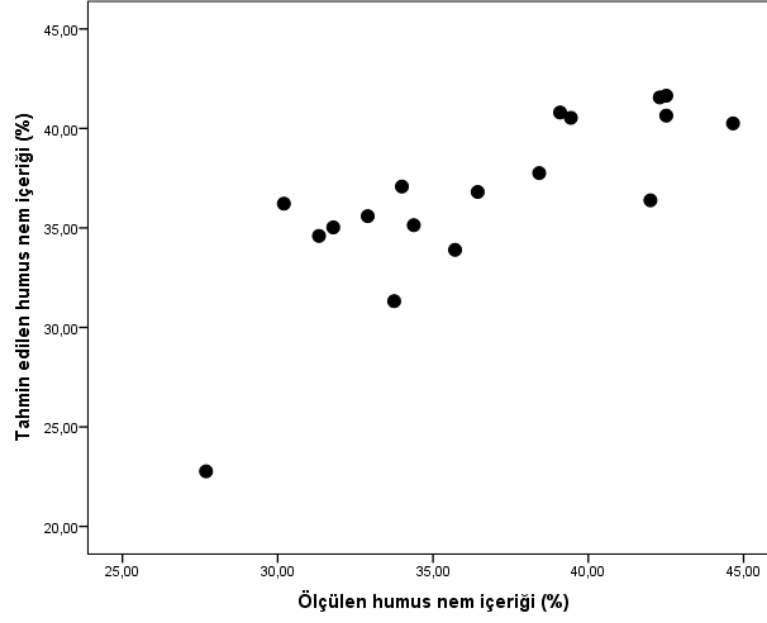


Şekil 4.4 Kızılda sıcaklığa bağlı olarak tahmin edilen ve ölçülen ölü ibre nem içeriği arasındaki ilişki



Şekil 4.5 Kızılda sıcaklığa bağlı olarak tahmin edilen ve ölçülen ölü 6mm dal nem içeriği arasındaki ilişki

Kızılçamda humus nem içeriğini etkileyen en önemli faktörlerin arazide ölçülen sıcaklık ve rüzgar değeri olduğu görülmüştür. Humus nem içeriğindeki değişkenliğin %73'lük kısmı ($R^2 = 0,73$; $P < 0,01$) sıcaklık ve rüzgar değeri ile açıklanmaktadır (Şekil 4.6).



Şekil 4.6 Kızılçamda rüzgar ve sıcaklığa bağlı olarak tahmin edilen ve ölçülen humus nem içeriği arasındaki ilişki

Karaçam canlı ve ölü yanıcı madde nem içeriklerini belirlemek için çalışma sonucunda elde edilen veriler Tablo 4.4, Tablo 4.5 ve Tablo 4.6'da verilmiştir.

Karaçam meşçeresinde ölü ve canlı yanıcı madde nem içeriğinin belirlenmesine yönelik yapılan ölçümlere ait veriler incelendiğinde canlı ibre örneklerinde nem içeriğinin %146 ile %285 arasında, sürgün nem içeriğinin %119-%591 arasında, canlı çok ince dal (<3mm) nem içeriğinin %48-%164 arasında, canlı ince dal (3- 6mm) nem içeriğinin %53-%157 arasında değiştiği belirlenmiştir. Ölü ibre nem içeriği ise %1,5-104 arasında, humus nem içeriği ise %6-%329 arasında değişmiştir. En yüksek ölçülen sıcaklık istasyon sıcaklığı 36,5 °C olmuştur (Tablo 4.4).

Karaçam meşçeresinde ölü ve canlı yanıcı madde nem içeriği bağımlı değişkenleri ile hava halleri olan sıcaklık, nisbi nem, rüzgar ve yağış gibi bağımsız değişkenler arasında korelasyon analizi ile ilişki olup olmadığı analiz edilmiştir (Tablo 4.4). Analiz sonuçlarına göre; Canlı ibre nem içeriği ile sıcaklık arasında ($p < 0,05$; $r = 0,48$) bir

ilişki olduğu görülmüştür. Diğer hava halleri ile canlı ibre nem içeriği arasında bir ilişki tespit edilememiştir. 3mm çapında ince dal nem içeriğinin ise sadece arazide ölçülen nisbi nem ile ilişkili olduğu ortaya çıkmıştır ($p<0,05$; $r=0,52$).

Karaçam meşçeresi ölü yanıcı madde nem içerikleri ile meteorolojik parametreler arasında ilişki olup olmadığını tespit etmek için yapılan korelasyon analizi sonucunda; Ölü yanıcı madde kısımlarının daha çok nisbi nem içeriği ve sıcaklık arasında anlamlı bir ilişki olduğu görülmektedir (Tablo 4.5).

Tablo 4.4 Karaçam meşçeresi yanıcı madde nem içeriği ve hava halleri veri özeti

	Canlı ibre (%)	Canlı Sürgün (%)	Dal 3mm (%)	Dal 6mm (%)	Ölü ibre (%)	Ölü dal 6mm (%)	Ölü dal 25mm (%)	Humus (%)	Arazi Sıcaklık (°C)	Arazi Nem (%)	Arazi Rüzgar	İsts sıcaklık	İsts nem	İsts rüzg	İsts yağış (mm)
Ort	210	292	108	101	22	25	34	64	27	42	2	27	39	2	11
Std hata	8	30	5	6	6	8	10	20	1	3	0,2	1,15	3,35	0,23	4,15
Stan sapma	41	139,02	26,26	29,04	28,515	41,16	49,0	92,23	4,97	14,80	0,94	5,27	15,37	1,0	10,99
Minimum	146	119,44	48,77	53,17	1,51	0,15	1,62	6,45	19,30	16,90	0,70	17,3	18,00	0,00	1,20
Maximum	285	591,35	164,79	157,14	104,87	145,01	177,21	329,06	33,80	70,00	4,50	36,5	64,00	4,10	26,20

Tablo 4.5 Karaçam meşçeresi yanıcı madde nem içeriği ve hava halleri arasındaki ilişkiyi gösteren korelasyon tablosu

	Canlı ibre	Canlı surgun	Dal 3mm	Dal 6mm	Olu ibre	Olu dal 6mm	Olu Dal 25mm	humus	Arazi sıcaklık	Arazi nem	Arazi rüzgar	İsts sıcaklık	İsts nem	İsts rüzg	İsts yağış
Canlı ibre	1														
Canlı sürgün	0,524*	1													
Dal 3mm	0,168	0,691	1												
Dal 6mm	0,194	0,481*	0,382	1											
Ölü ibre	0,023	0,432	0,512*	0,055	1										
Ölü dal 6mm	0,150	0,539*	0,546*	0,164	0,908	1									
Ölü dal 25mm	0,149	0,489*	0,378	0,104	0,877	0,931	1								
Humus	0,146	0,692	0,666	0,291	0,894	0,947	0,896	1							

Tablo 4.5'in devamı

	Canli ibre	Canli surgun	Dal 3mm	Dal 6mm	Olu ibre	Olu dal 6mm	Olu Dal 25mm	humus	Arazi sıcaklık	Arazi nem	Arazi rüzgar	İsts sıcaklık	İsts nem	İsts rüzg	İsts yağış
Arazi sıcaklık	0,484*	-0,065	-0,224	0,144	-0,627	-0,501*	-0,409	-0,483*	1						
Arazi nem	-0,326	0,394	0,522*	-0,083	0,692	0,586	0,527*	0,668	-0,752	1					
Arazi rüzgar	-0,445	-0,307	-0,167	-0,090	-0,451	-0,552*	-0,650	-0,566*	-0,001	-0,008	1				
İstasyon sıcaklık	0,474*	-0,114	-0,209	0,140	-0,572	-0,435*	-0,351	-0,445*	0,965	-0,737	-0,018	1			
İstasyon nem	-0,401	0,368	0,392	-0,137	0,552	0,436*	0,379	0,542*	-0,698	0,920	0,075	-0,767	1		
İstasyon rüzgar	0,192	0,094	-0,032	0,068	0,229	0,156	0,128	0,141	-0,210	0,137	-0,097	-0,236	0,095	1	
İstasyon yağış	0,395	0,366	0,717	0,361	0,615	0,759	0,665	0,637	-0,508	0,261	-0,548	-0,350	-0,086	0,310	1

*. Correlation is significant at the 0,05 level (2-tailed).

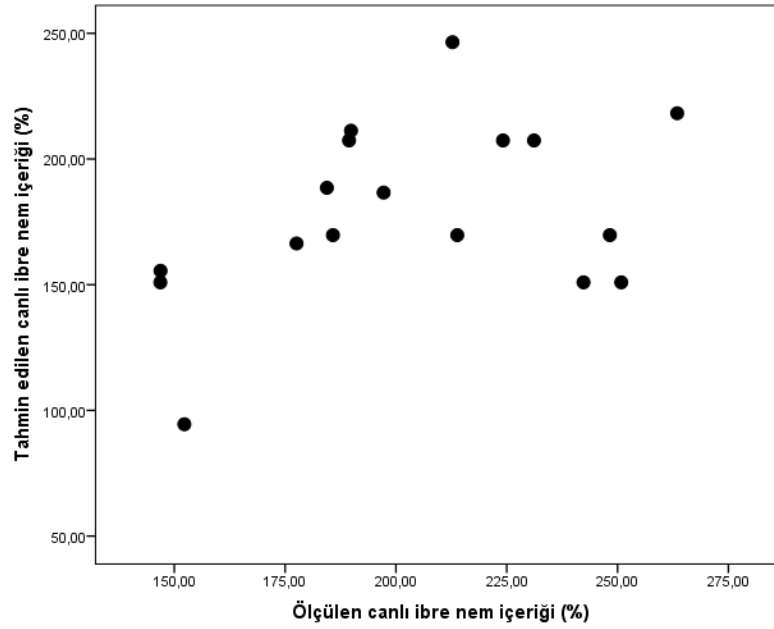
Karaçamda ölü ve canlı yanıcı madde nem içeriklerini tahmin etmek için regresyon modelleri geliştirilmiştir. Canlı ibredeki nem içeriğinin sadece arazide ölçülen rüzgara bağlı olarak değişkenliğin %74'ü ($R^2 = 0,74$) açıklanabilmektedir (Şekil 4.7). Benzer şekilde canlı sürgünlerdeki nem içeriğinde değişkenliğin %59'u sadece arazide ölçülen rüzgara bağlı olarak açıklanabilmektedir (Şekil 4.8). Karaçamda ölü örtü yanıcı madde nem içeriğini tahmin etmek için bağımsız değişkenlere logaritmik dönüşüm uygulandıktan sonra yapılan analizde arazide ölçülen sıcaklık ve nisbi neme bağlı olarak geliştirilen modelde açıklanan değişkenliğin %96 olduğu görülmektedir (Şekil 4.9). Ölü dallardaki nem içeriklerini tahmin eden modellere bakıldığında açıklanan değişkenliğin %75-%98 arasında değişmekle birlikte arazide ölçülen rüzgar ve sıcaklık bağımsız değişkenleri ile tahmin edilmektedir (Şekil 4.10; Şekil 4.11). Humus nem içeriği tahmin eden modele bakıldığında sadece rüzgara bağlı olarak değişkenliğin %88'i açıklanırken, modele ikinci bir bağımsız değişken olarak nisbi nem eklendiğinde değişkenliğin açıklanan kısmının %98'e çıktığı görülmektedir (Şekil 4.12).

Tablo 4.6 Karaçam meşcerelerinde yanıcı madde nem içeriklerini hava hallerine göre tahmin eden regresyon modelleri

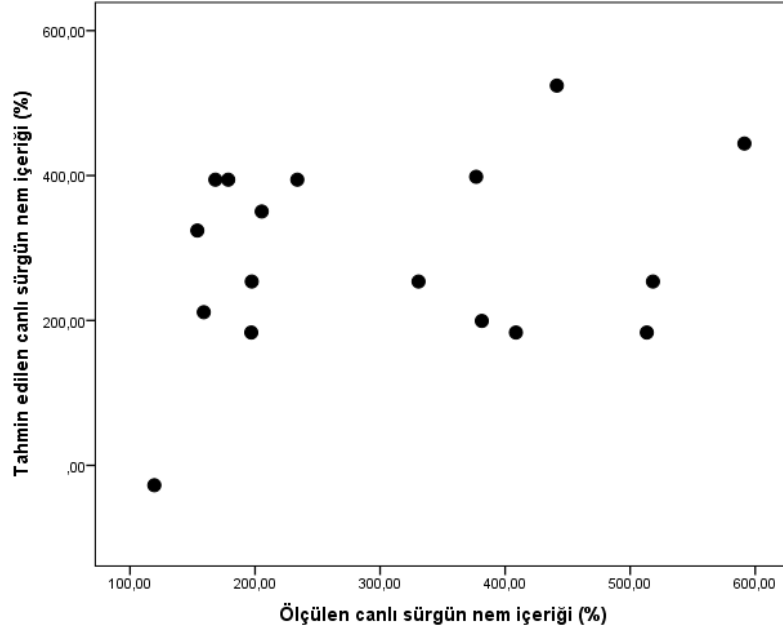
Bağımlı değişkenler	Model formu	Parametre tahminleri			R^2	Adj R^2	SH
		a	b	c			
Canlı ibre nem içeriği (%)	$Canlıibre = a + bRüzgar_{arazi}$	263,81	-37,63	-	0,79	0,74	19,84
Canlı sürgün nem içeriği (%)	$Canlısürgün = a + bRüzgar_{arazi}$	605,25	-140,61	-	0,67	0,59	101,36
Ölü ibre nem içeriği (%)	$Ölüibre = a + bSıcaklık_{arazi} + cnisbinem$	17,260	-4,062	-0,455	0,97	0,96	0,1766
Ölü dal (<6mm) nem içeriği (%)	$Ölü dal = a + bRüzgar_{arazi}$	167,89	-59,85	-	0,75	0,69	35,46
Ölü dal (<6mm) nem içeriği (%)	$Ölü dal = a + bRüzgar_{arazi} + csıcaklık_{arazi}$	328,10	-59,85	-0,84	0,98	0,96	12,44
Ölü dal (6-25mm) nem içeriği (%)	$Ölü dal = a + bRüzgar_{arazi}$	195,99	-64,47	-	0,76	0,70	37,03

Tablo 4.6'nın devamı

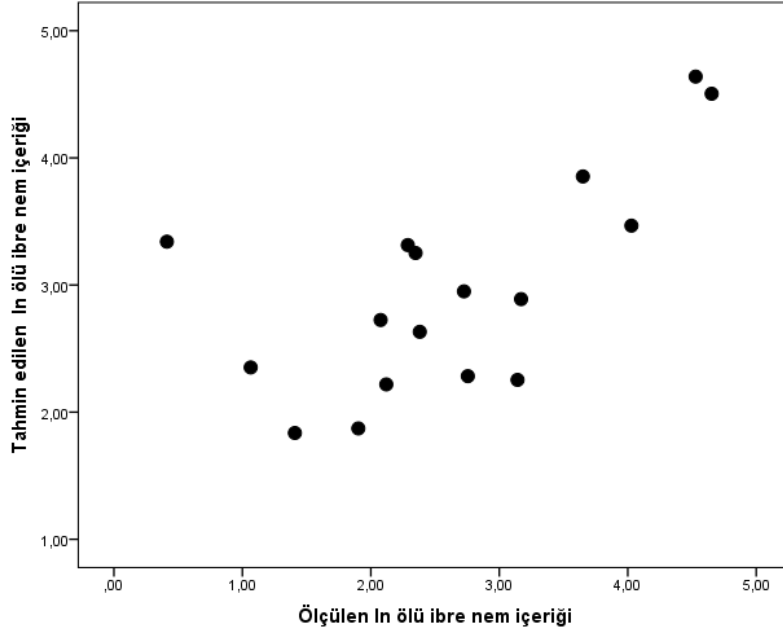
Bağımlı değişkenler	Model formu	Parametre tahminleri			R ²	Adj R ²	SH
		a	b	c			
Ölü dal (6-25mm) nem içeriği (%)	Ölü dal= a+bRüzgar_arazi + csıcaklık_arazi	365,67	-64,83	-7,24	0,98	0,97	11,06
Humus nem içeriği (%)	Humus= a+bRüzgar_arazi	376,36	-120,88	-	0,88	0,85	46,43
Humus nem içeriği (%)	Humus= a+bRüzgar_arazi +cnisbinem_arazi	125,92	-104,78	3,87	0,97	0,95	25,41



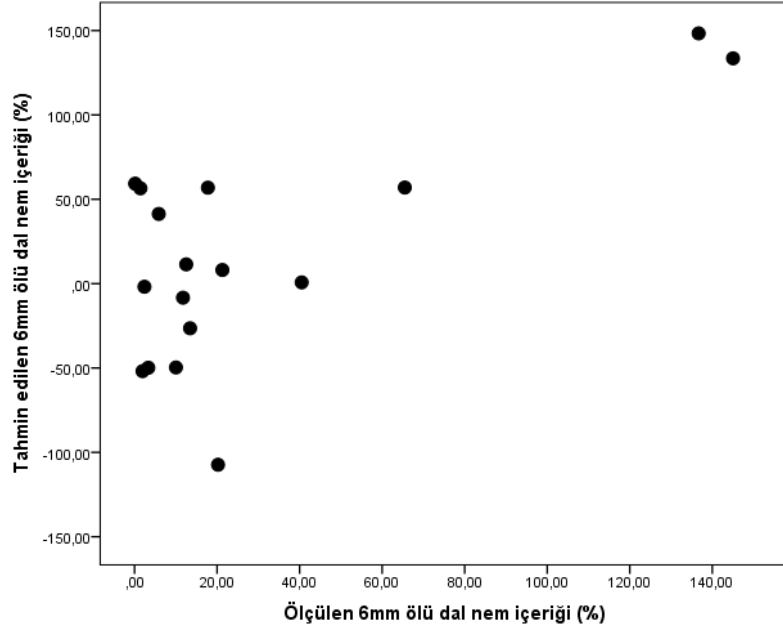
Şekil 4.7 Karaçamda rüzgara bağlı olarak tahmin edilen ve ölçülen canlı ibre nem içeriği arasındaki ilişki



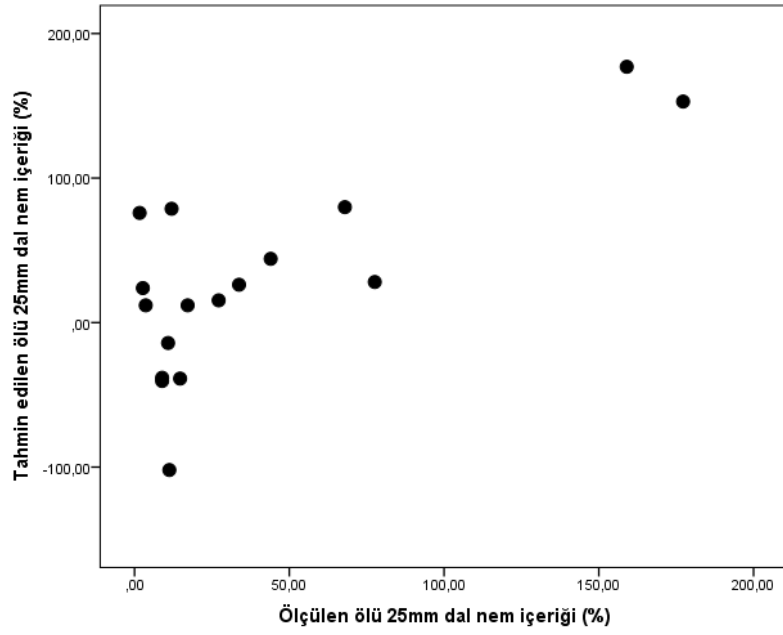
Şekil 4.8 Karaçamda rüzgara bağlı olarak tahmin edilen ve ölçülen canlı sürgün nem içeriği arasındaki ilişki



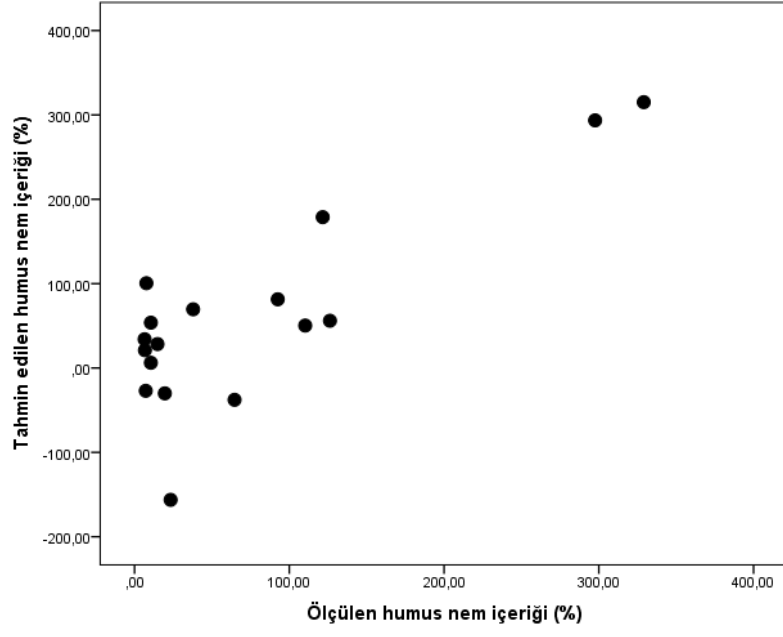
Şekil 4.9 Karaçamda sıcaklık ve rüzgara bağlı olarak tahmin edilen ve ölçülen ölü ibre nem içeriği arasındaki logaritmik ilişki



Şekil 4.10 Karaçamda rüzgar ve sıcaklığa bağlı olarak tahmin edilen ve ölçülen 6mm dal nem içeriği arasındaki ilişki



Şekil 4.11 Karaçamda rüzgar ve sıcaklığa bağlı olarak tahmin edilen ve ölçülen 25mm dal nem içeriği arasındaki ilişki



Şekil 4.12 Karaçamda rüzgar ve nisbi neme bağlı olarak tahmin edilen ve ölçülen humus nem içeriği arasındaki ilişki

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada, normal kapalı kızılçam ve karaçam meşcerelerinde ölü ve canlı yanıcı madde kategorileri ve humus tabakası nem içeriklerini hava hallerine bağlı olarak tahmin eden modeller geliştirilmiştir. Çalışmanın yapıldığı dönem; 2010-2012 yılları arasında Haziran temmuz, ağustos ve eylül aylarıdır. Yangının çıkma potansiyelin ve yangın davranışını etkileyen ince yanıcı madde (İYM) ve humus nemini tahmin eden modeller geliştirmek amacıyla, iki farklı yağış ve sıcaklık rejimine sahip bölgede (İstanbul, Kastamonu) ve iki farklı türde (Kızılçam-Karaçam) normal kapalı meşcerelerde için nem ölçümleri yapıp nem tahmin modelleri geliştirilmiştir. Bunun yanında aynı ölçümlerin yapıldığı yerlerde her iki türde de canlı ibre, sürgün ve dal kategorileri ile meteorolojik parametreler arasında ilişki olup olmadığını belirlemek için korelasyon analizleri ve nem içeriklerini tahmin etmek için regresyon modelleri geliştirilmeye çalışılmıştır.

Bu çalışmanın önemli sonuçlarında birisi canlı yanıcı madde nem içerikleri ile meteorolojik parametreler arasında çok anlamlı ilişkilerin olmadığıdır. Bazı meteorolojik parametrelerin bazı yanıcı madde kategorileri ile anlamlı istatistiksel olarak anlamlı ilişki göstermesi pratikte bunun doğru karşılı olduğu anlamına gelmektedir. Çünkü aynı deneme alanlarında meteorolojik parametreler ölü yanıcı madde kısımları ile beklenen ilişkiyi gösterirken canlı yanıcı madde kısımlarında bunu göstermez. Nitekim analiz sonuçlarında bu durum ortaya çıkmıştır. Sözelimi nisbi nem ve sıcaklık ölü yanıcı madde nem içeriği önemli ölçüde etkilenirken aynı ortamdaki canlı yanıcı madde nem içeriği bundan aynı oranda etkilenmemiştir. Çünkü ağacın fizyolojik işleyişi meteorolojik parametrelerden ölü yanıcı maddeler gibi aynı oranda etkilenmemektedir.

İnce yanıcı madde nem içeriklerinin tahmin edilmesi için yapılan çalışmalarda Aguado (2007); Gonzalez vd., (2009); Matthews (2006); Nelson (2000); Simard (1968); Wagner (1972); Viney (1991); geliştirdikleri modellerde en etkili faktörlerin sıcaklık ve nisbi nem olduğu bilinmektedir. Sağlam (2002) yaptığı çalışmada ince yanıcı madde nemi üzerinde en etkili faktörlerin sıcaklık faktörü, yağış ve nisbi nem

olmuştur. İnce yanıcı madde nemindeki değişkenlik %90 oranında açıklanmıştır. Hem kızılçam hem de karaçam ölü örtü ve humus nem içeriğinin için yapılan bu çalışmada, özellikle sıcaklık, nisbi nem ve rüzgarın yanıcı madde nem içeriklerinin değişimi üzerinde en fazla etkili olan faktörler olduğu ortaya çıkmıştır. Bu çalışma kapsamındaki kızılçamda ölü ibre nem içeriğindeki değişkenliğin açıklanan kısmı %88, karaçamda %97 arasında değişiklik göstermiştir. Bu değer, Nelson (2000) yaptığı çalışma sonucu ile ($R = 0,75$) ve Aguado vd., (2007) yaptığı çalışmayla ($R^2 = 0,57$), Karaoğlu (2011) ve Sağlam (2002)'ın benzerlik göstermektedir. Her iki çalışmada da sıcaklık ve nisbi nem etkili olmuştur. Görüldüğü gibi, literatürde belirtilen çalışmalarda özellikle ince yanıcı madde nemi üzerinde sıcaklık ve nisbi nemnin etkisi söz konusudur. Yanıcı madde nem içeriklerindeki değişimlerin daha iyi yakalanması için daha uzun periyotlarda ve birkaç yıl boyunca farklı hava hallerinin hakim olduğu zamanlarda örnekler alınarak farklı türler için benzer çalışmalar yapılabilir.

Bu çalışmada, ölü yanıcı madde kısımlarındaki (ibre, ince dal ve humus) nem içeriğindeki değişkenliğin günlük toplam yağış ile bir ilişkisi tespit edilememiştir. Yağışın olmadığı durumlarda sıcaklık ve nisbi nem yanıcı madde nem içeriğini etkilerken, yağışın olduğu durumlarda yağış tek başına yanıcı madde nemini etkileyen hakim faktör olduğu ifade edilmektedir (Bilgili vd., 2019; Gonzalez vd., 2009; Matthews 2006; Sağlam, 2002; Viney 1991). Yağışın ölü örtü ve humus tabakasında ani nem artışına sebep olmaktadır. Bunun için ölü örtü ve humus yanıcı madde modellerinde yağışın yanıcı madde nemindeki artışa etkisinin bilinmesi gereklidir. Yanıcı madde nemindeki yağış sonrası artışta, yağış miktarı ve yanıcı maddenin yağış öncesi nem içeriği etkilidir (Van Wagner, 1987). Yağışın etkisini ortaya koymak için farklı yağış dönemlerini ve farklı meşcere kapalılıklarını içeren ve uzun dönemli çalışmalar yapılabilir.

Farklı kapalılıklarda humus ve özellikle de İnce Yanıcı Madde nem içeriklerini daha düzgün tahmin edebilmek için ekstra çalışmalar ile açık alanlarda olan ince üst tabakadaki yanıcı maddelerin nem içeriklerinin belirlenmesi sıcaklık ve nisbi nem yanında diğer çevresel etmenlerin (ışınma, çiy oluşumu, rüzgar) dikkate alınmasıyla modellerin başarısını daha fazla artırabilecektir (Bilgili vd., 2019; Coşkuner, 2019).

Geliştirilmiş İnce Yanıcı Madde ve humus nemi öngörüsü modelleri sayesinde Türkiye ormanlarında yangına hassas bölgelerdeki karaçam ve kızılçam yanıcı maddelerin tipinde İnce Yanıcı Madde ve humus nem içerikleri her saat hesaplanabilecek ve tahmin edilebilecektir. Bu yanıcı maddelerin nem tahmini modellerinde yangın tehlike oranları (YTO) sisteminin bileşenleri içerisinde biri olan bu meteorolojik yangın indeksi sistemi temelini oluşturmaya fayda sağlayacaktır. Öngörülen nem içeriği yangın tehlike oranları, kontrollü yangınların planlanması, orman yangınının potansiyeli ve davranışı hakkında bütün yangın amenajman uygulamalarına yardımcı olabilecektir.

Bölgede hava hallerine bağlı olarak nem içeriklerinin tahmin edilerek hangi hava koşullarında yanıcı maddedeki nem içeriği nasıl değiştiği tahmin edilecektir. Bu veriler o bölgede yangın çıkma potansiyeli hakkında fikir verecektir. Çünkü yangın potansiyelinin belirlenmesinde hava halleri ve yanıcı madde koşulları son derece önem arz etmektedir.

KAYNAKLAR

- Aguado, I., Chuvieco, E., Boren, R., & Nieto, H., 2007. Estimation of dead fuel moisture content from meteorological data in Mediterranean areas. *Applications in fire danger assessment*. Department of Geography, University of Alcalá Colegios, 2, E-28801 Alcalá de Henares, Spain.
- Anderson, S. A. (2009). Future options for fire behaviour modelling and fire danger rating in New Zealand. *Proceedings of the Royal Society of Queensland, The*, 115, 119.
- Anderson, W. R., Cruz, M. G., Fernandes, P. M., McCaw, L., Vega, J. A., Bradstock, R. A., ... & Matthews, S. (2015). A generic, empirical-based model for predicting rate of fire spread in shrublands. *International Journal of Wildland Fire*, 24(4), 443-460.
- Beck, J. A., Alexander, M. E., Harvey, S. D., & Beaver, A. K. (2001, November). Forecasting diurnal variation in fire intensity for use in wildland fire management applications. In *Proceedings of Fourth Symposium on Fire and Forest Meteorology* (pp. 12-15).
- Berry, S. L., & Roderick, M. L. (2005). Plant–water relations and the fibre saturation point. *New Phytologist*, 168(1), 25-37.
- Bilgili, E. 2000. Orman yangınları tehlike oranları sistemine doğru. T.C. Orman Bakanlığı Teknik Bülten. s 13-14
- Bilgili, E., Küçük, Ö., & Sağlam, B., 2002. Yangın Davranışının Tahmini ve Yangınlarla Mücadeledeki Önemi, GÜ. *Orman Fakültesi Dergisi*, Cilt 2 No:2. Kastamonu.
- Bilgili, E., Küçük, Ö., & Durmaz, B., D., 2019. Importance of Fuel Maps on Determination of Fire Potential, *Türkiye Ormancılık Dergisi*.
- Blackmarr, W.H. 1972. Moisture Content Influences Ignitability of Slash Pine Litter USDA *For. Serv. Note* SE-173.
- Burgan, R.E., & Rothermel, R.C. 1984. Behave: Fire Behavior Prediction and Fuel Modeling System – Fuel Subsystem. *USDA: For. Serv. Gen. Tech. Rep.* INT 167.
- Burrows, N. D. (2001). Flame residence times and rates of weight loss of eucalypt forest fuel particles. *International Journal of Wildland Fire*, 10(2), 137-143.
- Chandler, C., Cheney, P., Thomas, P., Trabaud, L., & Williams, D., *Fire in Forestry*, Volume:1, Chapter 2, 31-54, U.S.A., 1991.
- Chrosiewicz, Z. 1986. Foliar moisture content variations in four coniferous tree species of Central Alberta Canadian Journal of Forest Research 16: 157-162.

- Countryman, C.M. 1974. Moisture in Living Fuels Affects Fire Behavior, *Fire Management*, Volume:2 U.S. Department of Agriculture.
- Crane, W. J. B., 1982. Computing Grassland and Forest Fire Behavior, Relative Humidity And *Drought Indexby Pocket Calculator*, Aust. For.
- Çanakçıoğlu, H. 1993. Orman Koruma, İ.Ü. Orman Fakültesi, İ.Ü. Yayın No:3624, İ.Ü. Orman Fakültesi Yayın NO: 411, İstanbul.
- Deeming, J. E., Burgan, R. E., & Cohen, J. D. (1977). *The national fire-danger rating system, 1978* (Vol. 39). Intermountain Forest and Range Experiment Station, Forest Service, US Department of Agriculture.
- Fernandes, P. M. (2009). Combining forest structure data and fuel modelling to classify fire hazard in Portugal. *Annals of Forest Science*, 66(4), 1-9.
- Fernandes, P. M., Catchpole, W. R., & Rego, F. C. (2000). Shrubland fire behaviour modelling with microplot data. *Canadian Journal of Forest Research*, 30(6), 889-899.
- Finney, M. A. (2005). The challenge of quantitative risk analysis for wildland fire. *Forest Ecology and Management*, 211(1-2), 97-108.
- Ford-Robertson, F. C. (1971). Terminology of forest science, technology practice and products: English-language version.
- Gonzalez, A.D.R., Hidalgo, J.A.V., & Gonzalez, J.G.A. 2009. Construction of empirical models for predicting Pinus sp. Dead fine fuel moisture in NW Spain. I: Responsetochanges in emperature and relative humidity. Departamento de Ingeniería Agroforestal, Escuela Politécnica Superior, Universidad de Santiago de Compostela, E-27002 Lugo, Spain.
- Gould, J. S., McCaw, W. L., & Cheney, N. P. (2011). Quantifying fine fuel dynamics and structure in dry eucalypt forest (*Eucalyptus marginata*) in Western Australia for fire management. *Forest Ecology and Management*, 262(3), 531-546.
- Hartford, R.A., & Rothermel, R. C.. 1991. Fuel moisture as measured and predicted during the 1988 fires in Yellowstone Park. *United States Department of Agriculture. Forest Service, Research Note INT-396*. Intermountain Research Station, Ogden, Utah. 7 p.
- Hatton, T.J., Viney N. R., Catchpole E.A., & De Mestre N.J., 1988. The influence of soil moisture on eucalyptus leaf litter moisture. *Forest Science* 34(2): 292-301.
- Karaoğlu, E., 2011. Normal Kapalı Karaçam (pinus Nigra Arnold) Meşcerelerinde Hava Hallerine Bağlı Olarak Ölü Örtü Nem İçeriğinin Belirlenmesi, Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri enstitüsü, Kastamonu.
- Kucuk, O., Bilgili, E., & Fernandes, P. M. (2015). Fuel modelling and potential fire behavior in Turkey. *Šumarski list*, 139(11-12), 553-560.

- Küçük, Ö., 2004. Yanıcı madde özellikleri ve yangın davranışına bağlı yangın potansiyelinin belirlenmesi ve haritalanması. *KTU Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*, Trabzon.
- Küçük, Ö., Bilgili, E., Dinç, Durmaz., B, Sağlam B, & Baysal İ, 2009. “Örtü yangınının tepe yangınına geçişinde etkili olan faktörler”, *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 80-85.
- Küçük, Ö., & Sağlam B., 2004. Orman Yangınları ve Hava Halleri, *Kastamonu Orman Fakültesi Dergisi*, 220-231
- Lawson, J. R., & Quintiere, J. G. (1985). Slide rule estimates of fire growth. *Fire Technology*, 21(4), 267-292.
- Linn, R., Reisner, J., Colman, J. J., & Winterkamp, J. (2002). Studying wildfire behavior using FIRETEC. *International journal of wildland fire*, 11(4), 233-246.
- Loomis, RM., & Main W. A.. 1980. Comparing jack pine slash and forest floor moisture contents and National Fire Danger Rating System predictions. United States Department of Agriculture, Forest Service. Research Paper NC- 189. North Central Forest Experiment Station, St. Paul, Minnesota 10 p.
- Luke, R. H., & McArthur, A. G. (1978). Bush fires in Australia. *Bush Fires in Australia*.
- Madrigal, J., Guijarro, M., Hernando, C., Diez, C., & Marino, E. (2011). Effective heat of combustion for flaming combustion of Mediterranean forest fuels. *Fire technology*, 47(2), 461-474.
- Marino, E., Dupuy, J. L., Pimont, F., Guijarro, M., Hernando, C., & Linn, R. (2012). Fuel bulk density and fuel moisture content effects on fire rate of spread: a comparison between FIRETEC model predictions and experimental results in shrub fuels. *Journal of Fire Sciences*, 30(4), 277-299.
- Matthews, S. 2006. A process-based model of fine fuel moisture. *International Journal of Wildland Fire*, 2006.
- Matthews, S., 2014. Dead fuel moisture research: 1991–2012. *International journal of wildland fire*, 23, 1, 78-92.
- Matthews, S., McCaw, W. L., Neal, J. E., & Smith, R. H., 2007. Testing a process-based fine fuel moisture model in two forest types. *Canadian Journal of Forest Research*, 37,1, 23-35.
- 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.
- McArthur, A. G., 1967. Fire behaviour in eucalypt forests Commonwealth of Australia, Forestry and Timber Bureau, Leaflet.

- Merril, D.F., & Alexander, M.E., 1987. Glossary of forest fire management terms. In: Ottawa, Ontario: National Research Council of Canada, Canadian Committee on Forest Fire Management. NRCC, Publisher, Canada
- Montgomery, K.R., & Cheo, P.C., 1971. Effect of Nitrogen Source on Growth of Eucalyptus in Sand Culture, *Aust. J. Bot.* 19, 125-141.
- Nelson Jr, R. M., & Adkins, C. W. (1988). A dimensionless correlation for the spread of wind-driven fires. *Canadian Journal of Forest Research*, 18(4), 391-397.
- Nelson RM, Jr 2000. Prediction of diurnal change in 10-h fuel stick moisture content. *Canadian Journal of Forest Research* 30, 1071–1087.doi:10.1139/CJFR-30-7-1071.
- 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, 2008. Orman Yangınları İle Mücadele Faaliyetleri Değerlendirme Raporu, 2008 Yılı Eylem Planı, T.C. Orman Bakanlığı, Orman Genel Müdürlüğü, Ankara.
- OGM, 2012. Türkiye Orman Varlığı. *Orman Genel müdürlüğü Yayınları*, 2012, Ankara.
- OGM, 2019. Türkiye Orman Varlığı. *Orman Genel müdürlüğü Yayınları*, 2019, Ankara.
- Olsen, J.M., 1960, Cistus, Fuel Moisture and Flammability, U.S. For. Serv. Res. Note PSW-159.
- Philpot, C.W., & Mutch R. W.. 1971. The seasonal trends in moisture content, ether extractives. and energy of ponderosa pine and clouglas-fit needles. United States Department of Agriculture, Forest Service. Research Paper INT-102. Intermountain Forest and Range Experiment Station Ogden, Utah. 21 p.
- Plucinski, M. P., Anderson, W. R., Bradstock, R. A., & Gill, A. M. (2010). The initiation of fire spread in shrubland fuels recreated in the laboratory. *International Journal of Wildland Fire*, 19(4), 512-520.
- Rossa, C. G., & Fernandes, P. M. (2017). Fuel-related fire-behaviour relationships for mixed live and dead fuels burned in the laboratory. *Canadian Journal of Forest Research*, 47(7), 883-889.
- Rossa, C. G., Veloso, R., & Fernandes, P. M. (2016). A laboratory-based quantification of the effect of live fuel moisture content on fire spread rate. *International Journal of Wildland Fire*, 25(5), 569-573.
- Rothermel, R. C. (1972). A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels. *Res. Pap. INT-115. Ogden, UT: US Department of Agriculture, Intermountain Forest and Range Experiment Station. 40 p., 115.*

- Sağlam, B., 2002. Meteorolojik Faktörlere Bağlı Yanıcı Madde Nem İçerikleri ve Maki Tipi Yanıcı Maddelerde Yangın Davranışının Belirlenmesi, *KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*, 105p.
- Schroeder, M.J., C.C., Buck 1970. Fire weather A Guide for Application of Meteorological Information to Forest Fire Control Operations. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Idaho.
- Simard, A.J. 1968 The moisture content of forest fuels – I. A review of the basic concepts. Canadian Department of Forest and Rural Development, *Forest Fire Research Institute, Information Report FF-X-14*. (Ottawa, ON)
- Slijepcevic, A., Anderson, W. R., & Matthews, S. (2013). Testing existing models for predicting hourly variation in fine fuel moisture in eucalypt forests. *Forest Ecology and Management*, 306, 202-215.
- Slijepcevic, A., Anderson, W. R., Matthews, S., & Anderson, D. H., 2015. Evaluating models to predict daily fine fuel moisture content in eucalypt forest. *Forest Ecology and Management*, 335, 261-269
- Trabaud, L., 1976. Inflammabilité et Combustibilité des Principales Espèces de la Garrigue. *Oecol. Plant.* 11, 117-136.
- Van Wagner, C. E., 1987. Development and Structure of the Canadian Forest FireWeather Index System. In *Can. For. Serv., Forestry Tech. Rep.*, 35.
- Van Wagner, CE 1972. Equilibrium moisture contents of some fine forest fuels in eastern Canada. Canadian Forestry Service, Petawawa Forest Experimental Station, Information Report PS-X-36. (Chalk River, ON)
- Viegas, D. X., (1998). Forest fire propagation. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 356(1748), 2907-2928.
- Viegas, D. X., Soares, J., & Almeida, M. (2013). Combustibility of a mixture of live and dead fuel components. *International Journal of Wildland Fire*, 22(7), 992-1002.
- Viney, N.R. 1991. A Review of Fine Fuel Moisture Modelling. Mathematics Department, University College, University of New South Wales, Canberra, Australian Capital Territory 2600, Australia.
- Viney, N.R., Hatton T.E. 1989. Assessment of existing fine fuel moisture models applied to eucalyptus litter. *Australian Forestry*, 52(2):82-93.