

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ORMAN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**NORMAL KAPALI KIZILÇAM MEŞCERELERİNDE ÖLÜ ÖRTÜ NEM**  
**DİNAMİKLERİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Orm. Müh. Yetkin USTA**

**OCAK 2018**

**TRABZON**



**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ORMAN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**NORMAL KAPALI KIZILÇAM MEŞCERELERİNDE ÖLÜ ÖRTÜ NEM DİNAMİKLERİ**

**Orm. Müh. Yetkin USTA**

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde  
"ORMAN YÜKSEK MÜHENDİSİ"  
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 19 / 12 / 2017**

**Tezin Savunma Tarihi : 08 / 01 / 2018**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ertuğrul BİLGİLİ**

**Trabzon 2018**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Orman Mühendisliği Anabilim Dalında  
Yetkin USTA Tarafından Hazırlanan**

**NORMAL KAPALI KIZILÇAM MEŞCERELERİNDE ÖLÜ ÖRTÜ NEM DİNAMİKLERİ**

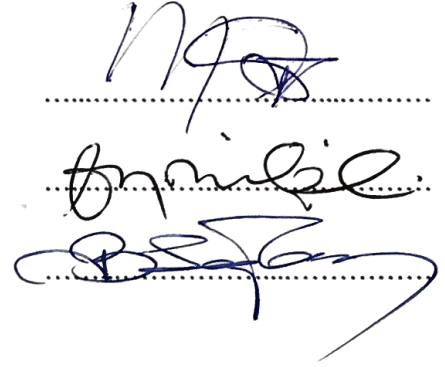
**başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 19/12/2017 gün ve 1732 sayılı  
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
olarak kabul edilmiştir.**

**Jüri Üyeleri**

**Başkan : Prof. Dr. Mahmut EROĞLU**

**Üye : Prof. Dr. Ertuğrul BİLGİLİ**

**Üye : Prof. Dr. Bülent SAĞLAM**



Handwritten signatures of the jury members, including the Chairman Prof. Dr. Mahmut Eroğlu, and the members Prof. Dr. Ertuğrul Bilgili and Prof. Dr. Bülent Sağlam, each on a dotted line.

**Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ  
Enstitü Müdürü**

## ÖNSÖZ

“Normal Kapalı Kızılçam Meşcerelerinde ve Ölü Örtü Nem Dinamikleri” isimli bu çalışma, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır.

Bu çalışmanın planlanmasından bitimine kadar her aşamasında, destek ve katkılarıyla çalışmamı yönlendiren, bilgilerinden sürekli istifade ettiğim, insani ve ahlaki değerleri ile örnek edindiğim danışman hocam Sayın Prof. Dr. Ertuğrul BİLGİLİ'ye sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Değerli fikirlerinden her zaman yararlandığım ve bana her konuda destek olan hocam Sayın Prof. Dr. Mahmut EROĞLU'na ve Arş. Gör. Kadir Alperen COŞKUNER'e, teşekkür ederim.

Çalışmalarım boyunca, bana büyük destek veren tüm TÜBİTAK TOVAG 112O809 proje ekibine, öğrenim hayatım boyunca manevi desteklerini esirgemeyen değerli meslektaşlarım İbrahim DAĞADUR, Resul GÖK ve Muhammed KARAHASANOĞLU'na teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışmaların gerçekleştirilmesi için maddi destek sağlayan TÜBİTAK (TOVAG 112O809)'a teşekkür ederim.

Hayatımın her aşamasında bana güvenen, her dönüm noktasında yanımda olan, hiçbir zaman yardım ve desteklerini esirgemeyen, emeklerini asla ödeyemeyeceğim ve her zaman evlatları olmaktan gurur duyduğum ve duyacağım çok sevdiğim anne ve babama müteşekkir olduğumu belirtir, bu çalışmanın ülkemize faydalı olmasını dilerim.

Yetkin USTA

Trabzon 2018

## TEZ ETİK BEYENNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Normal Kapalı Kızılçam Meşcerelerinde ve Ölü Örtü Nem Dinamikleri” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Ertuğrul BİLGİLİ'nin sorumluluğunda tamamladığımı, verileri ve örnekleri kendim topladığımı, deneyleri ve analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı ve yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 08/01/2018



Yetkin USTA

## İÇİNDEKİLER

	<b><u>Sayfa No</u></b>
ÖNSÖZ .....	III
TEZ ETİK BEYENNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET .....	VII
SUMMARY .....	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	IX
TABLolar DİZİNİ.....	X
KISALTMALAR DİZİNİ .....	XI
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR .....	6
2.1. Materyal ve Metot .....	6
2.1.1. Model Geliştirme.....	6
2.1.1.1. Model Girdileri ve Başlama .....	8
2.1.1.2. Yağışa Bağlı Nem Artışı .....	9
2.1.1.3. Yoğunlaşma Etkisi .....	10
2.1.1.4. Denge Nemi.....	12
2.1.1.5. Kuruma Sabitinin Belirlenmesi .....	13
2.1.2. Veri Toplama.....	14
2.1.2.1. Deneme Alanları ve Özellikleri.....	16
2.1.2.2. Deneme Alanlarının Kurulması.....	18
2.1.2.3. Deneme Alanlarına İlişkin Meşcere Özelliklerinin Ölçülmesi .....	19
2.1.2.4. Deneme Alanlarına İlişkin Meteorolojik Verilerin Ölçülmesi.....	22
2.1.2.5. Deneme Alanlarına İlişkin Ölü Örtü Nem Ölçümlerinin Gerçekleştirilmesi .....	26
2.1.2.6. Yağış Miktarına Bağlı Ölü Örtü Nem Artışının Belirlenmesi .....	27
2.1.3. Model Katsayılarının Belirlenmesi .....	29
2.1.4. Model Doğruluğu ve Performansı.....	31
3. BULGULAR .....	33
4. TARTIŞMA.....	37

5.	SONUÇ VE ÖNERİLER .....	39
6.	KAYNAKLAR.....	41

ÖZGEÇMİŞ



Yüksek Lisans

ÖZET

NORMAL KAPALI KIZILÇAM MEŞCERELERİNDE ÖLÜ ÖRTÜ NEM  
DİNAMİKLERİ

Yetkin USTA

Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Orman Mühendisliği Anabilim Dalı  
Danışman: Prof. Dr. Ertuğrul BİLGİLİ  
2018, 48 Sayfa

Bu çalışmada, normal kapalı Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) meşcerelerinde ölü örtü nem içeriklerinin farklı hava hallerine bağlı olarak kurak ve yağışlı dönemde günlük değişimini tahmin eden bir model geliştirilmiştir. Bu model fiziksel süreçlerin modellenmesi ile desteklenen deneysel (ampirik) ilişkilerden oluşan yarı fiziksel, süreç tabanlı, dinamik bir modeldir. Model, ölçülen hava hallerine bağlı olarak ölü örtü nem değişimlerini tahmin etmekle kalmayıp, aynı zamanda ölü örtü ile hava halleri arasındaki nicel ilişkileri geniş bir yelpazede açıklamaktadır. Geliştirilen model gerekli tüm değişkenleri içerecek şekilde yapılandırılmış ve model katsayıları arazi verileri kullanılarak hem istatistik yöntemler hem de görsel incelemeyi içeren kombine bir yaklaşım ile belirlenmiştir. Model doğruluğu ve performansı arazi ölçümlerinden elde edilen bağımsız veri setleri kullanılarak test edilmiştir. Model tahminlerinin OMH'sı İYM için Muğla'da %0.79 Antalya'da %3.38 ve humus için Muğla'da %0.70, Antalya'da %11.57 olarak bulunmuştur. Antalya için yağışlı dönem humus nem değerleri çıkarılarak yapılan tahminler sonucunda OMH %11.57'den %3.78'e yükselmiştir. Model tahminlerinin görsel inceleme ve istatistik yöntemler ile değerlendirilmesi, modelin farklı bölgelerde ve farklı meşcere özelliklerinde kurak dönemde iyi, yağışlı dönemde ise nispeten tatmin edici sonuçlar ortaya koyduğu görülmüştür. Geliştirilen model genel bir model olup, model katsayılarının kalibre edilmesiyle, benzer ölü örtü yapısına sahip Akdeniz ülkelerinde kolaylıkla kullanılabilir niteliktedir.

**Anahtar Kelimeler:** Yanıcı madde nemi, süreç tabanlı modelleme, denge nemi, kuruma sabiti, atmosferik buhar basıncı açığı



Master Thesis

## SUMMARY

### SURFACE FUELS MOISTURE DYNAMICS IN CALABRIAN PINE STANDS

Yetkin USTA

Karadeniz Technical University  
The Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Forest Engineering Graduate Program  
Supervisor: Prof. Dr. Ertuğrul BİLGİLİ  
2018, 48 Pages

This study presents a model that predicts diurnal changes of dead fuels in normally stocked Calabrian pine (*Pinus brutia* Ten.) stands for dry and rainy periods in relation to varying weather conditions. The model is a state-dependent, dynamic, semi-physical model and was developed based on the functional relationships between moisture contents of dead surface fuels and weather variables using empirical and semi-physical relationships. The model describes functional quantitative relationships between weather variables and surface fuel moisture for a wide range of situations rather than moisture changes from a small set of measured weather variables. The developed model was structured such that it included all the necessary variables, and model parameters were determined by using a combination approach including both statistical methods and graphical inspection using field data. Predictions of the model yielded a MAE of 0.79 for litter and 0.70% for duff at Mugla and 3.38 % for litter and 11.57% for duff at Antalya. When the rainy period was excluded from the validation data at Antalya site, the MAE decreased from 11.57 to 3.78% for duff fuels. The model was tested and validated with independent dataset from field observations. The graphical inspection and statistical validation of the model indicated that the performance of the model under varying weather conditions and different stand characteristics at different locations was reasonably accurate, and the model performed well for dry periods and was relatively satisfactory for the rainy periods. The model is a generic model, and it can be easily applicable to other similar fuel types in the Mediterranean region for which specific model parameters are provided.

**Key Words:** Fuel moisture content, process based modeling, equilibrium moisture content, timelag, vapor pressure deficit.

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa No

Şekil 1. Model akış diyagramı.....	7
Şekil 2. Gerçekleştirilen arazi çalışmalarına ilişkin iş akış diyagramı .....	15
Şekil 3. Çalışma alanlarının coğrafik konumu .....	16
Şekil 4. Muğla’da belirlenen deneme alanı (a) ve uydu görüntüsü (b) .....	17
Şekil 5. Antalya’da belirlenen deneme alanı (a) ve uydu görüntüsü (b) .....	17
Şekil 6. Trabzon’da belirlenen deneme alanı (a) ve uydu görüntüsü (b) .....	18
Şekil 7. Muğla’da belirlenen deneme alanı (a, b).....	18
Şekil 8. Antalya’da belirlenen deneme alanı (a, b).....	19
Şekil 9. KTÜ Kanuni kampüsünde belirlenen deneme alanı (a, b,) .....	19
Şekil 10. Deneme alanlarında ölü örtü özelliklerinin belirlenmesi (a) ve meşcere ölçümlerinin gerçekleştirilmesi (b) .....	20
Şekil 11. Muğla (a) ve Antalya (b) illerindeki deneme alanlarına ilişkin meşcere profilleri .....	21
Şekil 12. Muğla’da kurulan mobil meteoroloji istasyonu (a, b).....	23
Şekil 13. Antalya’da kurulan mobil meteoroloji istasyonu (a,b).....	23
Şekil 14. Trabzon’da kurulan mobil meteoroloji istasyonu (a, b).....	23
Şekil 15. Meteorolojik verilerin bilgisayar ortamına aktarılması (a, b) .....	24
Şekil 16. Ölçüm zamanlarına ilişkin sıcaklık, bağıl nem, yağış, rüzgar hızı ve atmosferik buhar basıncı açığı (ABBA) değerleri .....	25
Şekil 17. İYM ve humus nem örneklerinin alınması (a, b, c) ve ölçüm zamanlarında arazi ağırlıklarının hassas terazi ile belirlenmesi (d) .....	26
Şekil 18. Arazi örneklerinin kurutma kaplarına alınarak fırınlara yerleştirilmesi (a, b) ve kurutulan örneklerin fırın kurusu ağırlıklarının belirlenmesi (c, d) .....	27
Şekil 19. Muğla deneme alanında hazırlanan ıslatma parseli (a) ve farklı oranlarda (mm) ıslatmaların gerçekleştirilmesi (b).....	28
Şekil 20. Antalya deneme alanında hazırlanan ıslatma parseli (a) ve farklı oranlarda (mm) ıslatmaların gerçekleştirilmesi (b).....	28
Şekil 21. Trabzon deneme alanında hazırlanan ölçüm parseli (a) ve yağışa bağlı nem ölçümlerinin gerçekleştirilmesi (b) .....	29
Şekil 22. Muğla’da 14-27 Ağustos 2014 tarihleri arasında ölçülen gerçek nem değerleri ile modelin İYM (a) ve humus (b) için tahmin ettiği saatlik nem değerleri .....	33
Şekil 23. Antalya’da 20-29 Nisan 2014 tarihleri arasında ölçülen gerçek nem değerleri ile modelin İYM (a) ve humus (b) için tahmin ettiği saatlik nem değerleri .....	34

## TABLÖLAR DİZİNİ

	<b><u>Sayfa No</u></b>
Tablo 1. Modelde kullanılan değişkenler ve birimleri .....	8
Tablo 2. Deneme alanının meşcere ve ölü örtü özellikleri .....	22
Tablo 3. Ölçüm zamanlarına ilişkin meteorolojik veriler.....	29
Tablo 4. Modelde kullanılan katsayı değerleri .....	30
Tablo 5. Ölçülen İYM ve humus nem değerleri ile tahmin edilen nem değerlerinin istatistiksel karşılaştırılması .....	35



## KISALTMALAR DİZİNİ

ABBA	: Atmosferik Buhar Basıncı Açığı
BN	: Bağlı Nem
BHNİ	: Birim Hacimdeki Nem İçeriği
DBB	: Doygun Buhar Basıncı
DN	: Denge Nemi
DNYM	: Doygunluk Nemi İçin Gerekli Yağış Miktarı
H	: Humus
İYM	: İnce Yanıcı Madde
K <sub>R</sub>	: Rüzgar Düzeltme Katsayısı
KS	: Kuruma Sabiti
MYİ	: Meteorolojik Yangın İndeksi Sistemi
NA	: Nem Artışı
NA <sub>c</sub>	: Yoğunlaşmaya Bağlı Nem Artışı
NA <sub>y</sub>	: Yağışa Bağlı Nem Artışı
OGM	: Orman Genel Müdürlüğü
OMH	: Ortalama Mutlak Hata
OMHY	: Ortalama Mutlak Hata Yüzdesi
ÖÖM	: Ölü Örtü Miktarı
ÖÖNİ	: Ölü Örtü Nem İçeriği
ÖÖNİ <sub>mak</sub>	: Doygunluk Nemi (Ölü Örtünün Sahip Olduğu Maksimum Nem İçeriği)
R	: Rüzgar
R <sup>2</sup> <sub>Düz</sub>	: Düzeltilmiş Belirtme Katsayısı
SH	: Standart Hata
T	: Sıcaklık
Y	: Yağış
YE	: Yoğunlaşma Etkisi
YTOS	: Yangın Tehlike Oranları Sistemi

## 1. GENEL BİLGİLER

### 1.1. Giriş

Orman yangınlarının başlama, büyüme ve gelişmesi büyük ölçüde yanıcı maddenin varlığı ve koşullarına bağlıdır (Byram, 1959; Rothermel, 1972; Nelson, 2001; Tanskanen vd., 2006). Yangın başlama potansiyeli ve yangın davranışını etkileyen en önemli etkenlerden biri de yanıcı madde nem içeriğidir (Simard, 1968a; Anderson, 1985; Rothermel vd., 1986; Viney, 1991; Albini, 1993; Matthews, 2006; Matthews vd., 2007; Schunk vd., 2013; Zhu vd., 2013; Bilgili vd., 2014). Yüksek nem içeriğine sahip yanıcı maddelerde tutuşma süresi uzun, yangın şiddeti, yangın yayılma oranı ve yanıcı madde tüketimi düşüktür (Schroeder ve Buck, 1970; Blackmarr, 1972; Kunkel, 2001; Nelson, 2001). Bu nedenle, yanıcı madde nem dinamiklerinin belirlenmesi yangın yönetim planlamaları açısından büyük öneme sahiptir (Bilgili vd., 2017). Ancak, yanıcı madde nem içerikleri üzerinde etkili olan birçok faktör vardır. Bu faktörlere bağlı olarak yanıcı madde nem içeriklerinin belirlenmesi zor ve zaman alıcıdır (Chandler vd., 1983; Chuvieco vd., 2004).

Yanıcı madde nem içerikleri meşçere gelişim çağı, çevresel koşulların günlük ve mevsimsel değişimi, yanıcı maddenin tipi, boyutu, yapısı, yanıcı madde ile atmosfer arasındaki buhar basıncı açığı, su kaybına karşı direnç gibi birçok faktör tarafından etkilenmektedir (Pompe ve Vines, 1966; Luke ve Mcarthur, 1978; Tunstall, 1988; Anderson, 1990b; Papio ve Trabaud, 1990; Pook ve Gill, 1993; Bilgili vd., 2016). Orman yangınlarının başlama ve gelişmesi orman zemininde bulunan ölü örtünün nem içeriği ile ilgilidir. Ölü örtü yeni dökülmüş ve henüz ayrışmaya başlamamış ince yanıcı madde (İYM) ve toprak yüzeyindeki materyallerin ayrışması sonucu meydana gelen humus katmanlarından oluşmaktadır. İYM boyutunun ince olması ve hızlı nem alıp vermesi sebebiyle hava hallerinden çok fazla etkilenmektedir. Bu nedenle, İYM nem içerikleri günlük yangın potansiyelinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Humus katmanı, İYM'nin üst bir katman görevi görmesi, yapısının değişmesi, yoğunluğunun düşmesi, kırılması, gözenekliliğinin azalması gibi nedenlere bağlı olarak daha yavaş nem alıp vermektedir. Bu nedenle, humus nem içeriği daha çok uzun süreli değişimleri yansıtmakta olup yanıcı madde tüketiminin belirlenmesinde kullanılmaktadır (Sağlam, 2002). Ölü örtü nem içerikleri çevresel koşullar tarafından belirlenir ve ölü örtü nem dinamikleri çoğunlukla sıcaklık, bağıl nem, yağış, rüzgar hızı ve yönü, güneş radyasyonu, çiğ oluşum sıcaklığı gibi hava hallerine bağlı olarak

değişir (Van Wagner, 1969, 1979; Alves vd., 2009; Slijepcevic vd., 2013). Ölü örtü nem içerikleri hava halleri ile yanıcı madde özellikleri arasındaki karmaşık ilişkilere bağlı olarak belirlenir (Slijepcevic vd., 2013).

Ölü örtü nem değişimi üzerinde etkili olan fiziksel süreçler son derece karmaşıktır (Simard, 1968a; Hatton ve Viney, 1988; Viney, 1991; Kunkel, 2001; Nelson, 2001; Matthews, 2006; Gonzalez vd., 2009). Denge nemi (DN), ölü örtünün uzun süre sabit sıcaklık ve bağıl neme maruz kaldıktan sonra ulaştığı ve çevre ile nem alış verişinin durduğu nem düzeyidir (Catchpole vd., 2001). Ölü örtü, çevre koşullarına bağlı olarak nem alarak ya da nem kaybederek denge nemine ulaşır. Ölü örtünün nem alma ve ya nem vermesi birbirini tamamlayıcı süreçlerdir (Nelson, 1984; Anderson, 1990a; Nelson, 2001). Sıcaklık, bağıl nem, güneş radyasyonu, rüzgar, yağış, çığ, sis ve atmosferik buhar basıncı açığı ölü örtünün nem alma-verme süreçlerini etkileyen önemli faktörlerdir (McArthur, 1967; Simard, 1968a; Rothermel vd., 1986; Hatton ve Viney, 1988; Bilgili vd., 2005; de Dios vd., 2015; Nolan vd., 2016). Aynı zamanda toprak neminin de özellikle İYM ve humus nem içeriğini etkilediği bilinmektedir (Pook ve Gill, 1993; Schaap vd., 1997). Ölü örtü yoğunlaşma, yağış ve su buharının emilimi boyunca nem alıp (Aguado vd., 2007) buharlaşma ve su buharının salınımı boyunca nem kaybetmektedir (Anderson, 1990b; Gonzalez vd., 2009). Ölü örtü kuruma koşulları altında nem verme sürecine girer ve denge nemine ulaşmaya kadar buharlaşma ile nem kaybeder. Nem alma genellikle soğuk ve nemli geceler ile sıcaklığın düşük, bağıl nemin yüksek olduğu sabah erken ve öğleden sonra geç vakitlerde meydana gelmektedir (Slijepcevic vd., 2013). Yağış yangın sezonunda ölü örtü nemini artırarak yangın tehlikesinin azalmasına sebep olmaktadır. Yağışın ölü örtü nemi üzerine nem artırıcı bir etkisi vardır, fakat aynı zamanda yağış İYM'nin büyümesine katkı sağlayarak yangın sezonunda yangın tehlikesini artırmaktadır (Viegas ve Viegas, 1994). Ölü örtü nem içeriğini tahmin etmek için belli bir miktar yağışın yapmış olduğu nem artışının ve buna bağlı olarak düşük riskli döneminin tahmini önemlidir (Lopes, Viegas, de Lemos, vd., 2014). Yağışın ölü örtü nemi üzerine olan etkisi bilinmesine rağmen yağış miktarına bağlı nem içeriğindeki değişimin ortaya konulması oldukça zordur (Viney, 1991). Ölü örtü nem içeriklerini etkileyen bir diğer faktör de atmosferik buhar basıncı açığı (ABBA)'dır. Havanın doygunluk buhar basıncı ile mevcut buhar basıncı arasındaki fark ABBA olarak tanımlanır. ABBA havanın kurutma gücünün bir ölçüsüdür. ABBA sıcaklık ve bağıl nem arasındaki ilişkiye bağlı olarak belirlenmektedir. Diğer faktörlerin değişmediği varsayıldığında, ABBA arttıkça ölü örtünün su kaybı da orantılı olarak artmaktadır. Ölü örtü nem içeriği ise ABBA'nın

artışına bağlı olarak üstel bir şekilde azalmaktadır (Simard, 1968a; de Dios vd., 2015; Nolan vd., 2016). Geniş bir alana yayılan ve birçok farklı değişken tarafından etkilenen ölü örtü nem içeriklerinin belirlenmesi zor ve zaman alıcıdır (Chandler vd., 1983; Pook, 1993; Sağlam, 2002; Küçük, 2004; Bilgili vd., 2016; Göлтаş, 2016). Bu nedenle, yanıcı madde nem içeriklerini belirlemede farklı yöntemler kullanılmaktadır.

Ölü örtü nem içerikleri doğrudan örnekleme, nem çubukları ve nem tahmin modelleri kullanılarak belirlenebilmektedir (Nelson, 2001; Camia, 2003). Doğrudan örnekleme yöntemi yüksek doğrulukta tahminler vermesine karşılık özellikle geniş alanları kapsayan çalışmalarda fazla iş yükü getirmekte ve anlık nem tahminleri yapamamaktadır. Nem çubukları kullanılarak yapılan nem tahminleri daha az iş yükü getirmekte ve anlık tahminler yapabilmektedir. Ancak, nem çubuklarının yerleştirildiği konum çok önemli olmakta ve alanın tamamını temsil etmekte yetersiz kalmaktadır. Bir diğer olumsuzluk ise nem çubuklarının nem alma-verme özelliklerini çok çabuk kaybedebilmesidir (Aguado vd., 2007). Bu nedenle, en fazla arazide kolay ölçülebilen hava hallerine bağlı olarak ölü örtü nem tahmini yapan modeller kullanılmaktadır (Van Wagner, 1987a; Stocks vd., 1989; Tanskanen vd., 2006; Lawson ve Armitage, 2008). Hava hallerinin elde edileceği istasyonların her yerde bulunamaması, çevre ve iklim koşullarına bağlı olarak nem kodlarının kalibrasyonun eksikliği gibi olumsuzlukları olmasına rağmen, bu yöntemin anlık nem tahmini yapabilme, kolay güncellenebilme, yangının başlama ve davranışına ilişkin diğer verileri sağlama gibi olumlu yanları bulunmaktadır (Aguado vd., 2007).

Ölü örtü nem içeriğini belirlemede deneysel modeller (Ruiz vd., 2009; Sharples ve McRae, 2011), fiziksel modeller, yarı fiziksel modeller (Catchpole vd., 2001; Matthews vd., 2010) ve süreç tabanlı modeller kullanılmaktadır (Nelson, 2000; Matthews, 2006). Fiziksel ve yarı fiziksel modeller yüksek doğrulukta nem tahminleri yapabilmelerine karşın uzun zaman gerektirdiğinden yangın organizasyonlarında kullanımı pratik değildir (Pinto vd., 2014). Bu nedenle genelde ölü örtü nem tahminlerinde deneysel ve süreç tabanlı modeller kullanılmaktadır (Matthews, 2014). Çoğu ölü örtü nem tahmin modelleri, modele giren hava halleri ile araziden elde edilen nem değerleri arasındaki ilişkiyi ortaya koyan istatistiksel denklemlerdir (Pook ve Gill, 1993; Alves vd., 2009; Gonzalez vd., 2009; Sun vd., 2015). Süreç tabanlı modeller ise ölü örtüdeki fiziksel süreçleri (Anderson, 1990a; Nelson, 2000; Matthews, 2006), deneysel esasları ya da her ikisini birlikte (Rothermel vd., 1986; Van Wagner, 1987a) taklit ederek ölü örtü nemini tahmin eden denklemlerdir. Ülkemizin de

içerisinde yer aldığı Akdeniz ekosistemlerindeki birçok tür için nem tahmin modelleri geliştirilmiştir.

Akdeniz ekosistemlerinin büyük çoğunluğunu oluşturan çam meşcerelerinde yanıcı madde nem içeriğinin belirlenmesi için birçok nem tahmin modeli geliştirilmiştir (Van Wagner, 1977; Anderson vd., 1978; Pook ve Gill, 1993; Sağlam vd., 2006; Tanskanen vd., 2006; Gonzalez vd., 2009; Schunk vd., 2013; Lopes, Viegas, de Lemos, vd., 2014). Ancak, türlere göre yanıcı madde özellikleri değişiklik gösterdiğinden geliştirilen nem tahmin modelleri arasında önemli farklılıklar vardır (Pook, 1993; Scoot ve Burgan, 2005). Geliştirilen bu modellerin sadece ikisi Doğu Akdeniz bölgesinde geniş bir yayılışa sahip olan Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) meşcereleri ile ilgilidir (Sağlam vd., 2006; Bilgili vd., 2017). Bu çalışmalardan ilki günlük nem tahminleri yapabilmesine karşılık gün içerisindeki nem değişimleri hakkında bilgi vermemektedir. Diğer çalışma ise sadece kurak dönem için günlük nem tahmini yapabilmektedir. Bu nedenle türlere göre yeni nem tahmin modelleri geliştirilmeli ya da var olan model formları kullanılarak yeni model katsayıları belirlenmelidir.

Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) 5.6 milyon hektarlık yayılış alanı ile ülkemiz ormanlarında en geniş yayılış alanına sahip ağaç türüdür (OGM, 2015). Saf ya da karışık kızılçam ormanlarında her 25-30 yılda bir orman yangını çıkmaktadır (Neyişçi, 1985). Kızılçam ormanlarında çıkan yangınlar sonucunda mal, hizmet, kaynak ve hatta can kayıpları yaşanmaktadır. Ülkemizde kızılçam ölü örtü nem dinamikleri hakkında çok sınırlı bilgi vardır. Bu durum yangın organizasyonlarında yangın potansiyeli ve davranışının tahmini ve anlaşılmasında önemli problemlere neden olmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, normal kapalı Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) meşcerelerinde kurak ve yağışlı dönemde hava hallerine bağlı olarak saatlik nem tahmini yapan yarı fiziksel, süreç tabanlı, dinamik bir ölü örtü nem modeli geliştirmektir. Geliştirilen model ile ölü örtü nem içeriğine bağlı yangın risk ve tehlikesinin gün içerisindeki değişimi belirlenmiş olacaktır. Elde edilen modelin Yangın Tehlike Oranları Sistemi (YTOS)'nin önemli bir bileşeni olan mevcut Meteorolojik Yangın İndeksi (MYİ) sistemine entegre edilmesiyle sistemin uygulama alanı genişletilecek ve tahmin gücü artırılabilecektir. Çalışma sonucunda yangın öncesi tehlikeli alanlarda koruyucu önlemlerin planlanması, mevcut kaynakların sağlıklı bir şekilde hazır edilmesi, yangın gözetleme faaliyetlerinin daha gerçekçi yürütülmesi, kontrollü ve amaçlı yakmaların mevcut koşullara bağlı olarak organize edilmesi, orman yangınlarıyla ilgili teknik eleman, ekip ve uygulayıcıların eğitimleri, halkın



bilinçlendirilmesi ve yangın etkilerinin ortaya konulması konularında da önemli kazanımlar sağlanacaktır. Ayrıca, geliştirilen model genel bir model olup, model katsayılarının kalibre edilmesiyle, benzer ölü örtü yapısına sahip Akdeniz ülkelerinde kolaylıkla kullanılabilir nitelikte olacaktır.



## 2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Bu tezde yapılan çalışmalar, ölü örtü nem içeriklerinin farklı hava hallerine (sıcaklık, bağıl nem, rüzgar ve yağış) bağlı olarak belirlenmesi ve saatlik nem tahmini yapan yarı fiziksel, süreç tabanlı, dinamik ölü örtü nem modelinin geliştirilmesi şeklinde gerçekleştirilmiştir.

### 2.1. Materyal ve Metot

Yapılan çalışma, hem model geliştirme hem de geliştirilen modelin doğruluğu ve performansının belirlenebilmesi için veri toplama aşamalarını içermektedir. Bundan dolayı çalışma kapsamında: *i*) model geliştirme, *ii*) İYM ve humus için hava hallerine bağlı saatlik nem ölçümlerinin gerçekleştirilmesi ve ıslatma deneyleri ile doygunluk nemi değerlerinin belirlenmesi, *iii*) model katsayılarının belirlenmesi ve *iv*) geliştirilen modelin yapmış olduğu tahminlerin arazi çalışmasından elde edilen gerçek nem değerleri ile test edilerek modelin doğruluk ve performansının belirlenmesi yapısal organizasyon düzeni izlenmiştir.

#### 2.1.1. Model Geliştirme

Geliştirilen model normal kapalı (3 kapalı) kızılçam meşcerelerinde saatlik ölü örtü nem tahmini yapabilen yarı fiziksel, süreç tabanlı, dinamik bir modeldir. Model ölü örtünün sahip olduğu nem içeriği, denge nemi ve kuruma sabiti arasındaki ilişkiye bağlı olarak nem tahmini yapmaktadır (1).

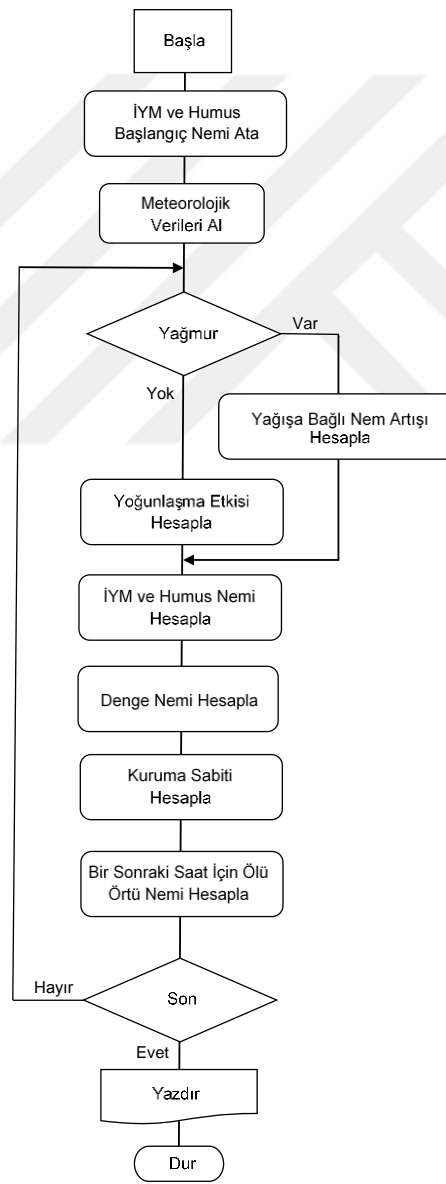
$$\ddot{O}N\dot{I}_{(t)} = \ddot{O}N\dot{I}_{(t-1)} - (\ddot{O}N\dot{I}_{(t-1)} - DN) / KS \quad (1)$$

$\ddot{O}N\dot{I}$  : Ölü örtü nem içeriği (%),

DN : Denge nemi (%),

KS : Kuruma sabiti (saat).

Ancak yukarıdaki model yağış ve yoğunlaşmanın ölü örtü nemi üzerindeki etkisini dikkate almamaktadır. Bu nedenle yağış miktarı ve yoğunlaşmanın ölü örtü nemi üzerine olan etkisi de denge nemi ve kuruma sabiti arasındaki ilişkilerle birlikte aşağıda ilgili bölümlerde tartışıldığı gibi modele dahil edilmiştir. Geliştirilen model; *i*) model girdileri ve başlama, *ii*) yağışa bağlı nem artışı *iii*) yoğunlaşma etkisi, *iv*) denge nemi, *v*) kuruma sabiti ve *vi*) ölü örtü nem içeriğinin hesaplanması ana bileşenlerinden oluşmaktadır. Model akış diyagramı Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Model akış diyagramı

Modelin çalışması için saatlik sıcaklık, bağıl nem, rüzgar hızı ve yağış verilerinin sağlanması gerekmektedir. Modelde kullanılan değişkenler ve birimleri Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Modelde kullanılan değişkenler ve birimleri

<b>Değişken</b>	<b>Açıklama</b>	<b>Birim</b>
T	Sıcaklık	°C
BN	Bağıl Nem	%
R	Rüzgar Hızı	km/s
Y	Yağış	mm
ABBA	Atmosferik Buhar Basıncı Açığı	kPa
YE	Yoğunlaşma Etkisi	mm
NA	Nem Artışı	%
DN	Denge Nemi	%
KS	Kuruma Sabiti	saat

Atanan başlangıç nemlerine ve meteorolojik verilere (sıcaklık, bağıl nem, rüzgar hızı ve yağış) bağlı olarak model saatlik ölü örtü nem içeriklerini tahmin etmektedir. Bir saatin sonunda tahmin edilen nem içeriği bir sonraki saatin başlangıç nemi olarak alınmaktadır. Böylece model ölü örtü nem içeriğinin gün içerisindeki değişimini saatlik olarak tahmin etmektedir. Model bileşenleri akış diyagramına bağlı olarak detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

#### **2.1.1.1. Model Girdileri ve Başlama**

Model İYM ve humus başlangıç nemlerinin atanması ve saatlik meteorolojik verilerin alınması ile başlamaktadır. Model simülasyonun başlayabilmesi için İYM ve humus başlangıç nem değerlerinin atanması gerekmektedir. Başlangıç nem değerleri ya doğrudan el ile girilebilir ya da ilgili meteorolojik veriler kullanılarak hesaplanabilir. Başlangıç nem değerlerinin hesaplanması durumunda, herhangi bir başlangıç (ör: %50) nem değeri için model üç gün süre ile mevcut hava koşulları altında çalıştırılarak İYM ve humus için başlangıç nem değerleri elde edilmiştir. Modelin başlaması için geçen bu süre literatür ve model sonuçlarına dayalı olarak belirlenmiştir. Mevcut hava koşulları altında bir ila üç gün İYM ve humusun beklenen nem içeriğine ulaşması için yeterli görülmüştür (Rothermel vd., 1986; de Dios vd., 2015). Ayrıca, başlangıç nem içeriklerinden bağımsız olarak arazi

verilerinden elde edilen veri seti üzerinde modelin tekrarlı olarak çalıştırılmasıyla İYM ve humusun 24 saat içerisinde beklenen nem içeriklerine ulaştığı gözlemlenmiştir. Elde edilen son nem içeriği değerleri bir sonraki saatin başlangıç nemi olarak alınmaktadır.

### 2.1.1.2. Yağışa Bağlı Nem Artışı

Ölü örtünün yağış sonrası nemi artar. Yağış miktarı ölü örtü nem içeriğinin tahmininde önemli bir parametredir (Fosberg, 1972). Çünkü yağış ölü örtüde diğer hava hallerine göre daha hızlı bir nem artışına sebep olur. Yüzey yanıcı maddeleri özellikle de ince yanıcı madde yağışa çok çabuk tepki verir ve hızlı bir şekilde doyma noktasına ulaşır (Viney, 1991). Ölü örtü nemi doyma noktasına yaklaştıkça yağışın etkisi azalır (Van Wagner, 1987a). Bu nedenle yağışa bağlı nem artış modeli ölü örtünün sahip olduğu mevcut nem içeriği, yağış miktarı, doyma noktası için gerekli yağış miktarı ve doyma noktasını dikkate alan bir yaklaşım ile ele alınmıştır (2, 3 ve 4).

$$NA_y = \left[ \frac{\left( \frac{(Y+BHN\dot{I})}{(DNYM-(Y+BHN\dot{I}))} \right)^{a_2}}{a_1^{a_2} + \left( \frac{(Y+BHN\dot{I})}{(DNYM-(Y+BHN\dot{I}))} \right)^{a_2}} \right] \times (\ddot{O}\ddot{O}N\dot{I}_{\text{mak}} - \ddot{O}\ddot{O}N\dot{I}) \quad (2)$$

$NA_y$  : Yağışa bağlı nem artışı (%),

$Y$  : Yağış (mm),

$\ddot{O}\ddot{O}N\dot{I}_{\text{mak}}$ : Doyma noktası nemi (ölü örtünün sahip olduğu maksimum nem içeriği) (%),

$\ddot{O}\ddot{O}N\dot{I}$  : Ölü örtü nem içeriği (%),

$a_1, a_2$  ve  $a_3$ : Model katsayıları,

$$\text{Birim hacimdeki nem içeriği (mm), } BHN\dot{I} = \ddot{O}\ddot{O}M \times \ddot{O}\ddot{O}N\dot{I} / 100 \quad (3)$$

$$\text{Doyma noktası için gerekli yağış miktarı (mm), } DN YM = \frac{b_1 \times \ddot{O}\ddot{O}M}{1 + b_2 \times \ddot{O}\ddot{O}M} \quad (4)$$

$\ddot{O}\ddot{O}M$  : Ölü örtü miktarı (İYM ve Humus) ( $\text{kg/m}^2$ ),

$b_1$  ve  $b_2$  : Model katsayıları.

Denklemin parantez içerisindeki ilk kısmı bir yağış olayından sonraki nem artış oranını hesaplamaktadır. Ölü örtü nem içeriğinin değişme oranı, yağış miktarına, ölü örtünün sahip olduğu mevcut nem içeriğine, doyumluk nemi için gerekli yağış miktarına ve ölü örtünün sahip olduğu mevcut nem içeriği ile doyumluk nemini arasındaki farka bağlıdır. Yağışın etkisi, ölü örtü nem içeriği doyumluk noktasına yaklaştıkça artan yağış miktarı ve başlangıç nemine bağlı olarak azalmaktadır (Van Wagner, 1987a, 1987b). Bu model formu aynı zamanda düşük yağış miktarında (<0,5 mm) kapalı meşcereler altındaki ölü örtü nem artış oranının düşük olmasını sağlamaktadır. Yağış ölçümleri açık alanlarda yapıldığı için kapalılığa bağlı olarak ağaç tepelerinde tutulan yağış miktarının dikkate alınması gerekmektedir. Bu durum modele eklenen  $a_2$  model katsayısı ile gerçekleştirilmiştir (2). Yağış etkisi yağışın saat başında olduğu varsayılarak hesaplanmıştır. Doyumluk nemi için gerekli yağış miktarı ve doyumluk nemi değerleri, ıslatma deneylerinden elde edilen ortalama nem içeriklerine göre belirlenmiştir. Doyumluk nemi değerleri İYM için %150 ve humus için %300 olarak belirlenmiştir.

### 2.1.1.3. Yoğunlaşma Etkisi

Ölü örtü nem modellemesinde karşılaşılan en önemli sorunlardan biri de, ölü örtü yüzeyinde yoğunlaşan su buharı nedeniyle meydana gelen nem artışının modellenmesidir. Ölü örtü yüzeyinde su buharının yoğunlaşması atmosferde tutulan su buharının çökmesi ya da topraktaki suyun yukarı doğru taşınması ile olmaktadır (Monteith, 1963). Yoğunlaşma genellikle bağıl nemin yüksek olduğu gün doğmadan önce sabah erken ve öğleden sonra geç saatlerde görülür (Nelson, 2000). Yoğunlaşmanın ölü örtü nem içeriği üzerine önemli bir etkisi olmasına rağmen bu konuda yapılan çalışmalar çok sınırlıdır (Viney, 1991). Viney ve Hatton (1990) tarafından gece meydana gelen yoğunlaşmanın İYM nemine olan etkisini ortaya koymak için fiziksel bir model geliştirilmiştir (Viney ve Hatton, 1990). Ancak, geliştirilen bu fiziksel model karmaşık ve arazide kolaylıkla ölçülemeyen birçok değişkeni içerisinde barındırmaktadır (Johnson vd., 2013). Bu nedenle, yoğunlaşmanın ölü örtü nemi üzerine olan etkisini belirlemek için bu çalışmada sıcaklık ve bağıl nem arasındaki ilişkiye bağlı olarak belirlenen atmosferik buhar basıncı açığını (ABBA) kullanan farklı bir model formu geliştirilmiştir (5).

$$YE = \left[ c_1 - \frac{(c_1 \times ABBA^{c_3})}{(c_2^{c_3} + ABBA^{c_3})} \right] \quad (5)$$

YE : Yoğunlaşma etkisi (mm),  
 ABBA : Atmosferik buhar basıncı açığı (kPa),  
 $c_1, c_2$  ve  $c_3$ : Model katsayıları.

Atmosferik buhar basıncı açığı (ABBA) havanın kurutma gücünün bir ölçüsü olup, sıcaklık ve bağıl neme bağlı olarak hesaplanmıştır (Bonan, 2008) (6 ve 7).

$$DBB = 610.7 \times 10^{(7.5 \times T)/(237.3 + T)} \quad (6)$$

$$ABBA = 100 - (BN \times DBB) \quad (7)$$

DBB : Doygun buhar basıncı,  
 T : Sıcaklık (°C),  
 BN : Bağıl nem (%).

Bu ilişki, ölü örtüde yoğunlaşan su miktarını hesaplamaktadır. Yoğunlaşan suyun tamamının ölü örtü nem içeriğinde bir artışa neden olduğu kabul edilmiştir. Yoğunlaşmaya bağlı olarak ölü örtü nem içeriğindeki artış aşağıdaki gibi hesaplanmıştır (8).

$$NA_c = \frac{YE}{\ddot{O}ÖM} \times 100 \quad (8)$$

$NA_c$  : Yoğunlaşmaya bağlı nem artışı (%),  
 $\ddot{O}ÖM$  : Ölü örtü miktarı (İYM ve Humus) ( $kg/m^2$ )

Yağış miktarı ve yoğunlaşma etkisine bağlı olarak nem artışı hesaplandıktan sonra saatlik İYM ve humus nem içeriği hesaplanmıştır (9).

$$\ddot{O}N\ddot{I}_{(t)} = \ddot{O}N\ddot{I}_{(t-1)} + NA_y + NA_c \quad (9)$$

$\ddot{O}N\ddot{I}$  : Ölü örtü nem içeriği (%),

$NA_y$  : Yağışa bağlı nem artışı (%),

$NA_c$  : Yoğunlaşmaya bağlı nem artışı (%).

#### 2.1.1.4. Denge Nemi

Ölü örtü, yağış olmaksızın atmosferde uzun bir süre sabit bağıl nem ve sıcaklığa maruz kaldıktan sonra ortam ile nem alışverişini durdurur ve belirli bir nem değerinde kalır. Bu nem değeri denge nemi (DN) olarak tanımlanır (Mutch ve Gastineau, 1970; Blackmarr, 1971). Denge nemi, modelin ölü örtü nem içeriğini hesaplamada kullanılan bir ara değişkendir. Birçok DN modeli önerilmiş (Simard, 1968a; Van Wagner, 1972; Anderson vd., 1978; Nelson, 1984; Catchpole vd., 2001) ve yanıcı madde nem tahmin modellerinde kullanılmıştır (Van Wagner, 1977; Matthews, 2006; Slijepcevic vd., 2013; Lopes, Viegas, Lemos, vd., 2014; de Dios vd., 2015). Bu çalışmada, atmosferik buhar basıncı açığını (ABBA) (de Dios vd., 2015; Nolan vd., 2016) dikkate alan model formu kullanılarak İYM ve humus için denge nemi değerleri belirlenmiştir (10).

$$DN = d_1 + d_2 \times e^{(-d_3 \times ABBA)} \quad (10)$$

DN : Denge nemi (%),

$d_1, d_2$  ve  $d_3$  : Model katsayıları.

Model katsayıları hem kurak dönem arazi çalışmalarından elde edilen veriler hem de laboratuvarında iklimlendirme dolabında gerçekleştirilen çalışmalar sonucunda elde edilen veriler ile doğrusal olmayan regresyon analizi kullanılarak belirlenmiştir (Catchpole ve Viney, 1991; Viney, 1992).

Bu amaçla arazi çalışmaları ile elde edilen kızılçam İYM ve humus örnekleri ile Karadeniz Teknik Üniversitesi Orman Mühendisliği Bölümü Entomoloji Laboratuvarında iklimlendirme dolabında farklı sıcaklık (°C) ve bağıl nem (%) değerlerinde 6 saat ara ile ölçümler gerçekleştirilmiştir. Bu verilere, arazi ölçümlerinde elde edilen bazı veriler de



eklenmiştir. Bu veriler kurak dönemde ölçülen ve uygulamada bağıl nem ve sıcaklık ilişkisine bağlı olarak gerçekleşebilecek denge nemi değerleri olarak kabul edilmiştir.

Aynı hava koşulları altında farklı özelliklere sahip olan ölü örtünün nem içerikleri ve nem alma-verme süreleri birbirinden farklıdır. Ölü örtü, denge nemine nem alarak ya da nem kaybederek iki farklı şekilde ulaşmaktadır. Nem alma ve verme fazları arasında küçükte olsa bir farklılık bulunmaktadır. Genel olarak nem alarak denge nemine ulaşmanın nem kaybetmeye göre %2 daha düşük olduğu bilinmektedir (Anderson vd., 1978; Catchpole vd., 2001; Slijepcevic vd., 2013; Matthews, 2014). Bu nedenle nem alma ve verme fazları için ayrı ayrı denge nemi denklemleri kullanılmaktadır. Ancak, bu çalışma kapsamında nem alma ve verme fazları için kullanılan denklemler yaklaşık aynı sonuçları vermiştir. Bu nedenle pratikte kullanım kolaylığı sağlaması açısından bu çalışmada her iki faz için tek bir denge nemi denklemi kullanılması tercih edilmiştir.

#### **2.1.1.5. Kuruma Sabitinin Belirlenmesi**

Kuruma sabiti ölü örtünün sahip olduğu nem ile denge nemi arasındaki nem farkının 2/3'ünü (%66.6) kaybetmesi ya da kazanması için geçen süredir (Byram, 1963; Mutch ve Gastineau, 1970). Kuruma sabiti ölü örtünün nem alıp verme özelliklerinin belirlenmesi açısından önemlidir. Kuruma sabitini hava halleri, kapalılık, ölü örtü kalınlığı (Nelson, 1969; Van Wagner, 1969, 1979), istiflenme düzeni (Nelson ve Hiers, 2008) ve yoğunluğu (Anderson vd., 1978; Kreye vd., 2012) gibi faktörlerin etkilediği bilinmektedir. Kuruma sabiti ıslanma ve kuruma fazlarına göre küçük farklılıklar göstermesine rağmen (Simard, 1968b), pratikte bu farklılıklar dikkate alınmamakta ve her faz için tek bir değer kullanılmaktadır (Mutch ve Gastineau, 1970). Bu nedenle, bu çalışmada İYM ve humus için atmosferik buhar basıncı açığı (ABBA) ve rüzgar ilişkisini kullanan bir model formu geliştirilmiştir. Model katsayıları çoklu doğrusal olmayan regresyon analizi kullanılarak belirlenmiştir (11 ve 12).

$$KS = \left[ \left[ e_1 - \left( \frac{e_1 \times ABBA^{e_3}}{e_2^{e_3} + ABBA^{e_3}} \right) \right] + e_4 \right] \times k_R \quad (11)$$

KS : Kuruma sabiti (saat),  
 ABBA : Atmosferik buhar basıncı açığı (kPa),  
 e<sub>1</sub>, e<sub>2</sub>, e<sub>3</sub> ve e<sub>4</sub> : Model katsayıları.

$$k_R = 1 - \left( \frac{f_1 \times R}{f_2 + R} \right) \quad (12)$$

K<sub>R</sub> : Rüzgar düzeltme katsayısı,  
 R : Rüzgar hızı (km/s),  
 f<sub>1</sub> ve f<sub>2</sub> : Model katsayıları.

Daha sonra kuruma sabiti İYM ve humus için bir saatin sonundaki nihai nemin hesaplanmasında kullanılmıştır (13).

$$\ddot{O}\ddot{O}N\ddot{I}_{(t+1)} = \ddot{O}\ddot{O}N\ddot{I}_{(t)} - (\ddot{O}\ddot{O}N\ddot{I}_{(t)} - DN)/KS \quad (13)$$

ÖÖNİ: Ölü örtü nem içeriği (%)

Bu bir saatin sonunda tahmin edilen nem içeriği bir sonraki saatin başlangıç nemi olarak alınmaktadır.

### 2.1.2. Veri Toplama

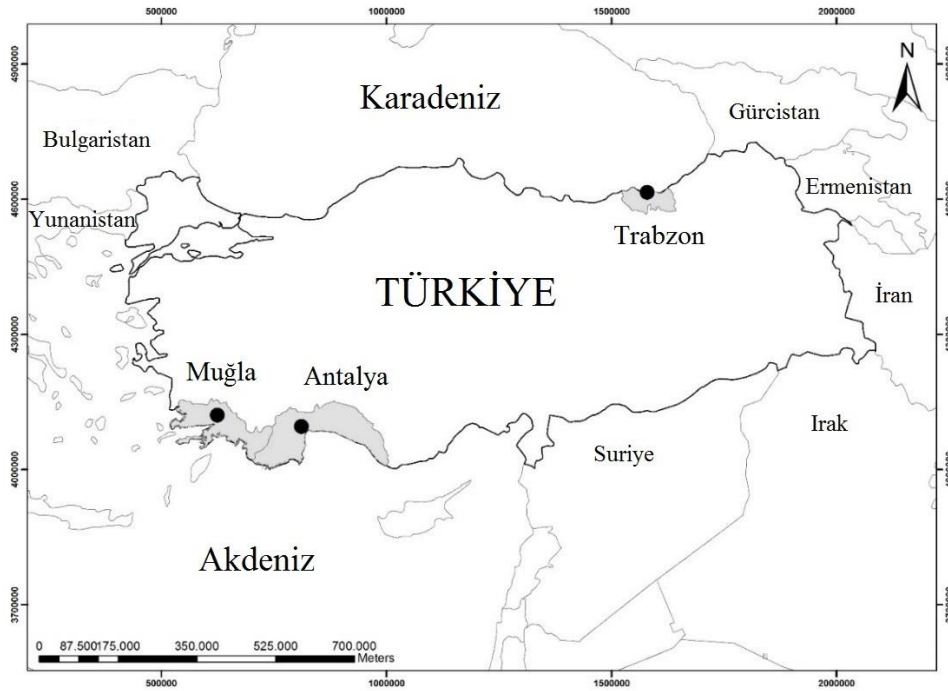
Çalışma kapsamında, ölü örtü nem içeriğinin farklı hava hallerine bağlı olarak günlük değişimi belirlenmiştir. Bu amaçla, ülkemizin üç farklı ilinde normal kapalı (3 kapalı) kızılçam meşcerelerinde 117 günlük dönemde ince yanıcı madde ve humus için saatlik nem ölçümleri yapılmıştır. Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen arazi çalışmaları Şekil 2'de gösterilmiş olup yöntem bu sıraya göre açıklanmıştır.



Şekil 2. Gerçekleştirilen arazi çalışmalarına ilişkin iş akış diyagramı

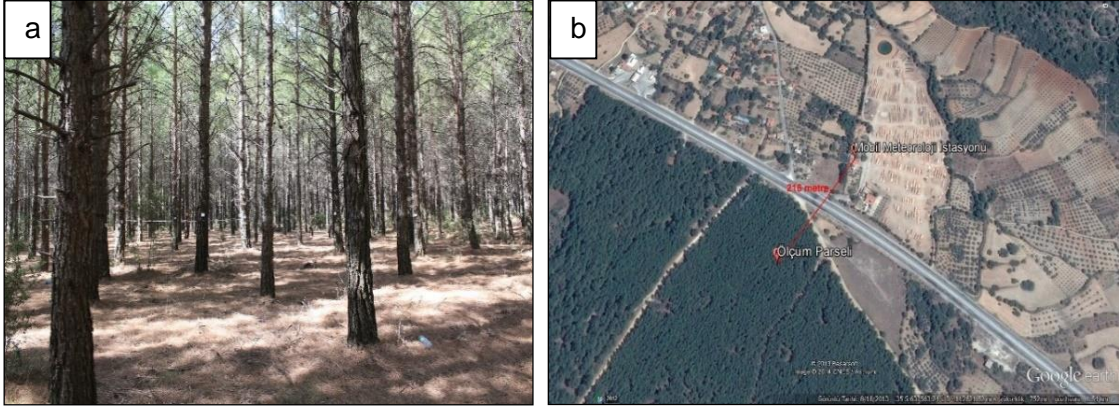
### 2.1.2.1. Deneme Alanları ve Özellikleri

Bu araştırmanın arazi çalışması, ülkemizde yangınlardan en fazla etkilenen Ege ve Akdeniz bölgelerini temsilen Muğla ve Antalya illerindeki normal kapalı (3 kapalı) kızılçam meşcerelerinde yapılmıştır. Ayrıca, özellikle yağış sonrası ölü örtü nem değişiminin belirlenmesi amacı ile yağışların yoğun olarak görüldüğü Trabzon'da Karadeniz Teknik Üniversitesi kampüsü içindeki kızılçam/sahil çamı ağaçlandırma alanında ölçüm ve gözlemler gerçekleştirilmiştir (Şekil 3).



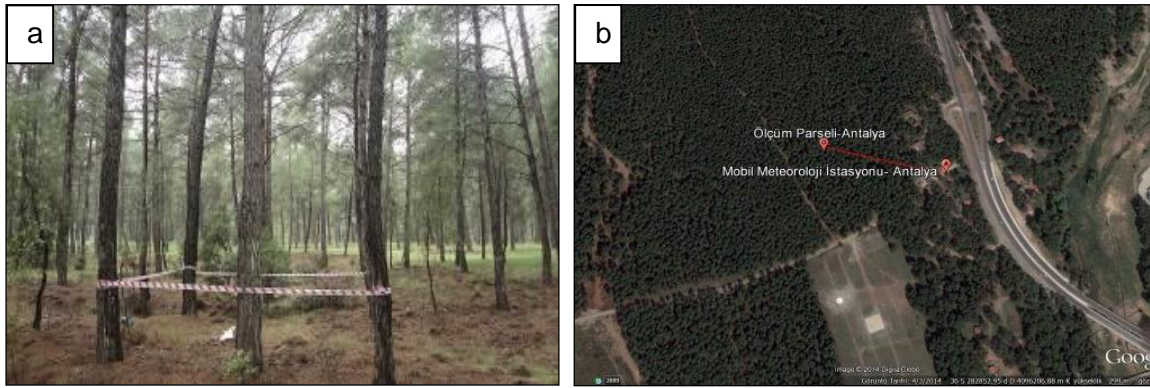
Şekil 3. Çalışma alanlarının coğrafik konumu

Muğla'da Akdeniz iklimi hüküm sürer. Yazlar sıcak ve kurak, kışlar ılık ve yağışlıdır. Ortalama en yüksek sıcaklık 33.4 °C ile Ağustos ayında, ortalama en düşük sıcaklık 1.6 °C ile Ocak ayında, ortalama en düşük yağış 8.2 mm ile Ağustos ayında, ortalama en yüksek yağış 266.6 mm ile Aralık ayında gerçekleşmiştir (URL-3, 2017). Muğla'da ölü örtü nem ölçümleri, 37° 08' kuzey enlemleri ile 28° 30' doğu boylamları arasında 750 m yükseltide gerçekleştirilmiştir (Şekil 4). Muğla için yangın sezonu Mayıs ayının sonunda başlayıp Eylül ayının ortasına kadar sürer.



Şekil 4. Muğla’da belirlenen deneme alanı (a) ve uydu görüntüsü (b)

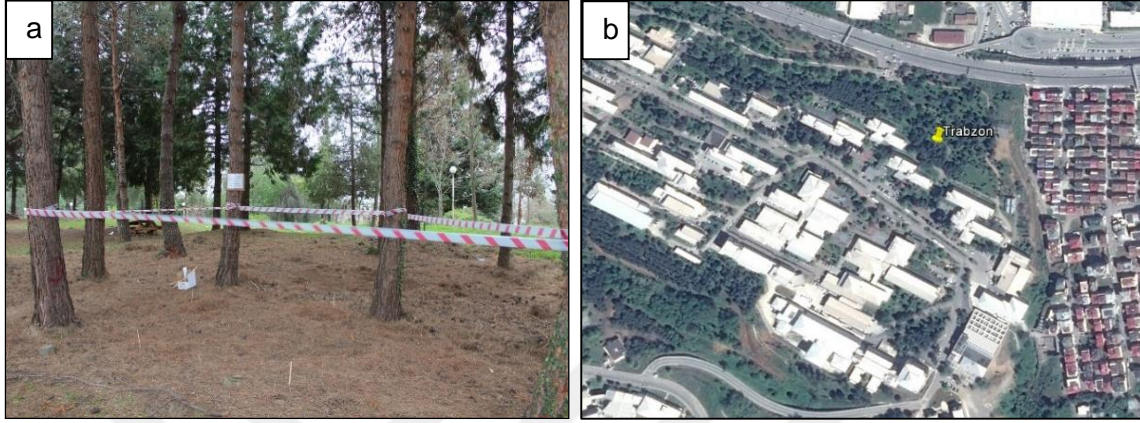
Antalya’da Akdeniz iklimi hüküm sürer. Yazlar sıcak ve kurak, kışlar ılık ve yağışlıdır. Ortalama en yüksek sıcaklık 34.1 °C ile Temmuz ayında, ortalama en düşük sıcaklık 6.0 °C ile Ocak ayında, ortalama en düşük yağış 2.5 mm ile Temmuz ayında, ortalama en yüksek yağış 261.1 mm ile Aralık ayında gerçekleşmiştir (URL-4, 2017). Antalya’da ölü örtü nem ölçümleri, 36° 59' kuzey enlemleri ile 30° 33' doğu boylamları arasında 240 m yükseltide gerçekleştirilmiştir (Şekil 5). Antalya için yangın sezonu Mayıs ayının sonunda başlayıp Eylül ayının ortasına kadar sürer.



Şekil 5. Antalya’da belirlenen deneme alanı (a) ve uydu görüntüsü (b)

Trabzon’da Karadeniz iklimi hüküm sürer. Yazları serin ve kışları ılık, her mevsim yağışlı geçer. Ortalama en yüksek sıcaklık 26.6 °C ile Ağustos ayında, ortalama en düşük sıcaklık 4.3 °C ile Şubat ayında, ortalama en düşük yağış 36.0 mm ile Temmuz ayında, ortalama en yüksek yağış 116.1 mm ile Ekim ayında gerçekleşmiştir (URL-5, 2017).

Trabzon'da ölü örtü nem ölçümleri,  $40^{\circ} 59'$  kuzey enlemleri ile  $39^{\circ} 46'$  doğu boylamları arasında 50 m yükseltide gerçekleştirilmiştir (Şekil 6). Trabzon için yangın sezonu Kasım ayının sonunda başlayıp Mayıs ayının başına kadar sürer.



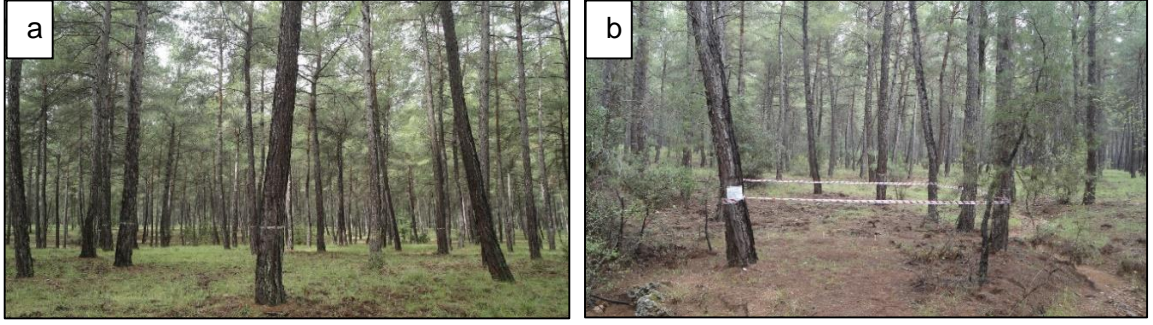
Şekil 6. Trabzon'da belirlenen deneme alanı (a) ve uydu görüntüsü (b)

#### 2.1.2.2. Deneme Alanlarının Kurulması

Uydu görüntüleri yardımıyla potansiyel deneme alanları belirlenmiş, arazi çalışmalarıyla belirlenen alanlardan uygun olan meşcereler seçilmiş ve meşcerelerde İYM ve humus nem miktarının belirlenmesi için uygun bir alanda parseller hazırlanmış ve koruyucu şerit ile çevrilmiştir (Şekil 7 ve 8).

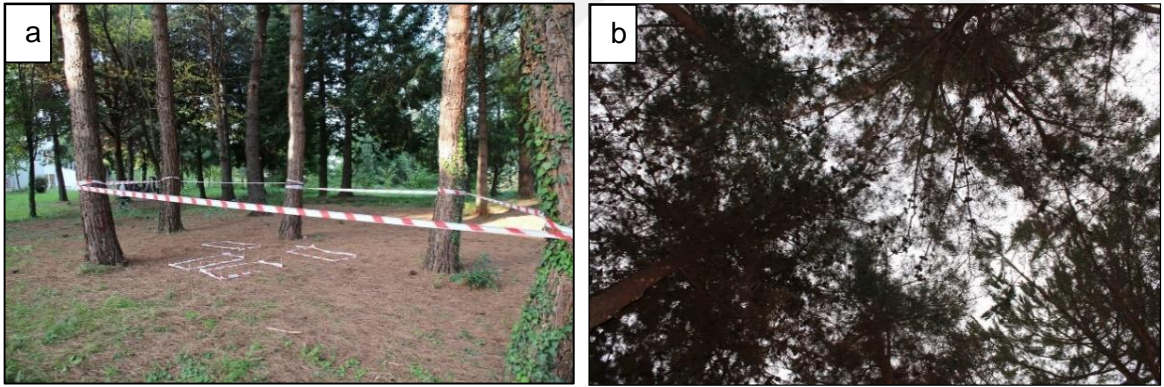


Şekil 7. Muğla'da belirlenen deneme alanı (a, b)



Şekil 8. Antalya’da belirlenen deneme alanı (a, b)

Aynı zamanda yağış rejimi oldukça uygun olan ve kolaylıkla ölçüm yapılabileceği düşünülen Karadeniz Teknik Üniversitesi Kanuni kampüsü içerisinde normal kapalılığa sahip kızılçam/sahil çamı ağaçlandırma alanlarında yağış öncesi ve sonrası nem ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Bu deneme alanında yağışa bağlı İYM ve humus katmanlarındaki nem artışı ortaya konulmaya çalışılmıştır. Ölçüm yapılan bu örnekleme alanlarındaki kapalılık durumu ve meşcere özellikleri diğer deneme alanlarındaki yapıyla uyumludur (Şekil 9).



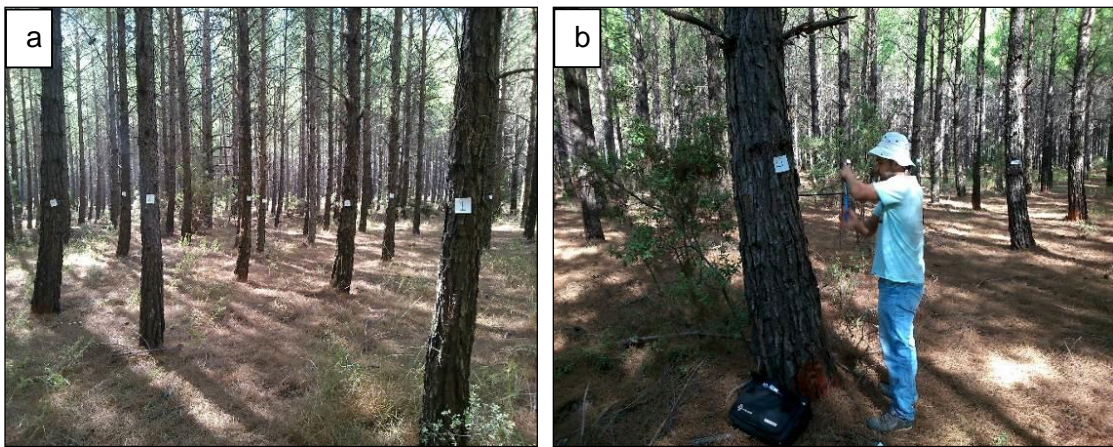
Şekil 9. KTÜ Kanuni kampüsünde belirlenen deneme alanı (a, b,)

### 2.1.2.3. Deneme Alanlarına İlişkin Meşcere Özelliklerinin Ölçülmesi

Deneme alanları 20×20 m büyüklüğünde kızılçam orman alanlarında, aynı yaşlı, normal kapalılığa sahip, ince ağaçlık (c) ve orta ağaçlık (d) çağlarındaki meşcerelerden seçilmiştir. Aynı zamanda Karadeniz Teknik Üniversitesi kampüsü içinde bulunan kızılçam/sahil çamı ağaçlandırma alanlarında da ölü örtü nem ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Belirlenen çalışma alanları içerisinde, nispeten düz veya düze yakın, ölü örtü yoğunluğunun

homojen olduğu ve diri örtü yoğunluğunun az ya da hiç olmadığı deneme alanları belirlenmiştir. Ayrıca deneme parsellerinin yol, ziraat alanı, orman içi açıklık gibi kenar etkisi gösterebilecek alanlardan en az 40-50 m uzaklıkta ve meşcere içerisinde seçilmesine özen gösterilmiştir. Çünkü kenar etkisi gösteren alanlar rüzgâr, sıcaklık, bağıl nem ve güneş radyasyonu gibi ölü örtü nemi üzerinde doğrudan etkili olan etmenler yönünden meşcere içine göre farklılık gösterir.

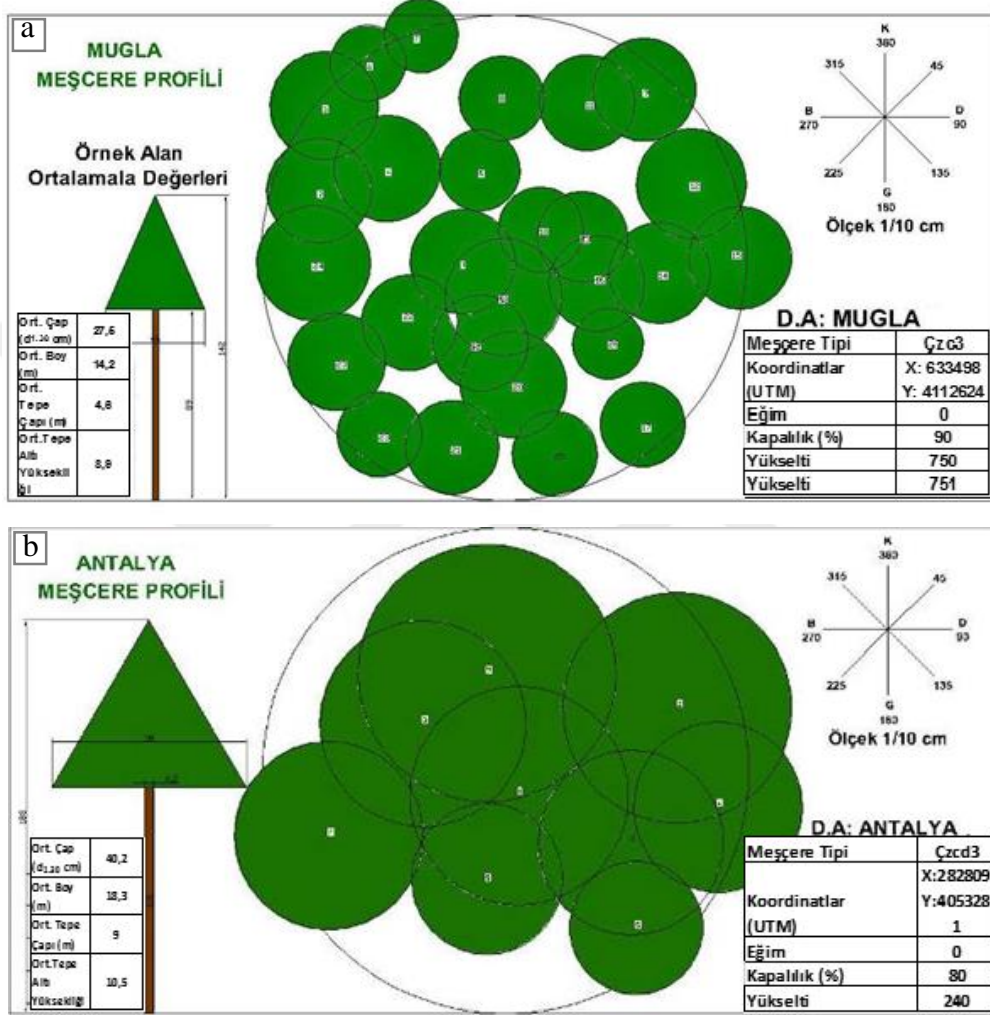
Belirlenen deneme alanlarında nem tayini çalışmalarına başlamadan önce çalışma alanının koordinat değerleri, yükseltisi, bakışı ve eğimi gibi alan tanımlayıcı bilgiler kaydedilmiştir. Seçilen deneme alanlarında meşcere ve ölü örtü özelliklerinin belirlenmesi amacıyla 3 adet 400 m<sup>2</sup> (11, 28 metre yarıçap) büyüklüğündeki örnek alanlarda ölçümler yapılmıştır. Ölçümlerin yapılacağı alanlarda bulunan ağaçlar numaralandırılarak her bir ağaç için çap, boy, tepe çapı, tepe altı yüksekliği (canlı dal başlangıcı ile toprak seviyesine kadar olan mesafe) tepe boyu, ağaç yaşı (meşcereyi temsil eden en az 5 ağaçta) değerleri belirlenmiştir. Ağaçların çapı, bir çap ölçerle göğüs yüksekliği seviyesinden (1.30 m) birbirine dik iki ölçümle gerçekleştirilmiştir. Ağaç boyu ve ağaç tepe boyu Haglöf Vertex 4 elektronik boy ölçerle belirlenmiştir. Ağaçların tepe çapı, yerden şerit metre ile ağaç tepelerinin yerdeki izdüşümünün birbirine dik iki ölçümü alınarak belirlenmiştir. Ağaç yaşı artım kalemlerindeki yıllık halkaların sayılması ile belirlenmiştir. Yaş tayini, çap artım burgusu ile düzgün gövdeli (daire) bireylerde tek, eksantrik gövdeli (elips) bireylerde ise birbirine dik olarak ağacın özüne ulaşacak şekilde alınan iki artım kalemi ile belirlenmiştir (Şekil 10).



Şekil 10. Deneme alanlarında ölü örtü özelliklerinin belirlenmesi (a) ve meşcere ölçümlerinin gerçekleştirilmesi (b)



Deneme alanlarında meşcere profili oluşturabilmek amacı ile her bir ağacın deneme alanı merkezine olan uzaklıkları ve kuzeyle yaptıkları semt açıları ölçülerek meşcere profilleri de çıkartılmıştır (Şekil 11).



Şekil 11. Muğla (a) ve Antalya (b) illerindeki deneme alanlarına ilişkin meşcere profilleri

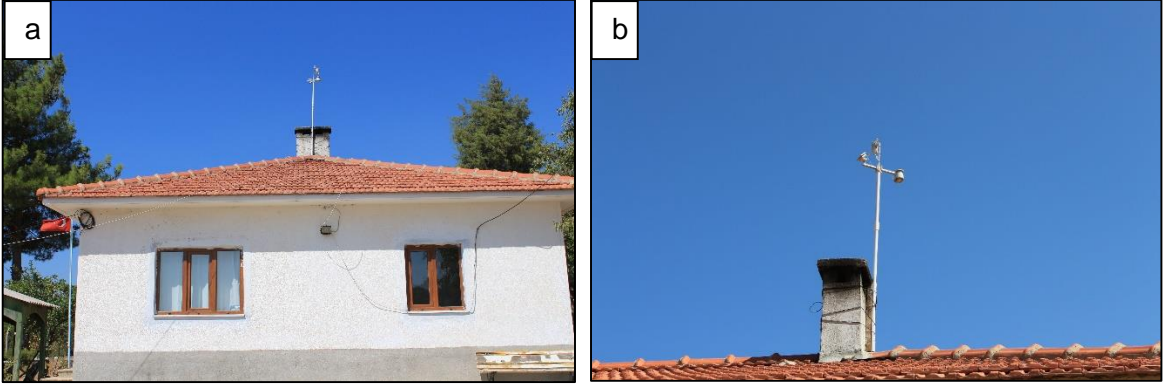
Ölçümlerin yapılacağı bu alanlara ilişkin her türlü bilgi ve veri, deneme alanı envanter karnesine girilmiştir. Deneme alanlarına ilişkin meşcere ve ölü örtü özellikleri Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Deneme alanının meşcere ve ölü örtü özellikleri

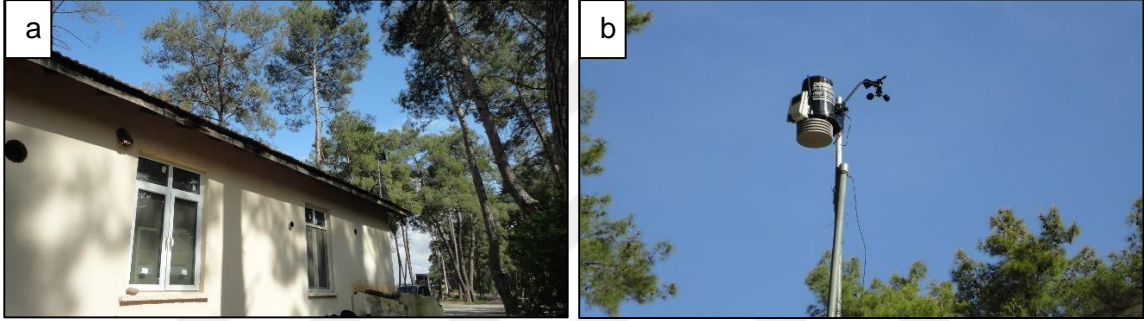
	Birim	<u>Muğla</u>	<u>Antalya</u>	<u>Trabzon</u>	
Meşcere Özellikleri					
Meşcere Yapısı		Plantasyon	Doğal	Plantasyon	
Meşcere Yaşı	Yıl	41	63	50	
Deneme Alanı	#	3	3	2	
Göğüs Çapı (d <sub>1.30</sub> )	cm	26.8	37.1	34.2	
Tepe Çapı	m	4.6	8.3	5.6	
Ağaç Boyu	m	14.0	17.8	15.5	
Tepe Altı Yüksekliği	m	8.7	10.2	8.9	
Kapalılık	%	95	80	85	
Meşcere Sıklığı	N/ha	725	250	450	
Ölü Örtü Özellikleri					
	Ölü Örtü Derinliği	cm	1.8	2.1	2.5
İYM	Ölü Örtü Miktarı	kg/m <sup>2</sup>	0.335	0.396	0.405
	Ölü Örtü Yoğunluğu	g/cm <sup>3</sup>	0.019	0.020	0.016
	Ölü Örtü Derinliği	cm	4.1	3.2	3.9
Humus	Ölü Örtü Miktarı	kg/m <sup>2</sup>	1.647	1.005	1.853
	Ölü Örtü Yoğunluğu	g/cm <sup>3</sup>	0.040	0.031	0.048

#### 2.1.2.4. Deneme Alanlarına İlişkin Meteorolojik Verilerin Ölçülmesi

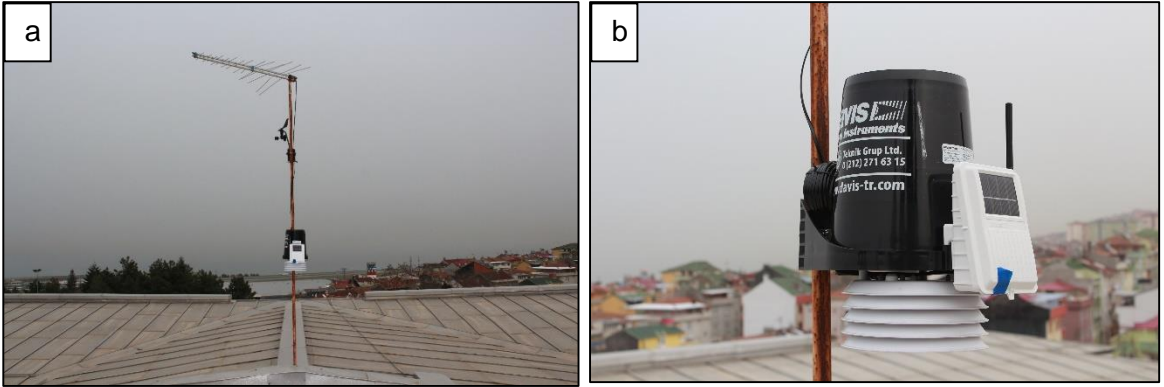
Deneme alanlarında meşcere parametreleri ölçüldükten sonra, hava hallerinin tespiti için mobil meteoroloji istasyonları [Davis Vantage Pro (Davis Instruments Corp., USA)] kurulmuştur (Şekil 12, 13, 14 ve 15).



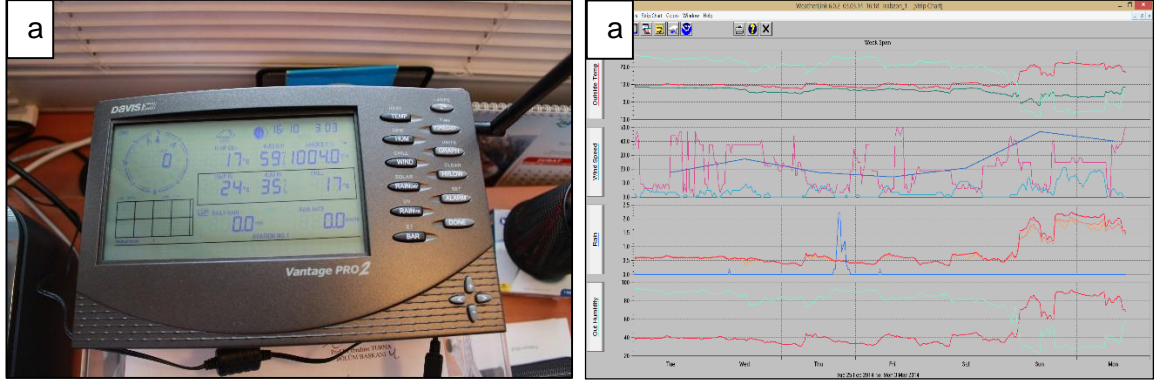
Şekil 12. Muğla'da kurulan mobil meteoroloji istasyonu (a, b)



Şekil 13. Antalya'da kurulan mobil meteoroloji istasyonu (a,b)

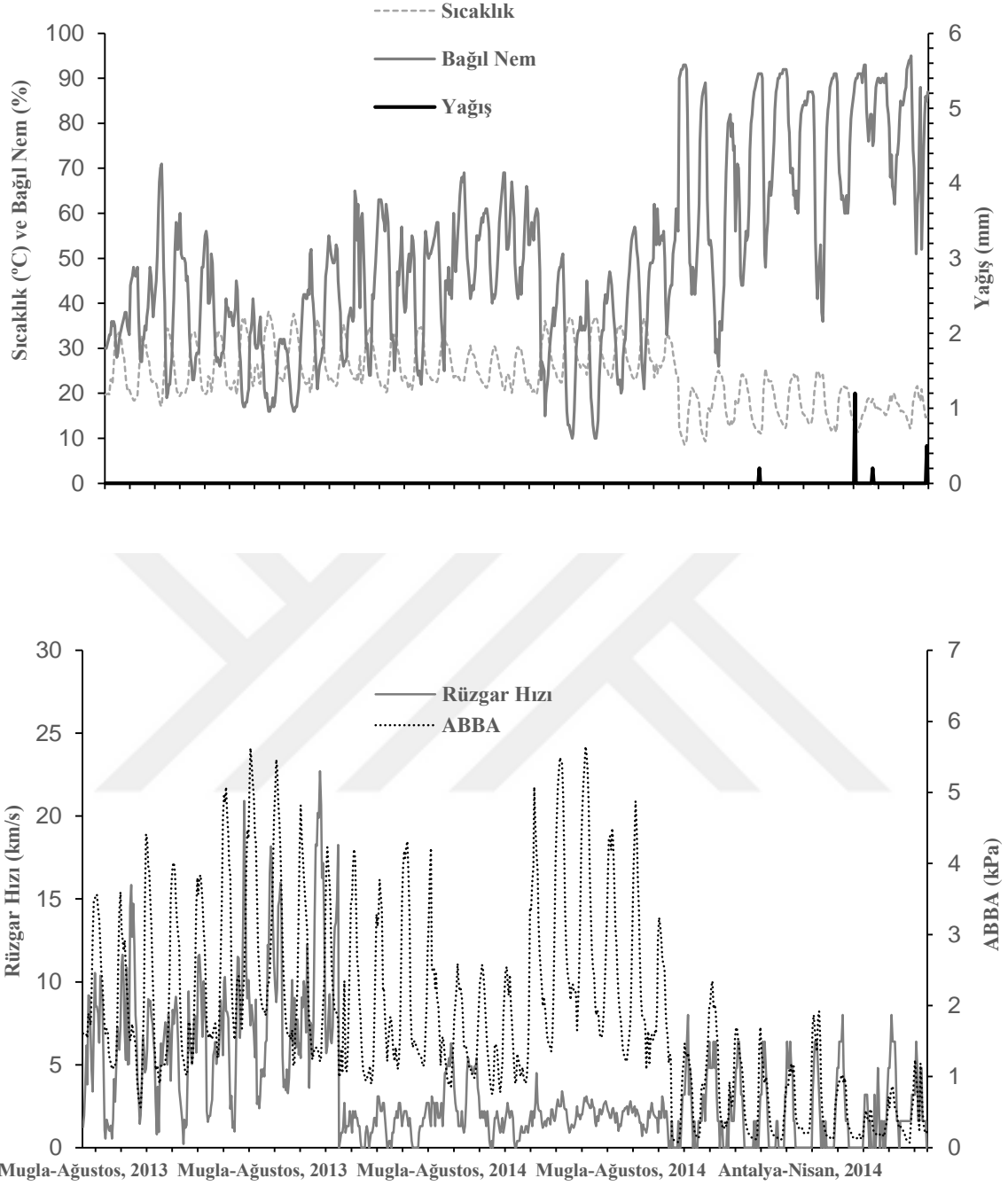


Şekil 14. Trabzon'da kurulan mobil meteoroloji istasyonu (a, b)



Şekil 15. Meteorolojik verilerin bilgisayar ortamına aktarılması (a, b)

Deneme alanlarında kurulan mobil meteoroloji istasyonları yardımıyla deneme alanlarına ilişkin meteorolojik veriler (yağış (mm), sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ ), bağıl nem (%), rüzgar hızı (km/s) ve yönü kaydedilmiştir. Meteorolojik veriler; *i*) Muğla için, 22-31 Ağustos 2013 (1. dönem) ve 14-27 Ağustos 2014 (2. dönem) tarihleri arasında 24 gün, *ii*) Antalya için, 20-29 Nisan 2014 tarihleri arasında 10 gün, *iii*) Trabzon için, 18 Şubat – 10 Mayıs tarihleri arasında 83 gün süre ile kaydedilmiştir. Ölü örtü nem ölçümleri boyunca kaydedilen ortalama meteorolojik veriler ve ABBA değerleri Şekil 15’de verilmiştir.

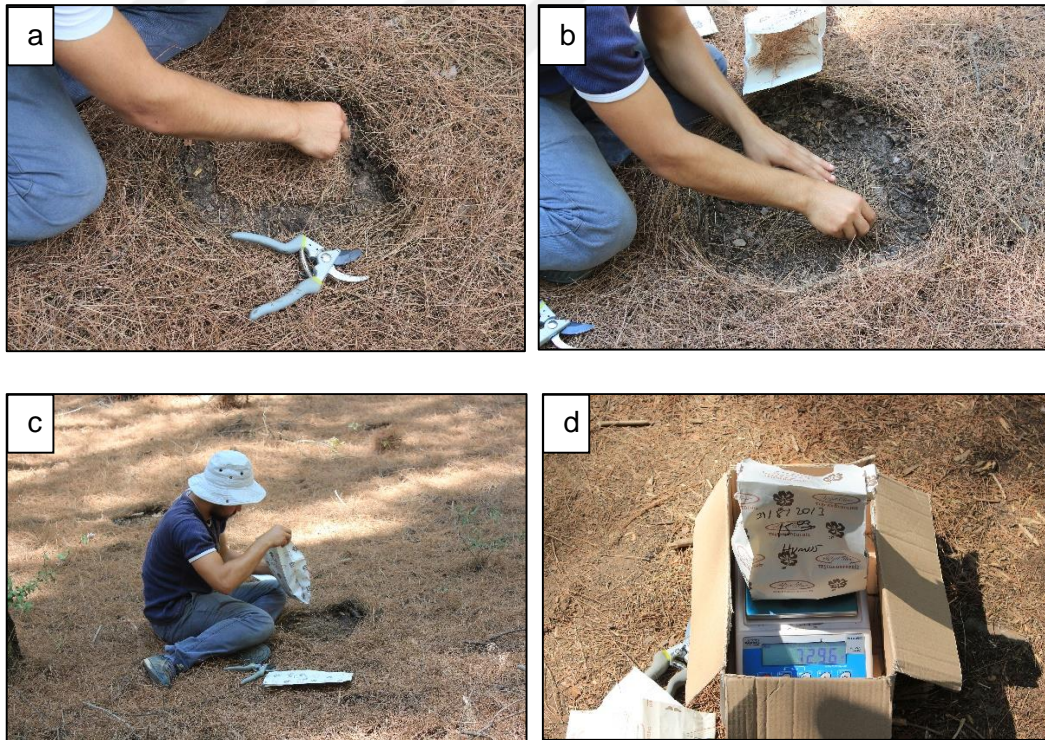


Şekil 16. Ölçüm zamanlarına ilişkin sıcaklık, bağıl nem, yağış, rüzgar hızı ve atmosferik buhar basıncı açığı (ABBA) değerleri

### 2.1.2.5. Deneme Alanlarına İlişkin Ölü Örtü Nem Ölçümlerinin Gerçekleştirilmesi

Ölü örtü nem ölçümleri, ölü örtünün üst kısmını temsil eden, yeni dökülmüş ve henüz ayrışmaya başlamamış ince üst tabaka (L) ile ayrışmakta olan ve ince üst tabakanın altındaki organik madde tabakasında humus (H) yapılmıştır.

Ölü örtü nem ölçümleri, deneme alanlarında oluşturulan ölçüm parsellerinde 4 farklı dönemde (Muğla 1. ve 2. dönem, Antalya ve Trabzon), yılın farklı aylarında, gün içinde (9.00-19.00) 2 saatlik ara ile 5 tekrarlı olarak İYM ve humus için yapılmıştır. Ölü örtü nem içeriklerini belirlemek amacıyla ölçüm saatlerinde arazinin uygun bölümlerinden 15 × 20 cm büyüklüğünde İYM ve humus örnekleri alınarak 0.01 gr hassasiyetindeki elektronik terazi ile tartılmış ve envanter karnesine kaydedilmiştir. Alınan örnekler kese kâğıtlarına konularak üzerine silinmeyen kalem ile örnek numarası, alındığı tarih, saat, hava halleri bilgileri ve arazi ağırlıkları kaydedilmiştir. Toplamda 4 farklı dönem için 117 günlük ölçüm yapılmıştır (Şekil 17).



Şekil 17. İYM ve humus nem örneklerinin alınması (a, b, c) ve ölçüm zamanlarında arazi ağırlıklarının belirlenmesi (d)

Ölçüm zamanlarına ilişkin araziden alınan örnekler kurutma fırınına yerleştirilerek 105 °C de 24 saat kurutulmuştur (Viney, 1992; Pook ve Gill, 1993; Viegas vd., 2001; Cheney ve Sullivan, 2008). Kurutulan örnekler tekrar hassas elektronik terazi ile 0.01 gr hassasiyetinde tartılarak fırın kurusu ağırlıkları belirlenmiştir. Benzer şekilde ıslatma parsellerinden ve Trabzon'da kurulan ölçüm parsellerinden alınan örneklerde ölçümlerin tamamlandığı arazi çalışması sonunda kurutma fırınlarında kurutularak fırın kurusu ağırlıkları belirlenmiştir (Şekil 18).

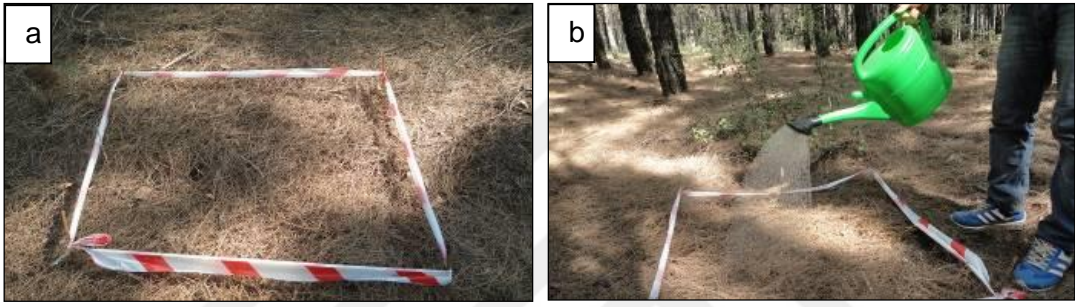


Şekil 18. Arazi örneklerinin kurutma kaplarına alınarak fırınlara yerleştirilmesi (a, b) ve kurutulan örneklerin fırın kurusu ağırlıklarının belirlenmesi (c, d)

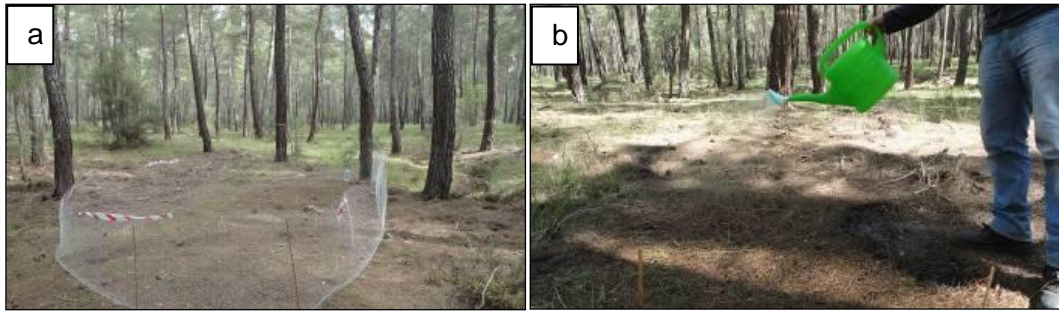
#### 2.1.2.6. Yağış Miktarına Bağlı Ölü Örtü Nem Artışının Belirlenmesi

Yağışın ölü örtü nem artışına olan etkisini belirlemek amacıyla Muğla ve Antalya deneme alanlarında 1×1 m ıslatma parselleri kurulmuştur. İYM ve humus katmanlarından 15 × 20 cm ebatlarında örnekler alınmış ve bu örnekler havalandırma ve nem alış verişini engellemeyecek 1×1 mm gözenekli filelere konulmuştur. Hazırlanan örnekler ıslatma parsellerine 3 tekrarlı olacak şekilde yerleştirilmiştir. Parseller, sulama ibriği yardımıyla yağışı taklit edecek şekilde ve 0,2 mm ile 10 mm arasında değişen (0.2, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0,

5.0, 7.0 ve 10.0) yağış miktarında su ile homojen olarak ıslatılmıştır (Sato vd., 2004). Dökülen su miktarı, normal kapalı meşcerelerde yağış sonrası ölü örtüye geçen yağış miktarıyla ilişkiye getirilerek belirlenmiştir. Her bir yağış formu için ıslatmadan önce ve sonra İYM ve humus örnekleri 0.01 gr hassasiyetindeki elektronik terazi ile tartılmış ve envanter karnesine kaydedilmiştir. Toplamda İYM ve humus için 94 ölçüm yapılmıştır (Şekil 19 ve 20). Daha sonra, ölü örtü örneklerinin fırın kurusu ağırlıkları belirlenerek nem içerikleri hesaplanmıştır. Bu ölçümler ölü örtüdeki maksimum nem artışını belirlemek için kullanılmıştır.



Şekil 19. Muğla deneme alanında hazırlanan ıslatma parseli (a) ve farklı oranlarda (mm) ıslatmaların gerçekleştirilmesi (b)



Şekil 20. Antalya deneme alanında hazırlanan ıslatma parseli (a) ve farklı oranlarda (mm) ıslatmaların gerçekleştirilmesi (b)

Yağışa bağlı nem artışını belirlemek için Trabzon deneme alanı içerisine 1×1 m büyüklüğünde ölçüm parseli kurularak anlık nem ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Ölçüm parsellerinde nem ölçümleri yağış öncesi, yağış esnası ve yağış sonrası olarak yapılmıştır.



Sonuç olarak, çalışma periyodu boyunca toplam olarak 8 farklı gün için 13 yağış ölçümü gerçekleştirilmiştir (Şekil 21).



Şekil 21. Trabzon deneme alanında hazırlanan ölçüm parseli (a) ve yağışa bağlı nem ölçümlerinin gerçekleştirilmesi (b)

Çalışma dönemi boyunca gerçekleştirilen ölçümlere ilişkin bazı tanımlayıcı istatistikler Tablo 3'te verilmiştir. Bu veriler modelin kalibrasyonunda kullanılmıştır.

Tablo 3. Ölçüm zamanlarına ilişkin meteorolojik veriler

Çalışma Alanı	Dönem	Sıcaklık (°C)			Bağıl Nem (%)			Rüzgar Hızı (km/s)*			Yağış (mm)
		Min.	Ort.	Mak.	Min.	Ort.	Mak.	Min.	Ort.	Mak.	Mak.
Muğla	M1	17.1	26.7	38.2	16.0	35.4	71.0	0.2	7.4	22.7	0.0
	M2	19.9	27.2	37.0	10.0	44.5	69.0	0.0	1.9	6.3	0.0
Antalya	A	8.6	17.2	25.5	26.0	73.4	95.0	0.0	2.1	8.0	1.2
Trabzon	T	2.4	13.1	20.4	8.0	72.4	96.0	0.0	4.2	20.9	2.8

\* Rüzgar hızı açık alanda 10 m yükseklikte ölçülmüştür (Lawson ve Armitage, 2008).

### 2.1.3. Model Katsayılarının Belirlenmesi

Modelde kullanılan katsayılar birinci dönem Muğla (M1) ve Trabzon alan verileri kullanılarak doğrusal olmayan regresyon analizi (SPSS, 2013) ile belirlenmiş ve kalibre edilmiştir (Tablo 4).

Tablo 4. Modelde kullanılan katsayı değerleri

Katsayı	Değer		Birim
Yağışa Bağlı Nem Artışı (NA <sub>y</sub> )			
	İYM	Humus	
a <sub>1</sub>	0.1	0.1	%
a <sub>2</sub>	1.4	2	
Doygunluk Nemi İçin Gerekli Yağış Miktarı (DNYM)			
b <sub>1</sub>	50	40	
b <sub>2</sub>	1	1	mm
Yoğunlaşma Etkisi (YE)			
c <sub>1</sub>	0.15	0.7	
c <sub>2</sub>	15	20	mm
c <sub>3</sub>	1.4	2	
Denge Nemi (DN)			
d <sub>1</sub>	4	4	
d <sub>2</sub>	10	12.5	%
d <sub>3</sub>	0.00035	0.0004	
Kuruma Sabiti (KS)			
e <sub>1</sub>	100	150	
e <sub>2</sub>	150	120	
e <sub>3</sub>	3	3	saat
e <sub>4</sub>	3	4	
Rüzgar Etkisi (k <sub>R</sub> )			
f <sub>1</sub>	0.3	0.1	
f <sub>2</sub>	10	10	km/s

Bu yaklaşım, bazı katsayıların sınırlı bir veri seti ile belirlenemeyecek kadar fazla olması ve belirli değerler ile kalibre edilmesi gerekliliğinden (denge nemi ilişkisindeki d<sub>1</sub> katsayısının minimum nem içeriğini tanımlaması gibi) kaynaklanmıştır. Katsayıların belirlenmesinde elde edilen istatistiki sonuçlar değerlendirilmiş ve model sonuçları kalibrasyon verileri ile görsel olarak karşılaştırılmıştır. Ölçülen nem değerlerine en yakın sonucu veren değerler model katsayısı olarak kabul edilmiştir. Modelde kullanılan katsayı

değerleri Tablo 4'te verilmiştir. Model katsayılarının belirlenmesinden sonra ikinci dönem Muğla (M2) ve Antalya çalışma alanlarından elde edilen bağımsız veri setleri ile model doğruluğu ve performansı test edilmiştir.

#### 2.1.4. Model Doğruluğu ve Performansı

Bir model formunun uygun olması, iyi tahmin yaptığının bir göstergesi değildir. Bu nedenle modelin bağımsız veri setleri ile doğruluk değerlendirmesinin yapılması gerekir (Myers, 1990; Huang vd., 2002). Model geliştirildikten sonra modelin doğruluğu ikinci dönem Muğla (M2) ve Antalya ölçümlerinden elde edilen bağımsız veriler kullanılarak test edilmiştir. Model doğruluğu görsel inceleme ve istatistik yöntemler ile değerlendirilmiştir. Model tahminlerinin grafiksel ya da görsel olarak incelenmesi modelleme ve simülasyonu (Golub ve Schechter, 1986; Cook ve Weisberg, 1994) içeren birçok alanda model değerlendirmede pratik ve çok etkili bir yöntemdir (Huang vd., 2002). Ölü örtü nem tahmin modelinin doğruluk ve hassasiyetinin değerlendirilmesi *i*) ortalama mutlak hata (OMH) *ii*) ortalama mutlak hata yüzdesi (OMHY), *iii*) düzeltilmiş belirtme katsayısı ( $R^2_{Düz}$ ) ve *iv*) standart hata (SH) olmak üzere dört istatistiksel kriter dikkate alınarak yapılmıştır (Gonzalez vd., 2009; Sun vd., 2015). Tüm istatistiksel analizler, SPSS 22.0 (SPSS, 2013) paket programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Aşağıda bu üç istatistiksel yöntemin formülleri OMH (14), OMHY (15),  $R^2_{Düz}$  (16) ve SH (17) verilmiştir.

$$OMH = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i| \quad (14)$$

$$OMHY = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right| \times 100 \quad (15)$$

$$R^2_{Düz} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n \frac{(y_i - \hat{y}_i)^2}{n-p}}{\sum_{j=1}^n \frac{(y_j - \bar{y}_j)^2}{n-1}} \quad (16)$$

$$SH = \frac{S}{\sqrt{n}} \quad (17)$$

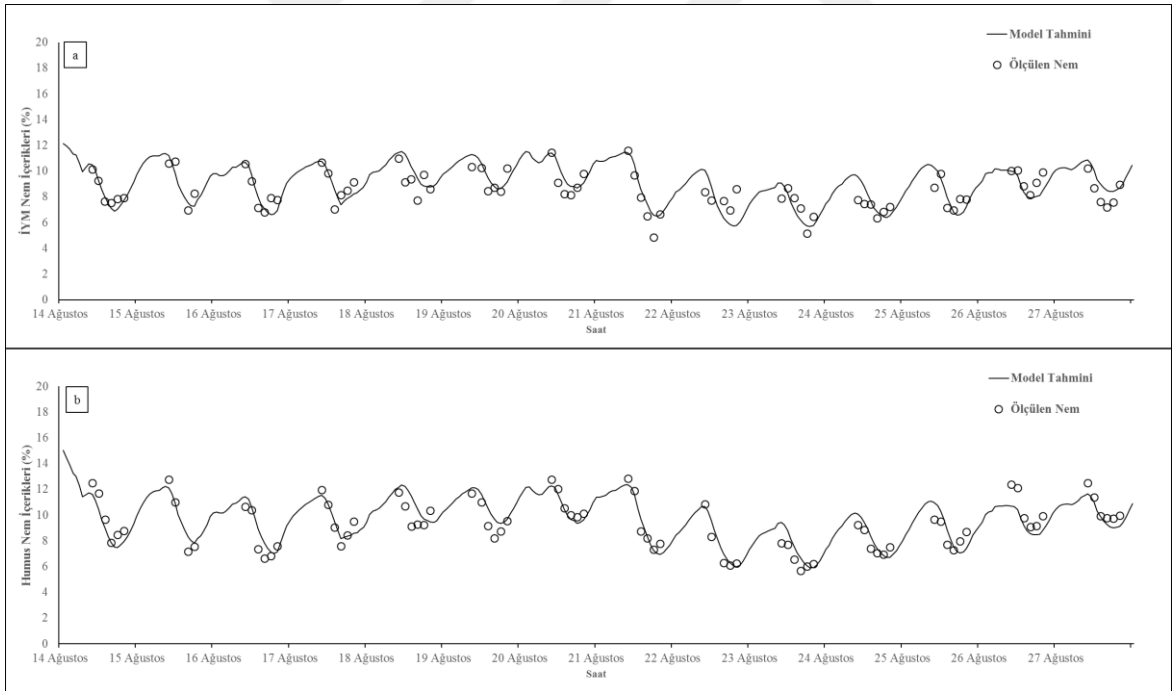
- $y_i$  : Gözlemlenen değer  
 $\hat{y}$  : Tahmin edilen değer  
 $\bar{y}$  : Bağımlı değişkenlerin ortalama değeri  
 $n$  : Gzlem sayısı  
 $p$  : Katsayı sayısı  
 $S$  : Standart sapma



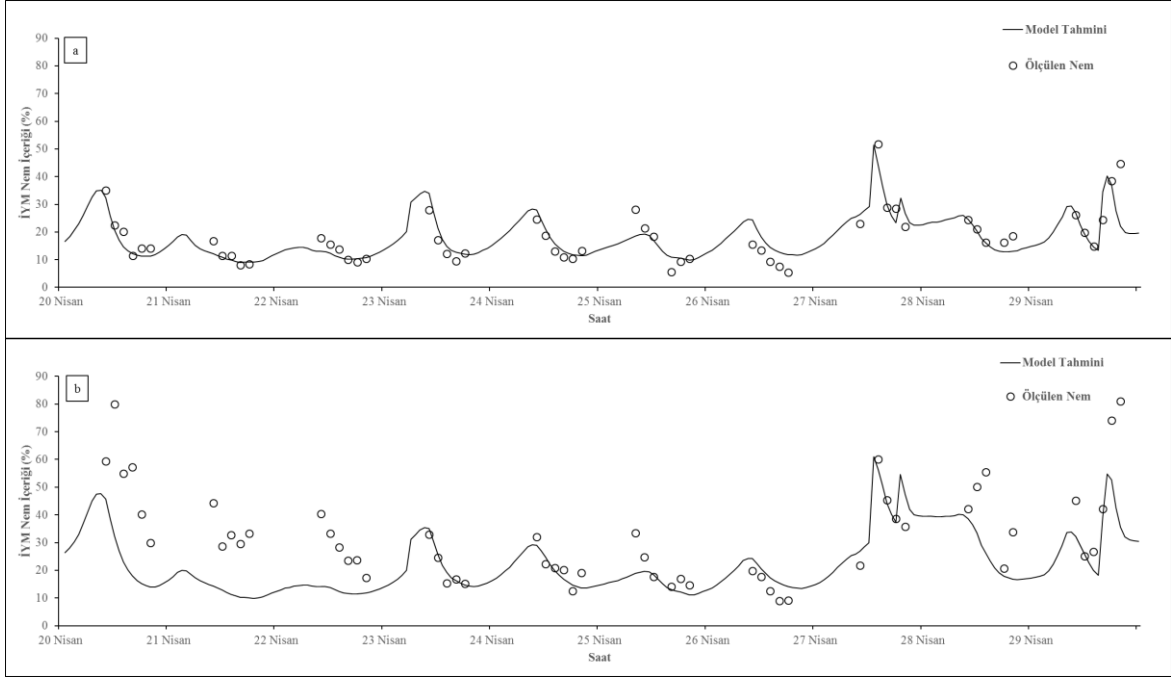
### 3. BULGULAR

Bu bölümde normal kapalı kızılçam meşcerelerinde ölü örtü nem dinamiklerini belirlemek için geliştirilen modelin bağımsız veri setleri kullanılarak görsel inceleme ve istatistik yöntemler ile değerlendirilmesi yapılmıştır.

Muğla, Antalya ve Trabzon illerinde kurulan deneme alanlarında kaydedilen hava hallerinden; sıcaklık 2.4-38.2 °C arasında, bağıl nem %8–96 arasında, rüzgar hızı 0.0-22.7 km/s arasında ve yağış ise 0.0–2.8 mm arasında değişmiştir (Tablo 3). Model performansı ikinci dönem Muğla (M2) ve Antalya ölçümlerinden elde edilen bağımsız veri setleri kullanılarak görsel inceleme ve istatistik yöntemler ile değerlendirilmiştir. Deneme alanlarından elde edilen gerçek nem değerleri ile modelin tahmin ettiği nem değerlerinin zamana bağlı değişimi Muğla ve Antalya illeri için Şekil 22 ve 23’te verilmiştir.



Şekil 22. Muğla’da 14-27 Ağustos 2014 tarihleri arasında ölçülen gerçek nem değerleri ile modelin İYM (a) ve humus (b) için tahmin ettiği saatlik nem değerleri



Şekil 23. Antalya’da 20-29 Nisan 2014 tarihleri arasında ölçülen gerçek nem değerleri ile modelin İYM (a) ve humus (b) için tahmin ettiği saatlik nem değerleri

Şekil 22 ve 23 görsel (grafiksel) olarak değerlendirildiğinde, İYM ve humus için modelin tahmin ettiği nem değerlerinin Muğla (M2) ve Antalya deneme alanlarından elde edilen gerçek nem değerlerine yakın olduğu ve gün içerisinde aynı seyri izlediği görülmektedir. Ancak gerçek nem değerleri ile model tahminleri arasında bazı farklılıklar da mevcuttur. Antalya için 20-23 Nisan tarihleri arasında model tahminleri humus için gerçek nem değerlerine göre düşük kalmıştır (Şekil 23b). Bağımsız veri seti incelendiğinde bu dönemde meteoroloji istasyonu tarafından kaydedilen herhangi bir yağışa rastlanılmamıştır. Ancak, ölü örtü neminin tahmin değerlerinden oldukça yüksek olduğu görülmüştür. Veri karnelerinde yapılan inceleme sonucunda bu durumun ölçümler öncesindeki birkaç günde yağın yağmurların toprağı doygun hale getirmesi sebebiyle olduğu belirlenmiştir. Bu çalışma kapsamında geliştirilen model toprak neminin ölü örtü nem içeriğı üzerine olan etkisini dikkate almamaktadır. Bu sebeple, söz konusu dönemde model tahmini gerçek nem değerlerine göre daha düşük kalmaktadır. Bu durum yağışlı dönemde toprak neminin ölü örtü nem içeriğine olan etkisinin açık bir göstergesidir (Rothermel vd., 1986; Hatton ve Viney, 1988; Gibos, 2010; Matthews, 2014). Kurak dönemde ise toprak neminin ölü örtü nemine etkisi minimum düzeydedir (Keith vd., 2010; Johnson vd., 2013). Benzer şekilde, Antalya için 28-29 Nisan tarihleri arasında model

tahminlerinin humus için gerçek nem değerlerine göre düşük kaldığı görülmektedir. Bu döneme ilişkin veriler incelendiğinde; bir önceki günde az da olsa bir yağışın varlığı görülmektedir. Ayrıca, bu dönemde bağıl nemin % 90'ın üzerinde ve sürekli bir çiselemenin olduğu tespit edilmiştir. Meteoroloji istasyonu 0.2 mm'nin altındaki yağışları kaydetmediğinden model çiseleme şeklindeki küçük yağışları dikkate almamaktadır. Bu etki kısa süreli çiselemelerde İYM nem içeriğinde bir artışa neden olurken daha uzun süreli çiselemelerde ise humus nem içeriğinde belirgin bir etki yapacaktır. Bu nedenle yapılacak yeni çalışmalarda özellikle yağışlı dönemde toprak nemi ile uzun süreli çığ ve sis etkisinin modele eklenmesi modelin gerçek değerlere daha yakın tahminlerde bulunmasını sağlayacaktır.

Görsel (grafiksel) incelemenin yanında modelin istatistiksel değerlendirmesi, ölü örtü nem tahmin modelinin doğruluk ve hassasiyetinin ortaya konulması için, ortalama mutlak hata (OMH), ortalama mutlak hata yüzdesi (OMHY), düzeltilmiş belirtme katsayısı ( $R^2_{Düz}$ ) ve standart hata (SH) dikkate alınarak Muğla (M2) ve Antalya ölçümlerinden elde edilen bağımsız veri setleri ile yapılmıştır. Ölçülen ve tahmin edilen nem değerlerinin istatistiksel olarak karşılaştırılması Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5. Ölçülen İYM ve humus nem değerleri ile tahmin edilen nem değerlerinin istatistiksel karşılaştırılması

Çalışma Alanı	Ölçüm Adedi		OMH		OMHY		$R^2_{Düz}$		SH	
	İYM	Humus	İYM	Humus	İYM	Humus	İYM	Humus	İYM	Humus
Muğla (M2)	81	81	0.79	0.70	9.80	7.90	0.63	0.79	0.84	0.86
Antalya	55	55	3.38	11.57	21.33	32.71	0.72	0.40	5.01	13.58
Antalya*		27		3.78		19.61		0.83		5.03

\* Antalya için 20-23 ve 28-29 Nisan tarihleri arasında ölçülen humus nem değerlerinin veri setinden çıkartılmış hali.

Bağımsız veri setindeki gözlenen nem içeriği değerleri İYM için Muğla'da %4.86-11.59, Antalya'da %5.48-51.81 arasında değişirken, humusta Muğla'da %5.66-12.84, Antalya'da %9.07-81.06 arasında değişim göstermiştir. Model tahminlerinin ortalama mutlak hatası İYM için Muğla'da %0.79 Antalya'da %3.38 ve humus için Muğla'da %0.70, Antalya'da %11.57 olarak bulunmuştur. Model tahminlerinin ortalama mutlak hata yüzdesi

İYM için Muğla'da %9.80 Antalya'da %21.33 ve humus için Muğla'da %7.90, Antalya'da %32.71 olarak bulunmuştur. Model tahminlerinin standart hatası ise İYM için Muğla'da %0.84 Antalya'da %5.01 ve humus için Muğla'da %0.86, Antalya'da %13.58 olarak bulunmuştur. Antalya için 20-23 ve 28-29 Nisan tarihleri arasındaki humus nem değerleri çıkarılarak yapılan tahminler sonucunda ortalama mutlak hata %11.57'den %3.78'e, ortalama mutlak hata yüzdesi %32.71'den %19.61'e standart hata %13.58'den %5.03'e düşerken  $R^2$  0.40'tan 0.80'e yükselmiştir (Tablo 5).

Model tahminlerinin Muğla (M2) ve Antalya verileri kullanılarak istatistiksel yöntemler (OMH, OMHY,  $R^2_{Düz}$  ve SH) ile değerlendirmesi görsel incelemeyi destekleyen nicel bir ölçü olmuştur (Tablo 5). Yağışın ölü örtü nemine olan etkisinin değerlendirilmesinde ise ölçüm sırasında sadece üç adet yağış yakalanmasına rağmen modelin yağışa olan tepkisi ve tahmini başarılı olarak değerlendirilmiştir (Şekil 23).



#### 4. TARTIŞMA

Model tahminlerinin ölçüm verileri ile gün içerisinde aynı seyri izlediği görülmektedir (Şekil 22 ve 23). Model ölü örtü nem içeriğinin düşük olduğu kurak dönem ölü örtü nem içeriğinin yüksek olduğu yağışlı döneme göre daha tatmin edici sonuçlar vermektedir. Modelin tahmin ettiği İYM nem içeriği değerleri bütün hava halleri altında makul sonuçlar vermiştir (Şekil 22a ve 23a). Ancak, model Antalya için humusta 20-23 ve 28-29 Nisan tarihleri arasında gerçek nem değerlerinin altında tahminlerde bulunmuştur (Şekil 23b).

Model bazı model katsayılarının da (DN) elde edildiği ölü örtü nem içeriklerinin düşük olduğu kurak dönemde Muğla'da daha iyi sonuçlar vermiştir. Muğla'da model tahminlerinin doğruluğu diğer çalışmalara benzemektedir (Pook ve Gill, 1993; Gonzalez vd., 2009). Ancak, Antalya'da model tahminleri bu çalışmalara göre nispeten daha düşüktür. Bu farklılığın nedenleri şu şekilde açıklanabilir.

Ölü örtü nem tahmin aralığı: Yağışlı ve kurak dönemin her ikisini de içeren Antalya'da nem tahmin aralığı İYM için %9.04–44.15, humusta ise %10.02-56.33 arasında değişmektedir (Şekil 23). Bu çalışma kapsamında geliştirilen model yağışlı ve kurak dönemi kapsarken diğer çalışmalar sadece kurak dönemi kapsamaktadır. Bu çalışmanın sonuçları yüksek nem içeriğine sahip olan ölü örtüdeki durumun daha fazla değişkenlik gösterdiğini ve bu tip ölü örtülerde nem tahmin modellerinin performansının daha düşük kaldığını göstermiştir (Catchpole vd., 2001; Matthews vd., 2007; Nolan vd., 2016).

Meşcere yapısı ve ölü örtü özelliklerindeki farklılıklar: Muğla ve Antalya illerindeki deneme alanları benzer olmakla birlikte, meşcere yapısı ve ölü örtü özellikleri bakımından küçük farklılıklar bulunmaktadır. Antalya'da meşcere sıklığı ile kapalılık daha düşük ve ölü örtü daha heterojendir (Tablo 2). Bu sonuçlar meşcere yapısının ve ölü örtü özelliklerinin nem içeriği üzerinde önemli bir etkisinin olduğunu göstermektedir (Blackmarr, 1971; Nelson ve Hiers, 2008).

Toprak neminin ölü örtü nem içeriği üzerine olan etkisi: Model Antalya'da humusta 20-23 ve 28-29 Nisan tarihleri arasında gerçek nem değerlerinin altında tahminlerde bulunmuştur (Şekil 23b). Bu çalışma kapsamında geliştirilen model toprak neminin ölü örtü nem içeriği üzerine olan etkisini dikkate almadığından söz konusu dönemde model tahmini gerçek nem değerlerine göre daha düşük kalmaktadır. Bu durum yağışlı dönemde yüksek toprak neminin ölü örtü nem içeriğine olan etkisinin açık bir göstergesidir (Monteith, 1963; Rothermel vd., 1986; Hatton ve Viney, 1988; Pook ve Gill, 1993; Schaap vd., 1997; Gibos,

2010; Matthews, 2014). Ayrıca bu durum aynı dönemde İYM için model performansının düşük olmasını da kısmen açıklayabilir (Şekil 23a). Bu çalışma kapsamında geliştirilen model toprak neminin ölü örtü nem dinamikleri üzerine olan etkisini içerecek şekilde oluşturulmamıştır. Kurak dönemde ise toprak neminin İYM ve humus nem içeriğine etkisi minimum düzeydedir (Keith vd., 2010; Johnson vd., 2013). Nitekim Antalya için 20-23 ve 28-29 Nisan tarihleri arasında ölçülen humus nem değerlerinin veri setinden çıkartılmasıyla elde edilen yağış etkisi olmayan dönemde, İYM ve humus nem istatistikleri benzerdir. Yağış etkisi olmayan bu dönemde humus için ortalama mutlak hata (OMH) %11.57'den %3.78'e düşmüş ve İYM için OMH %3.38 iken humus için %3.78 olmuştur. Bu değerler İYM ve humus için oldukça birbirine yakın olan değerlerdir. Ayrıca aynı dönem için ortalama hata yüzdesi (OMHY) %32.71'den %19.61'e standart hata (SH) %13.58'den %5.03'e düşerken  $R^2$  0.40'tan 0.80'e yükselmiştir.

Çiseleme ve sise bağlı nem artışı: 28-29 Nisan tarihlerine ilişkin veriler incelendiğinde meteoroloji istasyonu tarafından kaydedilen bir yağışın olmadığı ancak, bağıl nemin % 90'ın üzerinde ve sürekli bir çiselemenin olduğu görülmüştür. Otomatik meteoroloji istasyonu 0.2 mm'nin altındaki yağışları kaydetmediğinden model çiseleme ya da sis şeklindeki küçük yağışları dikkate almamaktadır. Bu etki kısa süreli çiselemelerde İYM nem içeriğinde bir artışa neden olurken daha uzun süreli çiselemelerde ise humus nem içeriğinde de belirgin bir etki yaptığı görülmektedir.

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, normal kapalı (3 kapalı) kızılçam meşcerelerinde ölü örtü nem içeriklerinin farklı hava hallerine bağlı olarak günlük değişimini tahmin eden, fiziksel süreçlerin modellenmesi ile desteklenen deneysel (ampirik) ilişkilerden oluşan dinamik bir model geliştirilmiştir. Model, ölçülen hava hallerine bağlı olarak ölü örtü nem değişimlerini tahmin etmekle kalmayıp, aynı zamanda ölü örtü ile hava halleri arasındaki nicel ilişkileri geniş bir yelpazede açıklamaktadır. Modelde kullanılan ilişkiler ve katsayılar işlevsel olarak anlamlıdır ve gerçek süreçleri taklit eder. Model alanda kolayca ölçülebilen ya da meteoroloji istasyonlarından temin edilebilen saatlik sıcaklık, bağıl nem, rüzgar hızı ve yağış miktarını girdi olarak kullanmaktadır. Geliştirilen model genel bir model olup aynı ölü örtü tipine sahip Akdeniz ülkelerinde model katsayılarının ilgili bölgeler için belirlenmesiyle kolaylıkla kullanılabilir niteliktedir (kuruma sabiti, rüzgar etkisi ve yoğunlaşma etkisi gibi).

Model tahminleri modelin farklı bölgelerde ve farklı meşcere özelliklerinde ölü örtü nem içeriklerinin hava hallerine bağlı olarak gün içerisindeki değişimine karşı kurak dönemde iyi, yağışlı dönemde ise nispeten tatmin edici sonuçlar verdiğini ortaya koymuştur. Antalya'da ilk üç günde model tahminlerinin humusta gerçek nem değerlerine göre düşük kalması, modelin dikkate almadığı yüksek toprak neminin ölü örtü nem içeriği üzerine olan etkisinden kaynaklanmaktadır. Modelin yağışlı dönemde düşük tahminde bulunmasının nedeni yüksek toprak nemidir. Çünkü toprak neminin yüksek olduğu dönemlerde ölü örtü nem içeriğinde ekstra bir nem artışı olmakta ve ölü örtü nem içerikleri model tahmininden yüksek çıkmaktadır. Özellikle yağışlı dönemde toprak neminin ölü örtü nem içeriklerine olan etkisi üzerine yapılacak araştırmalar geliştirilecek yeni modeller için çok değerli olacaktır.

Aynı şekilde Antalya'da son iki günde model tahminlerinin humusta gerçek nem değerlerine göre düşük kalması, modelin dikkate almadığı bağıl nemin yüksek ve meteoroloji istasyonunun ölçmediği sürekli bir çiseleme ve sisin olmasından kaynaklanmaktadır. Bu nedenle yapılacak yeni çalışmalarda uzun süreli çığ ve sis etkisinin modele eklenmesi modelin gerçek değerlere daha yakın tahminlerde bulunmasını sağlayacaktır.

Bu model normal kapalı kızılçam meşcerelerinde geliştirilmiştir. Geliştirilecek yeni modeller farklı yanıcı madde tiplerinde, farklı kapalılıklarda, farklı meşcere özelliklerinde ve farklı ölü örtü tiplerinde uygulanabilir ve kullanılabilir formda olmalıdır.

Geliştirilen model genel yangın risk ve tehlikesinin ortaya konulmasında önemlidir.

Bahsetmeye değer bir sonuç olarak, ölü örtü nem modellerini oluşturan bütün ilişkilerde ana değişken atmosferik buhar basıncı açığının (ABBA) kullanılmasıdır.

Bu sonuçlar hava hallerinin ölü örtü (İYM ve humus) nem içeriklerini etkileyen önemli bir faktör olduğunu göstermiştir. Bütün hava halleri ölü örtü nem içeriklerini belli bir oranda etkilemesine rağmen sıcaklık ve bağıl nem bunlar içerisinde en etkili olan parametrelerdir.



## 6. KAYNAKLAR

- Aguado, I., Chuvieco E., Boren R. ve Nieto H., 2007. Estimation of dead fuel moisture content from meteorological data in Mediterranean areas. Applications in fire danger assessment, International Journal of Wildland Fire, 16, 4, 390-397.
- Albini, F. A., 1993. Dynamics and modelling of vegetation fires: observations, Fire in the environment, The ecological, atmospheric, and climatic importance of vegetation fires (ed. by P.J.Crutzen and J.G.Goldammer), John Wiley and Sons, Chichester, 39-52 s.
- Alves, M. V. G., Batista A. C., Soares R. V., Ottaviano M. ve Marchetti M., 2009. Fuel moisture sampling and modeling in *Pinus elliottii* Engelm. plantations based on weather conditions in Parana - Brazil, Iforest-Biogeosciences and Forestry, 2, 99-103.
- Anderson, H. E., 1985. Moisture and fine forest fuel response, Conference on Fire and Forest Meteorology, Bethesda, MD, 192-199.
- Anderson, H. E., 1990a. Moisture Diffusivity and Response-Time in Fine Forest Fuels, Canadian Journal of Forest Research Revue Canadienne De Recherche Forestiere, 20, 3, 315-325.
- Anderson, H. E., 1990b. Predicting Equilibrium Moisture-Content of Some Foliar Forest Litter in the Northern Rocky-Mountains, Usda Forest Service Intermountain Research Station Research Paper, 429, 1-12.
- Anderson, H. E., Schuetta R. D. ve Mutch R. W., 1978. Timelag and Equilibrium Moisture Content of Ponderosa Pine Needles, Research Paper INT-202, Forest Service United States Department of Agriculture, Ogden, Utah, 30.
- Bilgili, E., Başkaya Ş., Küçük E., Hacıoğlu H., Kurtulmuşlu M. S., Erdoğan Y. ve Kol M., 2005. Fire Management and Associated Public Policies in Turkey International Forest Fire News (IFFN), 33, 62-69.
- Bilgili, E., Coskuner K. A. ve Usta Y., 2016. Modelling Fine Fuel and Duff Moisture Content Increase in Pine Stands, International Forestry Symposium (IFS 2016), December, Kastamonu, Abstract Book, 15.
- Bilgili, E., Coskuner K. A., Usta Y. ve Goltas M., 2017. Modeling Surface Fuels Moisture Content in *Pinus brutia* Stands, Journal of Forestry Research, Accepted.
- Bilgili, E., Sağlam B., Küçük E., Coşkuner K. A., Göltaş M. ve Meydan C., 2014. Measuring Fuel Moisture Content In Calabrian Pine (*Pinus brutia*) Stands Using Four Methods, 7th International Conference on Forest Fire Research, Kasım, Colombia, Portekiz, Abstraks Book No: 978-989-99080-0-0, 150-151.

- Blackmarr, W. H., 1971. Equilibrium Moisture Content of Common Fine Fuels Found in Southeastern Forests, Research Paper SE-74, Southeastern Forest Experiment Station USDA Forest Service, Asheville, North Carolina, 10.
- Blackmarr, W. H., 1972. Moisture Content Influences Ignitability of Slash Pine Litter, Note SE-173, USDA Forest Service, 7 s.
- Bonan, G. B., 2008. Ecological Climatology: Concepts and Applications, Cambridge University Press, 2 edition, ISBN-13: 978-0521693196, New York, 563 s.
- Byram, G. M., 1959. Combustion of forest fuels, In Forest Fire: Control and Use, K.P. Davis (Ed.), MCGraw-Hill, New York, 61-89.
- Byram, G. M., 1963. An Analysis of the Drying Process in Forest Fuel Material, International Symposium on Humidity and Moisture, May, Washington DC, 44.
- Camia, A., 2003. Wildland Fire Danger Estimation and Mapping Methods Used to Estimate Moisture Content of Dead Wildland Fuels (Ed.), World Scientific Publishing Company, Singapore, 91-117.
- Catchpole, E. A., Catchpole W. R., Viney N. R., McCaw W. L. ve Marsden-Smedley J. B., 2001. Estimating fuel response time and predicting fuel moisture content from field data, International Journal of Wildland Fire, 10, 2, 215-222.
- Catchpole, E. A. ve Viney N. R., 1991. Estimating Fuel Moisture Response Times from Field Observations, International Journal of Wildland Fire, 1, 4, 211-214.
- Chandler, C., Cheney P., Thomas P., Trabaud L. ve Williams D., 1983. Fire in forestry. Volume 1. Forest fire behavior and effects, John Wiley and Sons, ISBN : 0471874426, New York, USA, 450 s.
- Cheney, N. P. ve Sullivan A. L., 2008. Grassfires : fuel, weather and fire behaviour, CSIRO Publishing, ISBN: 9780643093836, Collingwood, Victoria, 150 s.
- Chuvieco, E., Aguado I. ve Dimitrakopoulos A. P., 2004. Conversion of fuel moisture content values to ignition potential for integrated fire danger assessment, Canadian Journal of Forest Research-Revue Canadienne De Recherche Forestiere, 34, 11, 2284-2293.
- Cook, R. D. ve Weisberg S., 1994. An Introduction to Regression Graphics, Wiley and Sons Interscience, ISBN: 9780471008392, New York, 280 s.
- de Dios, V. R., Fellows A. W., Nolan R. H., Boer M. M., Bradstock R. A., Domingo F. ve Goulden M. L., 2015. A semi-mechanistic model for predicting the moisture content of fine litter, Agricultural and Forest Meteorology, 203, 64-73.
- Fosberg, M. A., 1972. Theory of Precipitation Effects on Dead Cylindrical Fuels, Forest Science, 18, 2, 98-108.

- Gibos, K. E., 2010. Effect of slope and aspect on litter layer moisture content of lodgepole pine stands in the eastern slopes of the Rocky Mountains of Alberta, MSc Thesis, University of Toronto, Canada.
- Golub, J. ve Schechter B., 1986. Graphical verification revisited, Summer Computer Simulation Conference, July, Reno, Nevada, Proceeding Book, 28-30.
- Gonzalez, A. D. R., Hidalgo J. A. V. ve Gonzalez J. G. A., 2009. Construction of empirical models for predicting *Pinus* sp. dead fine fuel moisture in NW Spain. I: Response to changes in temperature and relative humidity, International Journal of Wildland Fire, 18, 1, 71-83.
- Göлтаş, M., 2016. Farklı Kapalılıktaki Kızılcım ve Karaçım Meşcerelerinde Hava Hallerine Bağlı Olarak Ölü Yanıcı Madde Neminin Tahmini, Yüksek Lisans Tezi, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Hatton, T. J. ve Viney N. R., 1988. Modelling fine, dead, surface fuel moisture, Conference on Bushfire Modelling and Fire Danger Ratings Systems, July, Australia, 119-125.
- Huang, S., Yang Y. ve Wang Y., 2002. A critical look at procedures for validating growth and yield models, Modelling forest systems, A. Amaro, D. Reed ve P. Soares (Ed.), CABI Publishing, Sesimbra, Portugal, 271-293.
- Johnson, E. A., Keith D. M. ve Martin Y. E., 2013. Comparing Measured Duff Moisture with a Water Budget Model and the Duff and Drought Codes of the Canadian Fire Weather Index, Forest Science, 59, 1, 78-92.
- Keith, D. M., Johnson E. A. ve Valeo C., 2010. Moisture cycles of the forest floor organic layer (F and H layers) during drying, Water Resources Research, 46, 7, 1-14.
- Kreye, J. K., Varner J. M. ve Knapp E. E., 2012. Moisture desorption in mechanically masticated fuels: effects of particle fracturing and fuelbed compaction, International Journal of Wildland Fire, 21, 7, 894-904.
- Kunkel, K. E., 2001. Surface Energy Budget and Fuel Moisture, Forest Fires Behavior and Ecological Effects, E. A. Johnson ve K. Miyanishi (Ed.), Academic Press., San Diego, 303-350.
- Küçük, Ö., 2004. Yanıcı Madde Tipleri ve Yangın Davranışına Bağlı Yangın Potansiyelinin Belirlenmesi ve Haritalanması, Doktora Tezi, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Lawson, B. D. ve Armitage O. B., 2008. Weather guide for the Canadian Forest Fire Danger Rating System, ISSN: 0831-8247, Canadian Forest Service Natural Resources Canada, Edmonton, Alberta, 73.
- Lopes, S., Viegas D. X., de Lemos L. T. ve Viegas M. T., 2014. Equilibrium moisture content and timelag of dead *Pinus pinaster* needles, International Journal of Wildland Fire, 23, 5, 721-732.

- Lopes, S., Viegas D. X., Lemos L. D. ve Vieagas M. T., 2014. Rainfall effects on fine forest fuels moisture content, *Advances in Forest Fire Research*, D. X. Viegas (Ed.), Imprensa da Universidade de Coimbra, Portugal, 1256-1263.
- Luke, R. H. ve McArthur A. G., 1978. *Bushfires in Australia*, Australian Government Publishing Service, Canberra, 359 s.
- Matthews, S., 2006. A process-based model of fine fuel moisture, *International Journal of Wildland Fire*, 15, 2, 155-168.
- Matthews, S., 2014. Dead fuel moisture research: 1991–2012, *International Journal of Wildland Fire*, 23, 1, 78-92.
- Matthews, S., Gould J. ve McCaw L., 2010. Simple models for predicting dead fuel moisture in eucalyptus forests, *International Journal of Wildland Fire*, 19, 4, 459-467.
- Matthews, S., McCaw W. L., Neal J. E. ve Smith R. H., 2007. Testing a process-based fine fuel moisture model in two forest types, *Canadian Journal of Forest Research-Revue Canadienne De Recherche Forestiere*, 37, 1, 23-35.
- McArthur, A. G., 1967. *Fire behaviour in eucalypt forests*, Forestry and Timber Bureau, Canberra, Australia 26 s.
- Monteith, J. L., 1963. Gas exchange in plant communities, *Environmental Control of Plant Growth*, L. T. Evans (Ed.), Academic Press, New York, 95-112.
- Mutch, R. W. ve Gastineau O. W., 1970. Timelag and equilibrium moisture content of reindeer lichen, *Research Paper INT-76*, USDA Forest Service Intermountain Forest and Range Experiment Station, Ogden, Utah, 20.
- Myers, R. H., 1990. *Classical and Modern Regression with Applications*, Duxbury Press, ISBN-10: 0534380166, Belmont, California, 488 s.
- Nelson, R. M., 1969. Some Factors Affecting the Moisture Timelags of Woody Materials, *Research Paper SE-44*, Forest Service U.S. Department. of Agriculture, Southeastern Forest Experiment Station, Asheville, NC, 16.
- Nelson, R. M., 1984. A Method for Describing Equilibrium Moisture-Content of Forest Fuels, *Canadian Journal of Forest Research Revue Canadienne De Recherche Forestiere*, 14, 4, 597-600.
- Nelson, R. M., 2000. Prediction of diurnal change in 10-h fuel stick moisture content, *Canadian Journal of Forest Research-Revue Canadienne De Recherche Forestiere*, 30, 7, 1071-1087.
- Nelson, R. M., 2001. Water relations of forest fuels, *Forest Fires Behavior and Ecological Effects*, E. A. Johnson ve K. Miyanishi (Ed.), Academic Press., San Diego, 79-149.



- Nelson, R. M. ve Hiers J. K., 2008. The influence of fuelbed properties on moisture drying rates and timelags of longleaf pine litter, Canadian Journal of Forest Research-Revue Canadienne De Recherche Forestiere, 38, 9, 2394-2404.
- Neyişçi, T., 1985. Antalya Doyran Yöresi Kızılcım (*Pinus brutia* Ten.) Ormanlarında Yangınların Tarihsel etkileri, Ormancılık Araştırma Enstitüsü Yayınları Teknik ve Raporlar Serisi No: 29, 66-91.
- Nolan, R. H., de Dios V. R., Boer M. M., Caccamo G., Goulden M. L. ve Bradstock R. A., 2016. Predicting dead fine fuel moisture at regional scales using vapour pressure deficit from MODIS and gridded weather data, Remote Sensing of Environment, 174, 100-108.
- OGM, 2015. Türkiye Orman Varlığı, Orman Genel Müdürlüğü, Ankara, 36 s.
- Papio, C. ve Trabaud L., 1990. Structural characteristics of fuel components of five Mediterranean shrubs, Forest Ecology and Management, 33, 4, 251-255.
- Pinto, A., Prieto E. J., Rossa C. G., Matthews S., Loureiro C. ve Fernandes P. M., 2014. Modelling fine fuel moisture content and the likelihood of fire spread in blue gum (*Eucalyptus globulus*) litter, 7th International Conference on Forest Fire Research, Kasım, Colombia, PORTEKİZ, Proceeding Book, 8.
- Pompe, A. ve Vines R. G., 1966. The influence of moisture on the combustion of leaves, Australian Forestry, 30, 3, 231-241.
- Pook, E. W., 1993. Empirical models evaluated for prediction of fine fuel moisture in Australian *Pinus radiata* plantations, New Zealand Journal of Forestry Science, 23, 3, 278-297.
- Pook, E. W. ve Gill A. M., 1993. Variation of Live and Dead Fine Fuel Moisture in *Pinus radiata* Plantations of the Australian-Capital-Territory, International Journal of Wildland Fire, 3, 3, 155-168.
- Rothermel, R. C., 1972. A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels, USDA Forest Service Research Paper INT-115, Intermountain Research Station, Ogden, Utah, USA, 40 s.
- Rothermel, R. C., Wilson R. A., Morris G. A. ve Sackett S. S., 1986. Modeling Moisture-Content of Fine Dead Wildland Fuels - Input to the Behave Fire Prediction System, Usda Forest Service Intermountain Research Station Research Paper, 359, 1-61.
- Ruiz, A., Vega I. A. ve Alvarez J. G., 2009. Modelling hourly variability in *Eucalyptus globulus* litter moisture content, Investigacion Agraria-Sistemas Y Recursos Forestales, 18, 3, 247-263.
- Saglam, B., Bilgili E., Kucuk O. ve Dincdurmaz B., 2006. Determination of surface fuels moisture contents based on weather conditions, Forest Ecology and Management, 234, 1, 75.

- Sağlam, B., 2002. Meteorolojik Faktörlere Bağlı Yanıcı Madde Nem İçerikleri ve Maki Tipi Yanıcı Maddelerde Yangın Davranışı, Doktora Tezi, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Sato, Y., Kumagai T., Kume A., Otsuki K. ve Ogawa S., 2004. Experimental analysis of moisture dynamics of litter layers - the effects of rainfall conditions and leaf shapes, Hydrological Processes, 18, 16, 3007-3018.
- Schaap, M. G., Bouten W. ve Verstraten J. M., 1997. Forest floor water content dynamics in a Douglas fir stand, Journal of Hydrology, 201, 1-4, 367-383.
- Schroeder, M. J. ve Buck C. C., 1970. Fire Weather: A Guide for Application of Meteorological Information to Forest Fire Control Operations, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Idaho, 229 s.
- Schunk, C., Leutner C., Leuchner M., Wastl C. ve Menzel A., 2013. Equilibrium moisture content of dead fine fuels of selected central European tree species, International Journal of Wildland Fire, 22, 6, 797-809.
- Scot, J. ve Burgan R. E., 2005. Standard fire behavior fuel models : a comprehensive set for use with Rothermel's surface fire spread model, General Technical Report RMRS-GTR-153, Rocky Mountain Research Station, 72.
- Sharples, J. J. ve McRae R. H. D., 2011. Evaluation of a very simple model for predicting the moisture content of eucalypt litter, International Journal of Wildland Fire, 20, 8, 1000-1005.
- Simard, A. J., 1968a. The moisture content of forest fuels-I. A review of basic concepts., Canadian Department of Forest and Rural Development, Ottawa, Ontario, 47.
- Simard, A. J., 1968b. The moisture content of forest fuels. II: Comparison of moisture content variations above the fibre saturation point between a number of fuel types., Information Report FF-X-16, Forest Fire Institute, Ottawa, Ontario., 46.
- Slijepcevic, A., Anderson W. R. ve Matthews S., 2013. Testing existing models for predicting hourly variation in fine fuel moisture in eucalypt forests, Forest Ecology and Management, 306, 202-215.
- SPSS, I. C. 2013. IBM SPSS Statistics for Windows, Version 22.0. Armonk, NY: IBM Corp.
- Stocks, B. J., Lawson B. D., Alexander M. E., Vanwagner C. E., Mcalpine R. S., Lynham T. J. ve Dube D. E., 1989. The Canadian Forest Fire Danger Rating System: An Overview, Forestry Chronicle, 65, 6, 450-457.
- Sun, P., Yu H. Z. ve Jin S., 2015. Predicting hourly litter moisture content of larch stands in Daxinganling Region, China using three vapour-exchange methods, International Journal of Wildland Fire, 24, 1, 114-119.

- Tanskanen, H., Granstrom A., Venalainen A. ve Puttonen P., 2006. Moisture dynamics of moss-dominated surface fuel in relation to the structure of *Picea abies* and *Pinus sylvestris* stands, Forest Ecology and Management, 226, 1-3, 189-198.
- Tunstall, B., 1988. Live fuel water content, In: Cheney N.P. Gill A.M. (eds.) Proceedings of the conference on bushfire modelling and fire danger ratings systems, July, Canberra. CSIRO, Australia, 127-136.
- URL-3, <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=MUGLA>. Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 13/07/2017.
- URL-4, <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=ANTALYA>. Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 13/07/2017.
- URL-5, <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=TRABZON>. Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 13/07/2017.
- Van, Wagner C. E., 1969. Drying rates of some fine forest fuels, Fire Control Notes (Reprint), (Ed.), 1-4.
- Van, Wagner C. E., 1972. Equilibrium moisture contents of some fine forest fuels in eastern Canada, Information Report PS-X-36, Petwawa Forest Experiment Station Canadian Forestry Service, Chalk River, Ontario, 13.
- Van, Wagner C. E., 1977. A method of computing fine fuel moisture content throughout the diurnal cycle, Information Report: PS-X-69, Canadian Forestry Service, Chalk River, ON, 17.
- Van, Wagner C. E., 1979. A laboratory study of weather effects on the drying rate of jack pine litter, Canadian Journal of Forest Research, 9, 2, 267-275.
- Van, Wagner C. E., 1987a. Development and structure of the Canadian forest fire weather index system, Technical Report 35, Canadian Forestry Service, Ottawa, Ontario, 37.
- Van, Wagner C. E., 1987b. A moisture content model for medium-sized logging slash, Ninth conference on fire and forest meteorology, April, San Diego, California, USA, Proceeding Book, 13.
- Viegas, D. X., Pinol J., Viegas M. T. ve Ogaya R., 2001. Estimating live fine fuels moisture content using meteorologically-based indices, International Journal of Wildland Fire, 10, 2, 223-240.
- Viegas, D. X. ve Viegas M. T., 1994. A Relationship between Rainfall and Burned Area for Portugal, International Journal of Wildland Fire, 4, 1, 11-16.
- Viney, N. R., 1991. A Review of Fine Moisture Modelling, International Journal of Wildland Fire, 1, 4, 215-234.

- Viney, N. R., 1992. Modelling fine fuel moisture content, PhD Thesis, University of NSW, Department of Mathematics and Statistics, Australia.
- Viney, N. R. ve Hatton T. J., 1990. Modeling the Effect of Condensation on the Moisture-Content of Forest Litter, Agricultural and Forest Meteorology, 51, 1, 51-62.
- Zhu, J. P., Jia J. R., Wu J., Zhang L. H. ve Yao J. J., 2013. A modified model of direct estimation method for fine fuel moisture content prediction by considering crown density, 9th Asia-Oceania Symposium on Fire Science and Technology, 1015-1022.



## ÖZGEÇMİŞ

Yetkin USTA, 7 Temmuz 1991'de Giresun'da doğdu. İlköğretimi Ziya Okay İlköğretim Okulu'nda, lise eğitimini ise Görele Lisesi'nde tamamladı. 2014 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Mühendisliği bölümünden ikincilikle mezun oldu. Eylül 2014'de Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı. Kasım 2015'de Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Orman Entomolojisi ve Koruma Anabilim Dalı'na Araştırma Görevlisi olarak atandı. İngilizce bilen Yetkin USTA, halen Araştırma Görevlisi olarak görevine devam etmektedir.

