



**T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



DOKTORA TEZİ

**ORMAN AĞAÇLARINDA SU TÜKETİMİNİN GÖVDE TERMAL
DEĞİŞİM YÖNTEMİYLE BELİRLENMESİ**

Mehmet Said ÖZÇELİK

Orman Mühendisliği Anabilim Dalı

Orman Mühendisliği Programı

DANIŞMAN

Prof. Dr. Kamil ŞENGÖNÜL

Temmuz, 2018

İSTANBUL

Bu çalışma 9.07.2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Orman Mühendisliği Anabilim Dalı, Orman Mühendisliği Programında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi



Prof. Dr. Kamil ŞENGÖNÜL (Danışman)
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Orman Fakültesi



Prof. Dr. Ferhat GÖKBULAK
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Orman Fakültesi



Prof. Dr. Refik KARAGÜL
Düzce Üniversitesi
Orman Fakültesi



Prof. Dr. Ceyhan GÖL
Çankırı Karatekin Üniversitesi
Orman Fakültesi



Doç. Dr. Selma YAŞAR KORKANÇ
Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi



20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi’nin aboneli olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü’nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

ÖNSÖZ

Orman Ağaçlarında Su Tüketiminin Gövde Termal Değişim Yöntemiyle Belirlenmesi” başlıklı bu çalışma, İ.Ü. Orman Fakültesi Havza Yönetimi Anabilim Dalı’nda 2013-2018 yılları arasında doktora tezi olarak hazırlanmıştır.

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde, araştırmanın tasarımıyla sonuçlanmasına kadar her aşamasında bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım ve her zaman desteğini gördüğüm, tez danışmanım sayın Prof. Dr. Kamil ŞENGÖNÜL’e teşekkür ederim.

Çalışmanın başlangıcında ve sonrasında, fikirleri ile yolumu aydınlatan, ayrıca Havza Yönetimi Anabilim Dalı’nın laboratuvar ve araziye ölçüm aletlerinin kullanım imkanını bana sunarak çalışmamı kolaylaştıran Havza Yönetimi Anabilim Dalı Başkanı sayın Prof. Dr. Ferhat GÖKBULAK’a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmasının başlangıcında benimle birlikte araziye çıkan, ölçüm aletlerinin temininde, araziye kurulmasında ve sonraki her aşamada desteğini aldığım, Mendel Üniversitesi’nden sayın Prof. Dr. Jan CERMAK’a teşekkürü bir borç bilirim.

Kısıtlı maddi imkanlarımıza rağmen, ölçümlerde kullandığımız aletleri bize temin eden, 2016 ve 2017 yıllarında ofisinde beni misafir ederek ölçümlerin yapılması ve verilerin değerlendirilmesi kısımlarında benimle birlikte zaman harcayan Environmental Measuring Systems’den sayın Ing. Jiri Kucera’ya teşekkür ederim.

Atatürk Arboretumu işletme şefi sayın Merve KARTALOĞLU SÖNMEZ’e ve ekibine, çalışma boyunca gösterdikleri yardımlar ve sağladıkları kolaylıklar için teşekkürlerimi sunarım.

Doktora çalışmam boyunca desteğini her zaman hissettiğim değerli eşim Duygu ÖZÇELİK’e sabrı ve anlayışı için çok teşekkür ederim.

Temmuz 2018

Mehmet Said ÖZÇELİK

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ŞEKİL LİSTESİ	vii
TABLO LİSTESİ.....	ix
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ	x
ÖZET	xi
SUMMARY	xiii
1. GİRİŞ	1
2. GENEL KISIMLAR.....	4
2.1. TRANSPİRASYON	5
2.2. TRANSPİRASYONU ETKİLEYEN FAKTÖRLER.....	6
2.2.1. Çevresel Faktörler.....	6
2.2.2. Fizyolojik Faktörler	8
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	12
3.1. MALZEME.....	12
3.1.1. Araştırma Alanının Genel Özellikleri.....	13
3.1.2. Coğrafi Konumu	13
3.1.3. Jeolojisi ve Toprak Özellikleri	13
3.1.4. İklimi	13
3.1.5. Bitki Örtüsü	14
3.2. YÖNTEM	14
3.2.1. Örnek Ağaçların Belirlenmesi	14
3.2.2. Gövde Isı Dengesi Yöntemi	15
3.2.3. Bitki Özsuyu Akışının Hesaplanması.....	18
3.2.4. Meteorolojik Verilerin Alınması ve Meteorolojik Parametrelerin Hesaplanması.....	19
3.2.5. Çap Artımı Ölçümleri.....	19
3.2.6. Toprak Sıcaklığı ve Neminin Ölçülmesi	20
3.2.7. Yaprak Yüzey İndeksi (LAI) Ölçümleri.....	21
4. BULGULAR.....	22

4.1.	BİTKİ ÖZSUYU AKIŞ ÖLÇÜMLERİ	22
4.1.1.	Anadolu Karaçamı Örnek Alanı	22
4.1.2.	Sapsız Meşe Örnek Alanı	24
4.2.	TOPRAK NEMİ VE SICAKLIĞI ÖLÇÜMLERİ.....	26
4.2.1.	Toprak Nemi.....	26
4.2.2.	Toprak Sıcaklığı	28
4.3.	ÇAP ARTIMI ÖLÇÜMLERİ	29
4.3.1.	Anadolu Karaçamı Meşceresinde Yapılan Ölçümler	29
4.3.2.	Sapsız Meşe Meşceresinde Yapılan Ölçümler	31
4.4.	METEOROLOJİK ÖLÇÜMLER	32
4.4.1.	Hava Sıcaklığı Ölçümleri	32
4.4.2.	Hava Nemi Ölçümleri.....	33
4.4.3.	Güneş Radyasyonu Ölçümleri	33
4.4.4.	Rüzgar Hızı Ölçümleri.....	34
4.4.5.	Yağış Ölçümleri.....	34
4.4.6.	Meteorolojik Parametreler ile Transpirasyon İlişkisi	35
4.5.	YAPRAK YÜZEY ALANI (LAI) ÖLÇÜMLERİ	37
4.5.1.	Anadolu Karaçamı Meşceresinde Yapılan Ölçümler	37
4.5.2.	Sapsız Meşe Meşceresinde Yapılan Ölçümler	38
5.	TARTIŞMA VE SONUÇ	39
5.1.	ELDE EDİLEN SONUÇLARIN LİTERATÜR VERİLERİ İLE KARŞILAŞTIRILMASI	39
5.2.	ANADOLU KARAÇAMI VE SAPSIZ MEŞE TÜRLERİNİN SU TÜKETİMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI	42
5.3.	TRANSPİRASYON VERİLERİNİN METEOROLOJİK FAKTÖRLER İLE İLİŞKİLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI.....	45
5.4.	ORMAN AĞAÇLARININ SU TÜKETİMLERİNİN HAVZA YÖNETİMİ ÇALIŞMALARI AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ	50
	KAYNAKLAR.....	55
	EKLER	60
	Ek 1: Anadolu karaçamı örnek alan envanteri ve seçilen örnek ağaçlar.....	60
	Ek 2: Sapsız meşe örnek alan envanteri ve seçilen örnek ağaçlar.....	62
	ÖZGEÇMİŞ	68

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1: Su döngüsü (Özhan, 2004).	4
Şekil 2.2: Stoma açıklığını kontrol eden faktörler arasındaki ilişkiler (Jones, 1998).	9
Şekil 2.3: Odun yapısının basit şekli (Reid, 2009).	10
Şekil 2.4: Halkalı ve dağınık traheli odun yapıları (Reid, 2009).	11
Şekil 3.1: Anadolu karaçamı ve sapsız meşe örnek alanları.	12
Şekil 3.2: Bitki özsuu akış ölçüm sisteminin elektrotlarının ve ısı ölçer problemlerinin örnek ağaç üzerindeki görünümü.	16
Şekil 3.3: Bitki özsuu akış ölçüm sisteminin iğne şeklindeki ısı ölçer problemleri ve farklı uzunluklardaki elektrotları.	16
Şekil 3.4: Yansıtıcı köpükler kullanılarak sensörlerin güneşin doğrudan etkisinden ve sıcaklığı etkileyebilecek etmenlerden korunması ve izolasyonun sağlanması.	18
Şekil 3.5: EMS Brno Minikin RTHi ve Minikin ERi sensörleri.	19
Şekil 3.6: EMS DR26 model çap artımı ölçer.	20
Şekil 4.1: Anadolu karaçamı meşceresinde göğüs yüksekliğindeki gövde çapı ile su tüketimi arasındaki ilişki.	22
Şekil 4.2: Anadolu karaçamı meşceresinin 2016 ve 2017 yılı su tüketim grafiği.	24
Şekil 4.3: Sapsız meşe meşceresinde gövde çapı ile ortalama su tüketimi arasındaki ilişki.	25
Şekil 4.4: Sapsız meşe meşceresinin 2016 ve 2017 yılı su tüketim grafiği.	26
Şekil 4.5: Anadolu karaçamı meşceresinde 2016 ve 2017 yıllarında toprak neminin seyri.	27
Şekil 4.6: Sapsız meşe meşceresinde 2016 ve 2017 yıllarında toprak neminin seyri.	28
Şekil 4.7: Anadolu karaçamı meşceresindeki örnek ağaçların 2016 yılındaki kabuklu çap artımının seyri.	30
Şekil 4.8: Anadolu karaçamı meşceresindeki 6 no'lu örnek ağacın 2017 yılındaki kabuklu çap artımının seyri.	30

Şekil 4.9: Anadolu karaçamı meşceresindeki örnek ağaçların 2016 ve 2017 yıllarındaki kümülatif kabuklu çap artımının seyri.....	30
Şekil 4.10: Sapsız meşe meşceresindeki örnek ağaçların 2016 yılındaki kabuklu çap artımının seyri.....	31
Şekil 4.11: Sapsız meşe meşceresindeki örnek ağaçların 2017 yılındaki kabuklu çap artımının seyri.....	32
Şekil 4.12: Sapsız meşe meşceresindeki örnek ağaçların 2016 ve 2017 yıllarındaki kümülatif kabuklu çap artımının seyri.....	32
Şekil 4.13: Çalışma alanının 2016-2017 yıllarının aylık yağış miktarları.	35
Şekil 4.14: Anadolu karaçamı meşceresinin su tüketimi ile meteorolojik faktörlerin ilişkileri.....	35
Şekil 4.15: Sapsız meşe meşceresinin su tüketimi ile meteorolojik faktörlerin ilişkileri.	36
Şekil 4.16: Anadolu karaçamı meşceresinin kapalılığının Temmuz ayındaki görünümü.	38
Şekil 4.17: Sapsız meşe meşceresinin kapalılığının Temmuz ayındaki görünümü.	38
Şekil 5.1: Anadolu karaçamı ve Sapsız meşe meşcerelerinin 2016 ve 2017 yıllarındaki su tüketimlerinin karşılaştırılması.	43
Şekil 5.2: Anadolu karaçamı meşceresinde gövde çapı-su tüketimi ilişkisi.	51
Şekil 5.3: Sapsız meşe meşceresinde gövde çapı-su tüketimi ilişkisi.	51

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 4.1: Anadolu karaçamı meşçeresindeki örnek ağaçların su tüketim verileri.....	23
Tablo 4.2: Anadolu karaçamı meşçeresinin su tüketimi verileri.	24
Tablo 4.3: Sapsız meşe meşçeresindeki örnek ağaçların su tüketimi verileri.	25
Tablo 4.4: Sapsız meşe meşçeresinin su tüketimi verileri.	26
Tablo 4.5: Anadolu karaçamı meşçeresinde ölçülen toprak nemi verileri.	27
Tablo 4.6: Sapsız meşe meşçeresinde ölçülen toprak nemi verileri.	28
Tablo 4.7: Anadolu karaçamı meşçeresindeki örnek ağaçların 2016 ve 2017 yıllarındaki kabuklu çap artımı değerleri.	29
Tablo 4.8: Sapsız meşe meşçeresindeki örnek ağaçların 2016 ve 2017 yıllarındaki kabuklu çap artımı değerleri.	31
Tablo 4.9: 2016-2017 yılları aylık ortalama hava sıcaklıkları.....	33
Tablo 4.10: 2016-2017 yılları aylık bazda ortalama hava nemi.	33
Tablo 4.11: 2016-2017 yıllarının aylık ortalama güneş radyasyonu.	33
Tablo 4.12: 2016-2017 yıllarında aylık ortalama rüzgar hızı verileri.	34
Tablo 4.13: 2016-2017 yıllarının aylık yağış miktarları.....	34
Tablo 4.14: Anadolu karaçamı meşçeresinde yaprak yüzey alanının aylara göre değişimi.	37
Tablo 4.15: Sapsız meşe meşçeresinde yaprak yüzey alanının vejetasyon periyodu boyunca değişimi.....	38
Tablo 5.1: 2016-2017 yılları arasında Anadolu karaçamı ve sapsız meşe meşçereleri su tüketimi bilgileri.	43
Tablo 5.2: Meteorolojik parametrelerin Anadolu karaçamı meşçeresinin transpirasyonu üzerindeki etki düzeyleri ($p<0.05$).	47
Tablo 5.3: Meteorolojik parametrelerin sapsız meşe meşçeresinin transpirasyonu üzerindeki etki düzeyleri ($p<0.05$).	48

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
C	: Santigrad
°	: Derece
CO ₂	: Karbondioksit
%	: Yüzde
W	: Watt
Ψ	: Nem potansiyeli
g _s	: Stoma açıklığı

Kisaltmalar	Açıklama
cm	: Santimetre
ha	: Hektar
kg	: Kilogram
LAI	: Yaprak yüzey alanı
m	: Metre
mm	: Milimetre
Mpa	: Megapaskal
OGM	: Orman Genel Müdürlüğü
Pa	: Paskal
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu

ÖZET

DOKTORA TEZİ

ORMAN AĞAÇLARINDA SU TÜKETİMİNİN GÖVDE TERMAL DEĞİŞİM YÖNTEMİYLE BELİRLENMESİ

Mehmet Said ÖZÇELİK

İstanbul Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Orman Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. Kamil ŞENGÖNÜL

Bir ülkenin aldığı yağış miktarı, Dünya üzerindeki ana iklim bölgelerine ve ülkenin lokal konumuna bağlı olup, bu miktar yıllar itibarı ile belirli bir aralıkta seyrederek önemli ölçüde değişmemektedir. Diğer taraftan su kaynaklarını kullanan nüfus ülkemizde ve tüm dünyada sürekli artan bir trende sahiptir. Bu da yıllar içerisinde kişi başına kullanılabilir su miktarının azalması anlamına gelmektedir. Bu nedenle su kaynaklarının doğru yönetimi gün geçtikçe önem kazanmaktadır.

Ülkemizin yaklaşık dörtte biri ormanlık alanlardan oluşmaktadır. Ülkemize temiz su sağlayan kaynakların büyük bölümü de orman örtüsü ile kaplı havzalardan üretilmektedir. Bir havzadan istenilen kalite ve miktarda su üretmek için vejetasyonun yönetilmesi havza planlamacılar tarafından kullanılan yöntemlerden biridir. Dolayısıyla bu havzalarda yapılacak vejetasyon yönetimi çalışmalarında orman ağaçlarının su tüketiminin bilinmesi havza planlamacılar ve karar vericiler için büyük önem arz etmektedir. Nitekim ormanlar toprak koruma, rekreasyon, havayı temizleme, odun hammadde üretimi, su kalitesini artırma, su rejimini düzenleme gibi bir çok ekosistem hizmetini topluma sunmakla birlikte, aynı zamanda yaşamak için de suyu kullanmaktadır.

Ülkemizde su bütçesi ve hidrolojik döngüde orman örtüsünün rolü ve ağaçların su tüketimi ile ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde orman ağaçlarının su tüketimini ortaya koyan, doğrudan orman ekosisteminde yapılmış uzun süreli çalışmalara rastlanılmamaktadır. Bu konudaki

alışmalar genelde ampirik modellerle yapılmaya çalışılmıştır. Bu tez çalışması ile doğrudan arazi üzerinde uzun süreli ölçümler yapılarak bu eksikliğin giderilmesi ve yarı nemli iklim tipine sahip çalışma alanında biri ibreli (Anadolu karaçamı) diğeri geniş yapraklı (sapsız meşe) olmak üzere iki farklı orman ağacının birey ve meşcere bazında su tüketimini ortaya koymak amaçlanmıştır.

Çalışmanın arazi ölçümleri 2016-2017 yıllarında Belgrad Ormanı'nda bulunan Atatürk Arboretumu'nda yapılmış olup bu zaman aralığında bir ağacın günlük en yüksek su tüketimi Anadolu karaçamında 76.31 kg, sapsız meşede ise 162.42 kg olarak ölçülmüştür. Meşcerelerin günlük ortalama su tüketimleri (tüketilen su miktarı/ölçüm yapılan gün sayısı) 2016 yılında Anadolu karaçamı ve sapsız meşe için sırasıyla 1.08 mm ile 4.00 mm olarak kaydedilmiş olup bu meşcerelerin yıllık toplam su tüketimleri 396 mm ve 908 mm olarak tespit edilmiştir. Anadolu karaçamı meşceresinin yıllık yağışın yaklaşık %35'ini, sapsız meşe meşceresinin ise %74.5'ini transpirasyon ile atmosfere geri verdiği görülmüştür.

Temmuz 2018, 84 sayfa.

Anahtar kelimeler: Bitki özsuyu akış ölçümleri, orman ağaçlarının su tüketimi, su bütçesi, transpirasyon

SUMMARY

Ph.D. THESIS

WATER CONSUMPTION MEASUREMENTS ON FOREST TREES BY TRUNK HEAT BALANCE METHOD

Mehmet Said ÖZÇELİK

İstanbul University

Institute of Graduate Studies in Science and Engineering

Department of Forest Engineering

Supervisor : Prof. Dr. Kamil ŞENGÖNÜL

The precipitation amount of a region depends on its geographical position on the earth and it does not change substantially. On the other hand the population has an increasing trend in Turkey and people uses the water sources. As a result of this, the amount of fresh water per capita is decreasing. Therefore, management of fresh water resources is a major issue in Turkey.

One fourth area of Turkey is covered by forests. Most of the water resources supplying fresh water to the people originates from forested watersheds. Vegetation management practise is one of the instruments used by watershed planners in order to increase water quality and water yield. Hence, the knowledge of the water consumption of trees growing in the forests is very important for watershed planners and decision makers. Forests provide ecosystem services such as soil protection, air cleaning, recreation, wood producing as a raw material, increase water with good quality, water regime regulation, while they use water for growth.

When literature on water consumption of trees in Turkey are reviewed, there are no long-term studies conducted in the forest ecosystem that reveal water consumption of forest trees. The aim of this thesis was to determine water consumption rates of one coniferous (Anatolian black pine) and one broad-leaved (sessile oak) tree species growing in sub-humid climate conditions.

The field measurements of the thesis was completed between 2016-2017 years and the study site was Atatürk Arboretum in the Belgrad Forest. The daily maximum water consumption of blackpine tree was 76.31 kg that of sessile oak was 162.42 kg. The daily average water consumption of the black pine and sessile oak stands were 1.08 mm and 4.00 mm respectively and they consumed 396 mm versus 908 mm water annually. The results also showed that the stand of black pine transpired %35 of the annaul precipitation while the sessile oak transpired %74.5 of the annual precipitation.

July 2018, 84 pages.

Keywords: Sap flow, transpiration, water consumption of forest trees, water budget,



1. GİRİŞ

Ormanlık alanlar, ülkemiz yüz ölçümünün yaklaşık dörtte birini oluşturmaktadır. Ülkemize temiz su sağlayan kaynakların büyük bölümü de orman örtüsü ile kaplı havzalardan üretilmektedir. Bir havzadan istenilen kalite ve miktarda su üretmek için vejetasyonun yönetilmesi havza planlamacılar tarafından kullanılan yöntemlerden biridir. Dolayısıyla bu havzalarda yapılacak vejetasyon yönetimi çalışmalarında orman ağaçlarının su tüketiminin bilinmesi havza planlamacılar ve karar vericiler için büyük önem arz etmektedir. Nitekim ormanlar toprak koruma, rekreasyon, havayı temizleme, odun hammaddesi üretimi, su kalitesini artırma, su rejimini düzenleme gibi bir çok ekosistem hizmetini topluma sunmakla birlikte, aynı zamanda yaşamak için de suyu kullanmaktadır.

Ülkemizin su varlığına bakıldığında her yıl ortalama 642.6 mm yağış düştüğü görülmekte olup bu miktar $501 \times 10^9 \text{ m}^3$ suya karşılık gelmektedir. Düşen yağışın 238 mm'lik bölümü dere, akarsu ve nehirler aracılığı ile deniz ve göllere akmaktadır. Bu miktar da $186.05 \times 10^9 \text{ m}^3$ suya karşılık gelmektedir, böylece ülkemizde akış katsayısı, diğer bir ifade ile akışın yağışa oranı %37 olarak ortaya çıkmaktadır (Özhan, 2004).

Akışa geçen suyun tamamından yararlanılabileceği düşünülmemelidir. Zira; sucul ekosistemlerin devamlılığı, komşu ülkelere su verme, su kirlenmesinin önlenmesi, nehir taşımacılığına imkan verilmesi, deniz suyunun iç kısımlara geçmesini engelleme gibi nedenlerle tamamını kullanmak ve depo etmek mümkün değildir. Ayrıca ülkemizde elektrik üretiminin %20'si hidro-elektrik santrallerden sağlanmaktadır (Anon., 2017). Bu açıdan bakıldığında $95 \times 10^9 \text{ m}^3$ tüketebileceğimiz yüzey üstü su miktarı hesaplanmaktadır. Yıllık yer altından çekilebilir su potansiyeli ise $12.2 \times 10^9 \text{ m}^3$ olarak tahmin edilmekte, dolayısıyla toplam kullanılabilir su miktarı $107.2 \times 10^9 \text{ m}^3$ olarak hesaplanmaktadır (Özhan, 2004).

Yukarıda verilen kullanılabilir su miktarı tarımsal ve endüstriyel amaçlarla harcanmakta ve nüfus tarafından tüketilmektedir. Yıllık ortalama yağış, akış katsayısı gibi etmenlerin büyük oranda değişmeyeceği, ancak ülkemizin nüfusunun artan bir trende sahip olduğu düşünülürse, kişi başına düşen su miktarı önemli bir parametre olarak karşımıza çıkmaktadır. Nitekim, ülkelerin su bütçesini anlamak için kullanılan bir başka parametre de kişi başına düşen su miktarıdır. Kişi başına düşen su miktarı aynı zamanda bir refah göstergesi olarak da kabul

görmektedir. Falkenmark (1989)'a göre kişi başına düşen su miktarı $1700 \text{ m}^3/\text{kişi/yıl}$ ve üzerinde olan ülkelerde su stresi yaşanmamakta, $1000\text{-}1700 \text{ m}^3/\text{kişi/yıl}$ arasındaki değerlerde su stresi yaşanmakta $500\text{-}1000 \text{ m}^3/\text{kişi/yıl}$ arasındaki değerlerde su azlığı görülmekte ve $500 \text{ m}^3/\text{kişi/yıl}$ değerinin altında mutlak su azlığı meydana gelmektedir. Ülkemizde kişi başına düşen su miktarı $1519 \text{ m}^3/\text{kişi/yıldır}$ (Anon., 2018a). Dolayısıyla su zenginliğinden söz etmek mümkün değildir. Diğer taraftan Türkiye İstatistik Kurumu 2023 yılı nüfus projeksiyonunu 86 milyon, 2040 yılı nüfus projeksiyonunu ise 100 milyon kişi olarak vermektedir (Anon., 2018b). Böylece, ülkemizin yakın bir gelecekte “su azlığı” yaşayan ülke konumuna düşmesi ihtimali bulunmaktadır. Bu durum temiz su kaynaklarının verimli ve doğru bir şekilde yönetilmesinin gün geçtikçe önem kazanacağına işaret etmektedir.

Bitkilerin su ile olan ilişkileri özellikle tarım toplumları oluşuktan sonra insanların ilgisini çekmeye başlamıştır. Ancak bitkilerin su tüketimini ölçmeye yönelik ilk çalışmaların 1900'lü yılların başlarında yapıldığı görülmektedir (Weaver ve Mogensen, 1919). Laboratuvar şartlarında gerçekleştirilen ve çoğunlukla tartım-gözlem esasına dayanan bu yöntemlerin ardından çok sayıda yeni yöntem geliştirilerek bitkilerin su tüketimini belirlemek için kullanılmıştır. Bunlardan başlıcaları su bütçesi yöntemi, lizimetre yöntemi, çadır yöntemi, transpirometre yöntemi, potometre yöntemi ve çabuk tartma yöntemidir (Özhan, 1982). 1900'lü yılların başında elektrik, elektronik ve termodinamiğin gelişimi transpirasyon ölçüm çalışmalarının da ilerlemesine katkıda bulunmuştur. Bu aşamada Huber'in 1930'larda termodinamiği kullanarak gerçekleştirdiği bir çalışma bitki özsuğu ölçümleri için öncü kabul edilmektedir (Cermak, 2004). Bu çalışmanın ardından birçok araştırmacı termodinamik, elektrik, nükleer, manyetik rezonans gibi farklı esaslara dayanan bitki özsuğu akış ölçüm yöntemleri geliştirmiştir. Bunlardan literatürde yaygın olarak kendine yer bulanları; gövde ısı dengesi (trunk segment heat balance) yöntemi (Cermak ve diğ., 1973, 1982; Kucera ve diğ., 1977); gövde ısı denge (stem heat balance) yöntemi (Sakuratani, 1981; 1984); ısı dağılım (heat dissipation) yöntemi (Grainer, 1988); ısınan alan bozunum (heat field deformation) (Nadezhdina, 2012) yöntemleri olarak sıralanabilir. Bu yöntemlerin arasından termodinamik esasına dayananlar arazi çalışmalarında kendine daha geniş yer bulmuştur (Cermak ve diğ., 2004). Günümüzde de güç kaynaklarının ve veri kaydedicilerin küçülmesi ve daha az enerji ile çalışan sensörlerin üretilmesi ile birlikte basit ve kolay kurulumları, uzun süreli veri saklayabilmeleri, birey ve meşcere bazında çalışmaya imkan sağlamaları, arazinin heterojen yapısından etkilenmemeleri ve yüksek mobiliteleri, kısa sürede ve ölçüme dayalı yüksek

güvenilirlikte sonuç vermeleri bitki özsuyu akış ölçümlerinin yaygın olarak kullanılmasının nedenleri olmuştur.

Bitki özsuyu akış ölçüm yöntemleri, doğrudan bitkilerin su tüketimini ölçmek amacıyla kullanılabildikleri gibi, farklı birçok amaca hizmet eden araştırmaların bir parçası olarak da kullanılmışlardır. Kuraklık stresi, bitki büyümesinde su tüketiminin rolü, CO₂ özümlemesi, stomaların görevi ve çalışmalarını etkileyen faktörler gibi birçok fizyoloji çalışmasında da bitki özsuyu akış ölçümlerinden yararlanılmıştır. Örneğin, Catovsky ve diğ. (2002) karbon özümlemesi ile bitki özsuyu akışı arasında doğrusal bir ilişki olduğunu, dolayısıyla bir bitkinin yıllık toplam karbon tutumunu hesaplamak için bitki özsuyu akış ölçümlerinden yararlanılabileceğini belirtmektedir.

Bu çalışmada, biri geniş yapraklı (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl/sapsız meşe) diğeri ibreli (*Pinus nigra* Arn. subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe/Anadolu karaçamı) olmak üzere iki farklı orman ağacı türünün aynı koşullardaki su tüketimi karşılaştırılmış ve önümüzdeki yıllarda ormanlık alanların planlanması ve işletilmesinde bu alanların su tüketiminin de hesaba katılması noktasında yol gösterici olması amaçlanmıştır.

Su üretim havzası; girdisi yağış, çıktısı akış olan bir fabrikaya benzetilebilir. Bir havzadaki akışı toprak, topoğrafik koşullar, iklim ve vejetasyon etkilemektedir. Havzanın iklimini, toprak ve topoğrafyasını değiştirmek hemen hemen imkansız iken vejetasyon yönetimi ile su verimi ve suyun kalitesi bir dereceye kadar değiştirilebilir. Vejetasyon yönetimiyle vejetasyon tipi, türü, yaşı, sıklığı gibi silvikültürel faktörlerin düzenlenmesinin mümkün olduğu göz önüne alındığında bitkilerin transpirasyon miktarının bilinmesi önemli bir faktör olarak karşımıza

çıkmaktadır. Ülkemizde su üretiminin esas alındığı havzalarda yapraklı türlerin kullanımının tavsiye edilmesi (Çepel, 1986; Özhan, 2004), su verimi maksimizasyonu amaçlanan su üretim havzalarında, ağaç türü seçimini tipik bir vejetasyon yönetimi örneği olarak işaret etmektedir.

2.1.TRANSPIRASYON

Transpirasyon tanımının en yalın hali bitkilerin kökleri ile topraktan aldıkları suyu yaprakları ile atmosfere vermeleri, diğer bir deyişle “terlemeleri” dir. Bitki-su ilişkileri açısından transpirasyonun önemi büyüktür, çünkü topraktan alınan suyun yaklaşık %95’i terleme yoluyla atmosfere verilmekte, yalnızca %1.5-2’lik bir kısmı fotosentez için kullanılmaktadır (Vanassche, 2011). Ayrıca bitkilerin atmosferden CO₂ alımı sırasında da buharlaşma olmaktadır (Kramer ve Boyer, 1995).

Atmosferdeki nem açığının meydana getirdiği basınç ve bitki hücrelerinin suya-ve su içerisinde bulunan besin maddelerine- ihtiyacı neticesinde meydana gelen transpirasyon, bitkinin ince ve kalın kökleri ile topraktan aldığı, gövde ve dallardan geçerek yapraklara kadar ulaşan ve yapraklardan büyük oranda stomalar, küçük miktarlarda da kütikula tabakası vasıtası ile su buharı olarak atmosfere verilen “bitki özsu akışı” (sap flow) sayesinde gerçekleşebilir. Bu sıvıya bitki özsu denmesinin nedeni, içerisinde topraktan alınan tuzlar ve diğer besin maddelerinin olmasıdır, dolayısıyla donma derecesi sudan daha düşüktür (Peramaki ve diğ., 2005).

Transpirasyonun gerçekleşmesindeki sürükleyici güç hava nemi ile toprak nemi arasındaki basınç farkıdır. Bu nedenle bitkiler yaşamlarını devam ettirebilmek için transpirasyon yapmak durumundadırlar. Bu teoriye kohezyon-tansiyon teorisi denmektedir. Çevresel faktörlerin buharlaştırıcı etkisi ile yapraklar su kaybetmekte, kaybettikleri bu suyu da kökleri aracılığı ile toprak suyundan karşılamaktadırlar. Bu süreçte adhezyon ve kohezyon kuvvetleri de etkili olmaktadır (Brodribb ve diğ., 2005). Ancak bitkiler de bu süreci yönetebilmek için çeşitli mekanizmalar geliştirmişlerdir.

2.2. TRANSPIRASYONU ETKİLEYEN FAKTÖRLER

2.2.1. Çevresel Faktörler

Güneş radyasyonu, rüzgar hızı, yağış, sıcaklık, hava nemi, toprak nemi ve CO₂ konsantrasyonu gibi meteorolojik ve çevresel faktörler transpirasyon üzerinde önemli etkiye sahip olup, bu faktörler dış faktörler olarak adlandırılmaktadır (Kume ve diğ., 2015).

Hava Nemi

Hava nemi denildiğinde genelde bağıl nem, yani o anda birim (1m³) hava kütleğinde bulunan nemin aynı sıcaklıkta 1m³ hava kütleğinin tutabileceğı maksimum nem miktarına oranı kast edilmektedir ve bu değeri yüzde ile gösterilmektedir. Transpirasyon çalışmalarında ise nem, genelde havadaki buhar basıncı açığı olarak ifade edilmektedir ve doğrudan havanın buharlaştırma potansiyelini göstermektedir. Bu parametre belirli bir sıcaklıkta bir hava kütleğinin aktüel buhar basıncı ile o hava kütleğinin aynı sıcaklıkta nem ile doymuş halde iken meydana getirdiğı buhar basıncı (kPa) arasındaki farktır (Özyuvacı, 1999).

Buhar basıncı açığı bitkilerin su stresini ölçüm yapmadan anlayabilmek için önemli bir göstergedir. Yani yüksek buhar basıncı açığı yüksek miktarda transpirasyon ihtiyacının göstergesi iken düşük buhar basıncı açığı da düşük miktarda transpirasyon ihtiyacının göstergesidir.

Hava Sıcaklığı

Hava sıcaklığı buharlaşma üzerinde doğrusal bir etkiye sahiptir. Sıcaklık 0°C nin üzerinde olmak kaydıyla sıcaklık arttıkça buharlaşma fazla olacağından transpirasyon miktarı da artmaktadır. Hava sıcaklığı arttıkça havanın tutabileceğı nem miktarı da artmaktadır. Bu da transpirasyonu etkilemektedir.

Güneş Radyasyonu ve Işık

Güneş radyasyonu transpirasyon miktarını etkileyen en önemli faktördür, çünkü buharlaşma için gerekli olan enerjiyi solar radyasyon sağlamaktadır (Vanassche, 2011). Diğer yandan ışık stomaların açık kalmasını sağlamakta, bu da transpirasyonu artırıcı etki yapmaktadır. Radyasyonun transpirasyona olan bu etkisi doğrudan etki olarak kabul edilebilir. Yine de güneş

radyasyonunun olmadığı gece saatlerinde eğer havada nem açığı varsa ve hava sıcaklığı 0°C'nin üzerindeyse transpirasyonun devam ettiğini gösteren çalışmalar bulunmaktadır. Örneğin Benyon (1999) sulama yapılan bir *Eucalyptus grandis* (HillxMaiden) plantasyonunda bir gecede 0.8 mm transpirasyon ölçüldüğünü, ve gece transpirasyonun yıllık transpirasyonun %5'i oranına kadar çıkabildiğini belirtmektedir. Güneş radyasyonu ayrıca yaprakların sıcaklığını artırarak transpirasyonu dolaylı yoldan da etkilemektedir. Yapraklarda sıcaklığın artması daha yüksek transpirasyon meydana gelmesine yol açabilmektedir.

Rüzgar Hızı

Rüzgar hızının transpirasyon üzerindeki etkisi daha karmaşıktır. Rüzgar yaprakların etrafındaki sınır bölgenin (boundary layer) yapısını bozmakta ve ıslak yaprakları kurutmaktadır (O'brien ve diğ., 2004). Rüzgarla birlikte yaprakların etrafındaki nemli hava yerine sürekli daha kuru/nem açığı yüksek hava taşındığından rüzgar transpirasyonu artırıcı etki yapmaktadır. Diğer taraftan rüzgarın yaprak yüzeyini soğutucu etkisinden dolayı yaprak sıcaklığı düşmekte, böylece transpirasyonu azaltıcı etkisi de bulunmaktadır (Kramer ve Boyer, 1995; Kume ve diğ., 2015). Burada daha çok yaprak sıcaklığı ve nemi ile temasta olduğu havanın sıcaklığı ve nemi transpirasyon üzerinde belirleyici olmaktadır.

Yağış

Yağış, buharlaşacak maddeyi, suyu getiren temel meteorolojik olaydır. Yağış olmadan yukarıda bahsedilen etkilerin meydana gelmesi mümkün değildir. Yağış miktarında azalmaya bağlı olarak, toprağa normalden %29 daha az su girdiği bir vejetasyon periyodunda yıllık transpirasyonun %23 azaldığı gözlemlenmiştir (Limousin ve diğ., 2009). Diğer taraftan yağmur, yaprak yüzeyinin bir su filmi tabakası ile kaplanmasına, böylece stomalardan gaz çıkışı ve girişinin zorlaşmasına neden olmaktadır (O'brien ve diğ., 2004).

CO₂ Konsantrasyonu

Son yıllarda ortaya çıkan ve transpirasyonu etkilediği gözlemlenen bir başka faktör de atmosferdeki CO₂ konsantrasyonudur. Keenan ve arkadaşları (2013)'e göre, atmosferdeki CO₂ miktarı arttıkça bitkilerin suyu verimli kullanması artmakta, bu da transpirasyonu azaltmaktadır.

Toprak Nemi

Transpirasyonu etkileyen etmenlerden biri de toprak nemidir. Toprak neminin yüksek olduğu durumlarda transpirasyon ve büyüme diğer koşullara göre şekillenmektedir. Ancak atmosferdeki nem açığına karşılık toprakta yeterli nemin bulunmaması durumunda bitkiler stomaları aracılığı ile bir noktaya kadar su kaybını önlemekte, daha sonra yapraklarını kaybetmekte, bu koşulların değişmemesi durumunda ise yaşamlarını kaybetmektedirler (Denmead ve Shaw, 1962).

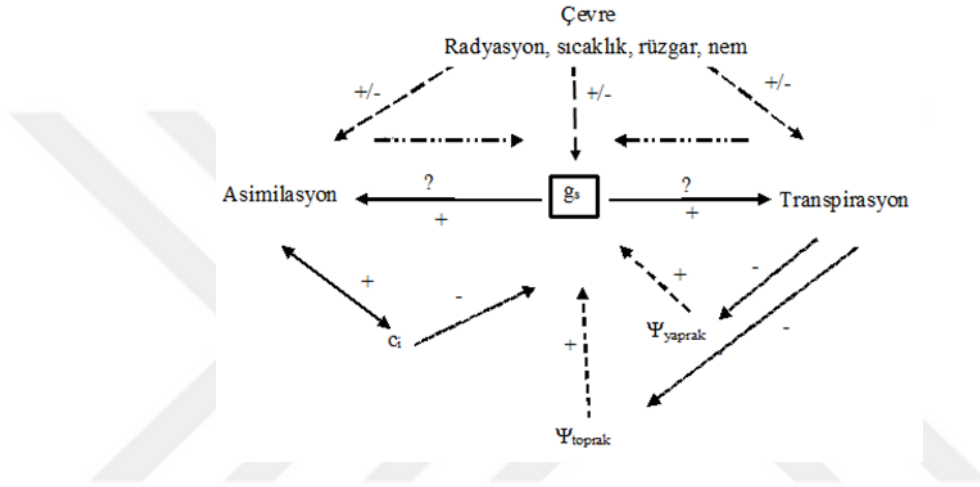
2.2.2. Fizyolojik Faktörler

Bu faktörler bitkilerin odun yapısı, iletim sistemleri, stomaları gibi fizyolojik farklılıklarından kaynaklanan faktörler olup, iç faktörler olarak adlandırılabilir.

Stomalar

Stomalar epidermiste bulunan ve açıklıkları koruyucu hücreler tarafından kontrol edilen porlardır. Bitki fizyolojistleri ve ekologlar tarafından kabul gören genel varsayım stomaların bitkinin su kaybını önlerken fotosentez yapmasına imkan vermek üzere evrimleştikleridir (Jones, 1998). Stomalar, koruyucu hücrelerde turgor basıncının yükselmesi sonucu açılmaktadır. Stomaların kapanması ile bitkinin su kaybı azalmaktadır, ancak CO₂ özümlemesi de azalmaktadır. Burada stomaların görevi özümlenen CO₂ miktarına karşılık minimum su kaybını sağlamaktır (Parkhurst ve Loucks, 1972). Dolayısıyla stomaların hem transpirasyonun hem de fotosentezin gerçekleşmesinde işlevi bulunmaktadır. Sperry ve diğ. (1988)'e göre ise stomaların potansiyel bir işlevi de ksilemde boşluk ve embolizma oluşumunun önlenmesi, dolayısıyla bitkinin su bulamadığı zamanlarda iletim sisteminin korunmasıdır. İletim sisteminde tıkanıklık (embolizma) ya da boşluk (kavitasyon) olması durumunda tepe tacının bazı bölümlerine su iletilemeyecek ve yaprak kaybı meydana gelecektir. Sapsız meşenin kuraklık zamanlarında ksilemde embolizma oluşmasını engellemek için stomalarını kapatması bu duruma örnek olarak gösterilebilir (Cochard ve diğ., 1996). Bununla birlikte sapsız meşenin ve kırmızı meşenin, su iletiminin büyük çoğunluğunu en son yılın halkasından sağladıkları, ancak bu halkada embolizma oluşması durumunda daha içteki yaşlı halkaları tekrar faaliyete geçirebildikleri de gözlenmiştir (Grainer ve diğ., 1994). Stomaların su kaybı yoluyla yaprak sıcaklığını optimumda tuttukları da fonksiyonları ile ilgili bir başka ihtimaldir (Jones, 1998).

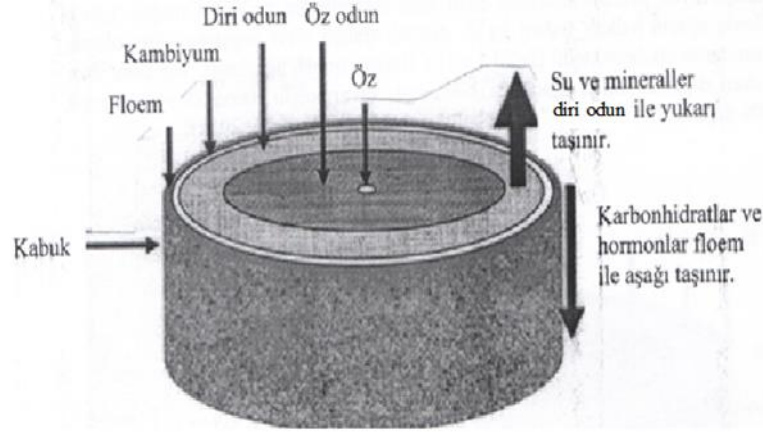
Stomaların ne kadar açıldığı ve ne kadar süre ile açık kaldığı transpirasyonun belirlenmesinde önemli bir yer tutmaktadır. Bir ağacın tüm yapraklarındaki stomaların açıklığı/geçirgenliği (g_s) ile sembolize edilmektedir ve ağacın transpirasyon miktarının tahmini için bir indikatör olarak kullanılmaktadır. Stomaların açıklığını ve açık kalma süresini belirleyen çevresel faktörler CO_2 miktarı, mikroklimatik etmenler ve toprak su potansiyeli iken, biyolojik faktörler yaprak su potansiyeli ve hormonlardır (Şekil 2.2). Farklı bitki türlerinde stomaların davranışının farklı olduğu gözlenmiştir (Hetherington ve Woodward, 2003; Pallardy, 2008; Zweifel ve diğ., 2007).



Şekil 2.2: Stoma açıklığını kontrol eden faktörler arasındaki ilişkiler (Jones, 1998).

Odun Yapısı

Bitkilerin su iletim sisteminin ana unsuru, Şekil 2.3'te basitçe gösterilen odundaki ksilemin lif ebatları, damar (vessel) boyutları, damar yoğunluğu gibi özellikleri su iletimi verimliliği üzerinde etkilidir (Ouyang ve diğ., 2017). Ayrıca bitki-su ilişkilerinde bitkilerin yaşamını tehdit eden önemli bir olgu da ksilemde boşluk (kavitasyon) oluşmasıdır. Boşluk oluşmasının nedeni atmosfer koşullarının yüksek buharlaştırıcı etkisine karşın toprakta yeterli su bulunmayışıdır. Bu durumda bitkilerin terleme isteği fazla olmakta, ancak kaybedilen suyun yerine topraktan su çekilemediğinden iletim sistemindeki su filmi kopmakta, böylece iletim sistemi zarar görmektedir. Daha sonra bitki suya erişse bile, su filmindeki kopuştan dolayı boşluğun oluştuğu iletim yolu ile yapraklara tekrar su ulaştıramamaktadır. Bu da tepe tacında kurumalara sebep olmaktadır. Bu durumun önüne geçmek için bitkiler stomaları aracılığı ile terlemelerini azaltmakta, iletim sistemindeki su filminin kopmasını engellemektedir.



Şekil 2.3: Odun yapısının basit şekli (Reid, 2009).

Ancak burada tek etken stomalar değildir. Yapılan araştırmalarda farklı odun yapısına sahip türlerin iletim sistemlerinin farklı boşluk oluşma eşikleri olduğu, böylece terlemelerini bu eşiklere göre ayarladıkları ortaya çıkmıştır (Bush ve diğ., 2008; Ouyang ve diğ., 2017).

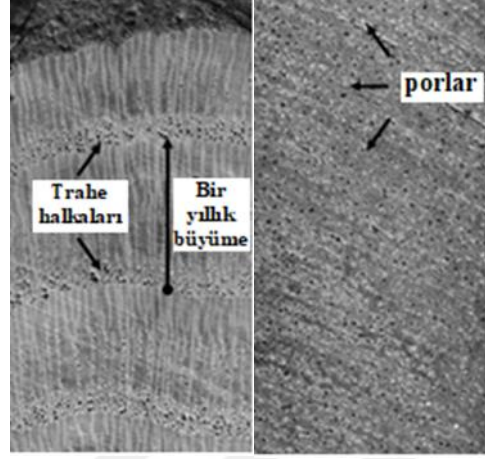
Açık Tohumlular

Açık tohumlu orman ağaçlarının odun yapıları kapalı tohumlulara göre daha basit yapıda olup, asıl elemanları ağaç boyunca yönünde uzanan “traheidler” ile yarıçap yönünde uzanan “öz ışıını paransim hücreleridir”(Akkemik, 2010). Açık tohumlu orman ağaçlarında su iletimi traheidler vasıtası ile yapılmaktadır. Traheidler ölü hücreler olup, uçları sonlara doğru incelmekte ve dikdörtgene benzerdir. Karşılıklı uç uca gelen traheidler birbirleri ile uyum sağlamaktadır (Akkemik, 2010). Traheidlerin uçları kapalı olup, su iletimi yanlarda bulunan kenarlı geçitlerden sağlanmaktadır. Açık tohumluların ksilem anatomileri ve özellikle yapıları dar olan traheidlerle gerçekleştirdikleri su ve besin iletiminin kapalı tohumlulara göre daha verimsiz olduğu, bu nedenle de ılıman, bol yağışlı ve iyi bonitete sahip alanlarda genel olarak geniş yapraklılarla rekabet edemediklerinden böyle alanların geniş yapraklı türlerin hakimiyetinde bulunduğu belirtilmektedir (Becker ve diğ., 1999).

Kapalı Tohumlular

Kapalı tohumlu orman ağaçlarında su iletimi traheler aracılığı ile yapılmaktadır. Açık tohumlulardaki traheidlerin uçları kapalı iken, kapalı tohumlularda trahelerin uçları açıktır. Kapalı tohumlularda odun yapısı trahelerin üst üste gelerek bir iletim yolu oluşturduğu halkalı

traheli ile trahelerin ksilemde dağılmış bir görüntü çizdiği dağınık traheli olmak üzere iki farklı odun yapısı görülmektedir (Akkemik, 2010) (Şekil 2.4).



Şekil 2.4: Halkalı ve dağınık traheli odun yapıları (Reid, 2009).

Bush ve diğ. (2008)'e göre; halkalı traheli odun yapısına sahip olan türler daha hassas (kırılgan) ksileme sahip olup, terlemeleri ile atmosferdeki buhar basıncı açığı arasında güçlü bir ilişki bulunmakta iken; dağınık traheli odun yapısına sahip türlerin boşluk oluşma eşikleri daha yüksektir ve bu nedenle iletim sistemleri atmosferik koşullardaki değişimlere karşı daha dayanıklıdır. Diğer yandan halkalı traheli oduna sahip ağaçlar iletim sisteminde yüksek oranda kayıp yaşasa da hiç kayıp yaşamayan dağınık traheli ağaçlar kadar su iletimi sağlayabilmektedir (Hacke ve diğ., 2006). Steppe ve Lemeur (2007) ise Avrupa kayını ile sapsız meşenin odun yapılarının hidrolik özelliklerini karşılaştırdıkları çalışmalarında, halkalı traheli odun yapısına sahip olan sapsız meşenin hidrolik iletkenliğinin $10.66 \text{ kg m}^{-1}\text{s}^{-1}\text{Mpa}^{-1}$; dağınık traheli odun yapısına sahip olan Avrupa kayınının hidrolik iletkenliğinin ise $4.90 \text{ kg m}^{-1}\text{s}^{-1}\text{Mpa}^{-1}$ olduğunu belirtmişlerdir. Bu örnekten halkalı traheli oduna sahip ağaçların hidrolik iletkenliğinin aynı şartlardaki dağınık traheli türlere göre daha yüksek olduğu ortaya çıkmaktadır.

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. MALZEME

Bu araştırmada, geniş yapraklı ve iğne yapraklı orman ağacı türlerinin su tüketimlerinin karşılaştırılması amacıyla; Atatürk Arboretumu içerisinde 8 no'lu parselde bulunan Anadolu karaçamı (*Pinus nigra* Arn. subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe) ve 7 no'lu parselde bulunan sapsız meşe (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl) meşcereleri örnek alanlar olarak belirlenmiştir. Belirlenen bu iki parsel aynı yükselti, bakı, jeoloji, yer yüzü şekli, denizden yükseklik gibi yetiştirme ortamı özelliklerine sahip olup, aralarından geçen 5 m genişliğinde bir yol ile birbirlerinden ayrılmaktadır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1: Anadolu karaçamı ve sapsız meşe örnek alanları.

Anadolu karaçamı ibrelili türleri, sapsız meşe ise geniş yapraklı türleri temsilen seçilmiştir. Yetiştirme ortamı özelliklerinde değişim olmaması için Anadolu karaçamı parseli 800 m²; sapsız meşe parseli ise 1300 m² ile sınırlandırılmıştır. Anadolu karaçamı meşceresinin göğüs yüzeyi 54.8 m², ortalama ağaç boyu 14.5±1.8 m ve ortalama göğüs yüksekliği çapı 24.2±6.8 cm'dir. Sapsız meşe meşceresinde ise göğüs yüzeyi 57.78 m², ortalama ağaç boyu 16±3.3 m ve ortalama göğüs yüksekliği çapı da 20.7±7.5 cm'dir.

Herdem yeşil olan Anadolu karaçamında ölçümlere 15.11.2015 tarihinde başlanmıştır. Geniş yapraklı bir tür olan sapsız meşede ise bu tarihi takip eden ilk vejetasyon periyodunun

başlangıcında, 1 Nisan 2016 tarihinde ölçümlere başlanmıştır. Ancak oluşturulan grafiklerin kolay anlaşılması ve hesaplamaların yıl bazında ortaya konması açısından 1.1.2016-1.1.2018 tarihleri arasındaki veriler teze konu edilmiştir.

3.1.1. Araştırma Alanının Genel Özellikleri

Araştırma alanının coğrafi konumu, iklimi, jeolojisi ve toprak özellikleri ile bitki örtüsüne ilişkin bilgiler aşağıda verilmiştir.

3.1.2. Coğrafi Konumu

Atatürk Arboretumu İstanbul-Sarıyer ilçesi sınırları içerisinde Belgrad Ormanı'nın güneydoğusunda, $41^{\circ} 09' 48''$ - $41^{\circ} 10' 55''$ kuzey enlemleri ile $28^{\circ} 57' 27''$ - $28^{\circ} 59' 27''$ doğu boylamları arasında yer almaktadır (Karaöz, 1991). Atatürk Arboretumu'nun doğu sınırı İstanbul Boğazı'ndan 5 km, kuzey sınırı ise Karadeniz'den 8 km içerde kalmakta, denizden yüksekliği ise 80-120 m arasında değişmektedir. Arboretum 445 hektarlık bir orman parçası üzerinde tesis edilmiştir (Yaltırık, 1988).

3.1.3. Jeolojisi ve Toprak Özellikleri

Atatürk Arboretumu'nun başlıca anakaya/materyallerinin Paleozik devrine ait karbonifer formasyonun grovak-toztaşı-kil şistleri ile Neozoik devri tersiyer formasyonu neojen (pliosen) tortulları oldukları ifade edilmektedir (Özturna, 2013). Karbonifer şistleri üzerinde sıg veya orta derin ve orta yaşlı esmer orman toprakları ile solgun esmer orman toprakları gelişmiş; neojen tortullarında ise pek derin, genellikle taşsız ve ana materyalin tekstürüne bağlı olarak farklı yıkanma horizonlarında solgun esmer orman toprakları, boz esmer orman toprakları ve pseudogleyler gelişmiştir (Kantarıcı, 1980; Çakır, 2013). Toprakların kil oranları % 11 ile 76 arasında değişmekte olup kil içerikleri genellikle Ah horizonundan Cv horizonuna doğru artmaktadır. Topraklar ağırlıklı olarak balçıklı kil ve kil tekstüründedir (Özturna, 2013).

3.1.4. İklimi

1975-2008 yılları arasında aktif olan Bahçeköy meteoroloji istasyonunun verilerine göre bölgenin yıllık ortalama yağışı 1121 mm, ortalama sıcaklığı ise 13° 'dir. Bu yağışın büyük kısmı Ekim-Nisan arası düşmektedir. Thornthwaite iklim sınıflandırmasına göre bölge nemli, mikrotermal, yazın orta derecede su açığı bulunan bir iklim tipine (B3B1'sb4') sahiptir. Diğer

yandan çalışma boyunca arboretum sahasında yağış, hava sıcaklığı, hava nemi ve güneş radyasyonu ölçümleri yapılmış, ayrıca sahaya kuş uçuşu yaklaşık 5 km uzaklıkta olan anabilim dalımıza ait bir meteoroloji istasyonunun verilerinden de yararlanılmıştır. Bu istasyonlara ait ölçüm verileri bulgular bölümünde verilmiştir.

3.1.5. Bitki Örtüsü

Yaltırık (1988)'a göre "Atatürk Arboretumu çoğu kışın yaprağını döken ağaç ve çalı taksonlarının oluşturduğu bir yapraklı orman formasyonu olan Belgrad Ormanı'nın hemen hemen tüm doğal türlerini içermektedir". Belgrad Ormanı ayrıca 400'den fazla bir yıllık, iki veya çok yıllık otsu taksonlardan oluşan bir mozağe ev sahipliği yapmaktadır. Yine Yaltırık (1988) Atatürk Arboretumu'nun önemli orman ağacı türlerini sırasıyla sapsız meşe (*Q. petraea* (Matt.) Liebl.), Macar meşesi (*Q. frainetto* Ten.), saplı meşe (*Q. robur* L.) mazı meşesi (*Q. infectoria* Oliv.), saçlı meşe (*Q. cerris* L.), kermes meşesi (*Q. coccifera* L.) Doğu kayını (*Fagus orientalis* Lipsky), adi gürgen (*Carpinus betulus* L.), Anadolu kestanesi (*Castanea sativa* Mill.), adi kızılıhağaç (*Alnus glutinosa* L.) olarak vermektedir. Ayrıca ekolojik olarak yapraklı türlerin gelişim ortamını oluşturan bu alana küçük meşcereler oluşturacak şekilde yerli ve yabancı 11 ibrelili ağaç türü dikim yoluyla getirilmiştir (Karaöz, 1991).

3.2.YÖNTEM

3.2.1. Örnek Ağaçların Belirlenmesi

Bitki özsuğu akış ölçümleri hem tek ağacın transpirasyon ölçümlerini yapmak; hem de bir meşcerenin toplam transpirasyon miktarını hesaplamak amacıyla kullanılabilir. Ölçümler meşcere bazında yapılmak istendiğinde örnek ağaçların belirlenmesi önemli bir adımı oluşturmaktadır. Seçilecek örnek ağaçların meşcere özelliklerini temsil etmesi gerekmektedir. Meşcere bazında yapılacak bitki özsuğu ölçüm çalışmalarında örnek ağaçların belirlenmesi için toplamın dağılımı yöntemi önerilmektedir (Cermak ve diğ., 2004). Bu yöntem meşceredeki gövde çapını baz alarak her bir çap sınıfının örneklenmesini sağlamaktadır. Sistemin işleyişi ile örnek alanlara uygulanışı aşağıda açıklanmıştır.

Öncelikle alanda bulunan tüm ağaçların çapları (Ça) ölçülerek her bir ağacın göğüs yüzeyi $(\text{Ça}/2)^2 \times \pi$ formülü ile hesaplanmaktadır. Ağaçlar göğüs yüzeyine göre küçükten büyüğe sıralandıktan sonra meşcerenin toplam göğüs yüzeyi ($A_{\text{meş}}$) bulunmaktadır. Toplam göğüs

yüzeyi alanda ölçüm yapılacak ağaç sayısına (k) bölünmektedir ($A_{meş}/k$). Böylece meşçerenin toplam göğüs yüzeyi çap sınıflarına (A_{ort}) ayrılmış olmaktadır. Bu çap sınıflarının da ortalamasını almak için, örnek ağaç sayısının (k) 0,5 katıyla (0,5, 1,5.....k-0,5) çarpılmaktadır. Ortaya çıkan değerlere en yakın göğüs yüzeyine sahip ağaç kümülatif göğüs hacmi tablosundan örnek ağaç olarak seçilmektedir. Karaçam meşçeresi için bu yöntemle göre bir tablo oluşturulmuştur (Ek 1). Parselde göğüs yüksekliğindeki (1.30 m) çapları 12 cm ile 44.5 cm arasında olan 85 birey bulunmaktadır. Meşçerenin toplam göğüs yüzeyi ($A_{meş}$) 54.82 m² dir. Toplam göğüs yüzeyi örnek ağaç sayısına bölünerek ($54.82/6$) A_{ort} 9.13 bulunmuştur. Bulunan değer 0,5 katı alınarak ($9.13 \times 0,5$) 4.56 değeri elde edilmiştir. Kümülatif toplam sütunundan kontrol edildiğinde elde edilen değere en yakın ağaç 82 numaralı ağaçtır. Ancak arazide bu ağacın yol tarafında açıkta bulunduğu görülmüş; hem meşçere içerisindeki kapalılık koşullarını taşımadığından hem de sensörlerin güvenliği açısından uygun bulunmamıştır. Bu şartları sağlayan en yakın değere sahip ağacın 70 numaralı birey olduğu tespit edilerek bu ağaç örnek ağaç olarak seçilmiştir. Aynı işlemler diğer 5 örnek ağaç için yapılarak Anadolu karaçam meşçeresindeki örnek ağaçların seçimi tamamlanmıştır (Ek 1).

Sapsız meşe meşçeresinde de öncelikle alandaki tüm ağaçların boy ve çapları ölçülerek ağaçlar numaralandırılmıştır. Sağlıksız bireyler ile tepesi kırık ve örneklemeye uygun olmayan bireyler tespit edilmiştir. Bu bireyler hesaplama işlemlerine dahil edilmemiştir. Diğer işlemler Anadolu karaçam meşçeresinde yapılan işlemlerle aynı olduğundan tekrar edilmemiştir. Sapsız meşe meşçeresinin envanteri ile seçilen örnek ağaçlar Ek 2’de verilmiştir.

3.2.2. Gövde Isı Dengesi Yöntemi

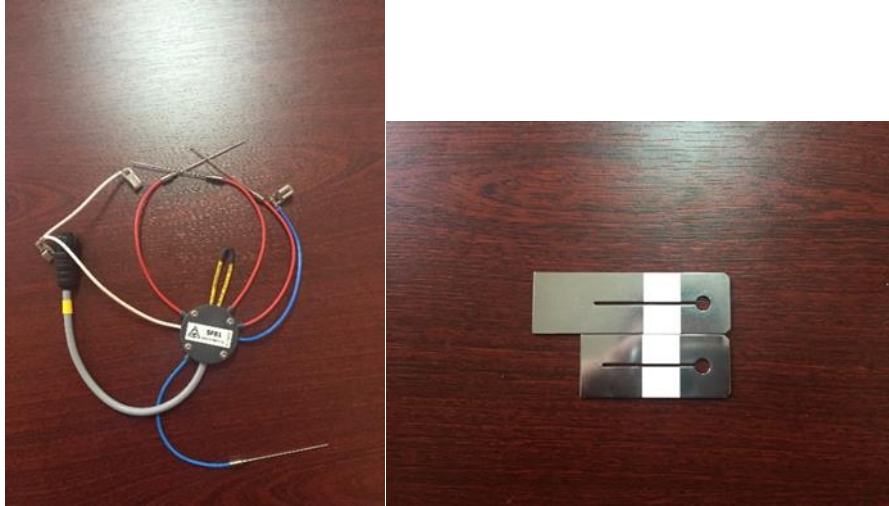
Gövde ısı dengesi yöntemi Prof. Cermak tarafından 1970’li yılların başında geliştirilmiş ve sonraki yıllarda yaygın olarak kullanılan bir yöntem haline gelmiştir (Cermak ve diğ., 1973, Kucera ve diğ., 1977). Bu yöntemde, ağaç gövdesinin bir kesiti elektrotlar vasıtasıyla elektrik akımı verilerek ısıtılmaktadır. Isı ksilem dokusunda homojen bir şekilde dağılmakta ve kabuğun dışına taşmamaktadır. Enerji (doğrudan bitki özsuğu akışı ile orantılı) ya da sıcaklık farkı (dolaylı olarak bitki özsuğu ile orantılı) elektronik devreler yardımı ile sabit tutularak diğer değişkenler kaydedilmektedir. Sistemin uygulanacağı ağacın gövdesine 4 adet elektrot (Şekil 3.2) yerleştirilmektedir. Bu elektrotların üçü birbirine paralel ve aynı seviyede olup, dördüncü elektrot diğerlerinden 10 cm aşağıda ve merkezde olacak şekilde konumlandırılmaktadır.



Şekil 3.2: Bitki özsuyu akış ölçüm sisteminin elektrotlarının ve ısı ölçer problemlerinin örnek ağaç üzerindeki görünümü.

Her elektrotun içine üç adet ısıölçer içeren iğne şeklinde mini problemler (Şekil 3.3) yerleştirilmektedir. Birbirine paralel olan üç elektrota elektrik enerjisi verilerek ısınmaları sağlanmakta ve elektrik verilen elektrotlar ısının ağaç gövdesinden dışarı çıkmaması için yalıtkan bantla çevrelenmektedir.

Elektrotlar, tam diri odun derinliğinde yerleştirildiğinden farklı ağaç türleri için değişik uzunluklarda elektrotlar kullanılmaktadır (Şekil 3.3)



Şekil 3.3: Bitki özsuyu akış ölçüm sisteminin iğne şeklindeki ısı ölçer problemleri ve farklı uzunluklardaki elektrotları.

Metodun çalışma prensibi; köklerle topraktan alınarak yapraklara iletilen bitki özsuyunun, ısıtılan bu alandan geçerken soğumaya yol açmasıyla bu kesitteki değişikliklerin izlenmesi esasına dayanmaktadır. Bu yöntem ısıtılan belirli bir noktadaki ısı dengesini hesaplamaktadır. Temel olarak, giren enerji geçen suyun ısınması ve dokulardaki ısı kayıpları arasında aşağıdaki denkleme göre ikiye ayrılmaktadır:

$$P = QdT_{cw} + dT\lambda \quad (3.1.)$$

Denklemden, P ısıtma için giren enerjiyi (W), Q bitki özsuyu akış miktarını (kg s^{-1}) dT ölçüm noktasındaki sıcaklık farkını (K), cw suyun özgül ısısını ($\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$) ve λ ölçüm noktasındaki ısı kaybı katsayısını (W K^{-1}) temsil etmektedir. (Cermak ve diğ., 2004). Elektrotlar tarafından meydana getirilen ısıtmanın büyük çoğunluğu su akışı ile birlikte yok olmaktadır, ancak %10-20'lik bir kısmı da ölçüm noktasının etrafındaki dokuların ısıtılması sırasında kaybolmaktadır. Dokuların ısıtılmasında kaybedilen ısıtmanın bitki özsuyu akışı ile kaybedilen ısıdan ayrılması gerekmektedir. Bu nedenle bitkide su akışının olmadığı varsayılan bir zamanda (örneğin uzun süreli yağmurlardan sonra sabah erken saatlerde) meydana gelen ısı kaybı suni akış (A_s) olarak nitelendirilmekte ve devamlı kaydedilmektedir. Suni akış sırasında bitki gövdesinde akış olmadığından, mini problar arasındaki sıcaklık farkı da sabit güç altında en yüksek seviyeye ulaşmaktadır, bu da suni akışın bir göstergesidir. Gerçek bitki özsuyu akış değeri toplam akış miktarından suni akışın çıkarılmasıyla ($A_g = A_t - A_s$) bulunmaktadır. Dış etmenlerden meydana gelecek etkileri elimine etmek ve ölçüm noktasının etrafındaki dokuların ısıtılmasının (λ) büyük oranda önüne geçmek için ölçüm noktası poliüretan köpük ile sarılmakta ve özellikle direk güneş ışığından korunmaktadır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4: Yansıtıcı köpükler kullanılarak sensörlerin güneşin doğrudan etkisinden ve sıcaklığı etkileyebilecek etmenlerden korunması ve izolasyonun sağlanması.

3.2.3. Bitki Özsuyu Akışının Hesaplanması

Bitki özsuyu ölçümleri her örnek alanda 6’şar adet olmak üzere toplam 12 adet EMS 81 “bitki özsuyu akış ölçer” (EMS Brno, Çekya) ile yapılmıştır. Ölçüm sisteminin teorik kısmı yukarıda verildiğinden bu başlıkta yapılan işlemler ve hesaplamalar anlatılmıştır. Araziden bilgisayar yardımı ile alınan veriler EMS Mini32 programına aktarılmıştır. Bu program sistemin üreticisi firma tarafından sağlanmış olup, bitki özsuyu ölçümleri, çap artımı, toprak nemi ve sıcaklığı ile meteorolojik parametrelerin hesaplanması için kullanılmaktadır. Mini32 programı yardımı ile alınan veriler düzenlenmiş, veri setinde bozulan yerler tespit edilerek -örneğin yağmur suları elektrotlara temas edip direnci değiştirebilir- düzeltilmiştir. Eksik olan verilerin düzeltilme işlemi, verilerin eksik olduğu dönemde hatasız çalışmış olan diğer ağaçların verileri dikkate alınarak yapılmıştır. Veri setleri arasında bir regresyon denklemi oluşturulmuş, en yüksek “r” değerini veren veri setindeki değerler bulunan denklemde yerine konularak eksik olan veri setleri düzeltilmiştir. Bu şekilde düzeltilen veriler her iki ağaç türü için toplam verilerin %3’ünü aşmamaktadır. Daha sonra program çalıştırılarak istenen zaman aralığı için hem ağaç bazında hem de hektar bazında su tüketimi değerleri elde edilmiştir.

3.2.4. Meteorolojik Verilerin Alınması ve Meteorolojik Parametrelerin Hesaplanması

Meteoroloji ölçümleri iki adet meteoroloji istasyonu vasıtası ile yapılmıştır. İstasyonlardan biri arboretum sahasında ölçüm parsellerinin hemen yanında bulunan açık alana kurulmuştur (EMS Brno, Minikin RTHi ve Minikin ERi, Çekya). Bu istasyonda hava sıcaklığı, hava nemi, güneş radyasyonu ile yağış ölçümleri yapılmış ve kaydedilmiştir (Şekil 3.5). Yağış ölçer 2 mm çözünürlükte kaşık tipi ölçüm sistemine sahiptir. Diğer istasyon ise Kurtkemer Orman İşletme Şefliği odun deposunun yakınında 2013 yılında anabilim dalımızca kurulmuştur (Campbell Scientific, GRWS 1000, Amerika Birleşik Devletleri). İstasyonun bulunduğu nokta Atatürk Arboretumu'na kuş uçuşu yaklaşık 5 km'dir. Bu istasyonda hava sıcaklığı, hava nemi, güneş radyasyonu, güneşlenme süresi, rüzgar hızı, rüzgar yönü, yağış, toprak nemi ve toprak sıcaklığı ölçülmekte ve kaydedilmektedir. Bu istasyondaki yağış ölçer ise kar yağışını daha doğru ölçmek amacıyla elektrik beslemeli ve ısıtma sistemi ile kurulmuştur.



Şekil 3.5: EMS Brno Minikin RTHi ve Minikin ERi sensörleri.

Elde edilen bu meteorolojik ölçümler kullanılarak potansiyel evapotranspirasyon, havadaki su basıncı açığı gibi parametreler hesaplanmıştır.

3.2.5. Çap Artımı Ölçümleri

Çap artımı ölçümleri bitki özsuyu akış sistemi ile entegre çalışan (EMS Brno, DR 26, Çekya) model sensörler ile yapılmıştır. Bu sensörlerde ağaçların gövdesine çelik bir tel kemer şeklinde sarılmaktadır (Şekil 3.6). Sensörlerin hassasiyeti 1µm'den daha küçük olarak verilmektedir

(EMS Brno, 2014). Bu yüksek ölçüm çözünürlüğü sayesinde yalnızca çap artımı değil, su stresine bağlı olarak ağaç gövdesinde meydana gelen daralmalar da kaydedilmektedir. Böylece yıllık çap artımı ile birlikte su tüketimi-çap değişimi de ilişkiye getirilebilmektedir.



Şekil 3.6: EMS DR26 model çap artımı ölçer.

3.2.6. Toprak Sıcaklığı ve Neminin Ölçülmesi

Her iki örnek alanda da toprak sıcaklığı ve toprak nemi ölçümleri yapılmıştır. Toprak nemi, bitkilerin su alımı ilişkilerini anlayabilmek için “toprak nem potansiyeli” (Ψ_{toprak}) esasına göre yapılmıştır. Anadolu karaçamı alanında diri örtü bulunmasından dolayı özellikle vejetasyon periyodunda diri örtünün de toprak nemi ile ilişkisinin anlaşılabilmesi için ölçümler 10, 25 ve 50 cm derinliklerinde yapılmıştır. Diri örtüyü oluşturan türlerin köklerinin büyük oranda 25 cm derinliğe kadar ulaştıkları görülmüştür. Sapsız meşe alanında ise diri örtü bulunmadığından dolayı 25 cm derinlikte 3 farklı noktada ölçümler gerçekleştirilmiştir. Ölçümler 3 adet jips blok ve toprağa tamamen gömülebilen bir data kaydediciden oluşan SP3 (EMS Brno, Çekya) toprak nem ölçerler ile yapılmıştır. Toprak nemi ve sıcaklığı için ölçüm aralığı 1 saat olarak ayarlanmıştır. Toprak nem potansiyeli esasında “0” en çok suyun olduğu, toprağın doymuş olduğu durumu, - 15 (bar) ise solma noktasını yani suyun az olduğu durumu ifade etmektedir.

3.2.7. Yaprak Yüzey İndeksi (LAI) Ölçümleri

Yaprak yüzey indeksi ölçümleri 2016 yılında 52 hafta boyunca her iki örnek alanda, meşcere kapalılığını homojen şekilde yansıtabilecek 7 sabit noktadan haftalık olarak gerçekleştirilmiştir. Daha sonra her meşcere için bu 7 noktadan alınan ölçüm değerlerinin ortalaması alınarak kaydedilmiştir. Ölçümler için Cl-110 model (Bio-Science.Inc. Amerika Birleşik Devletleri) yaprak yüzey alanı ölçer kullanılmıştır.

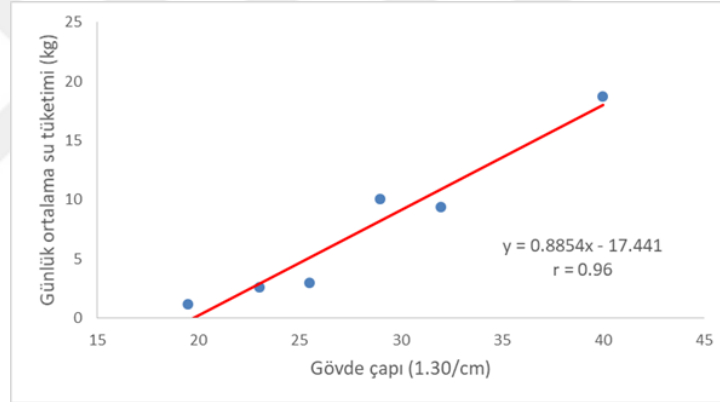


4. BULGULAR

4.1. BİTKİ ÖZSUYU AKIŞ ÖLÇÜMLERİ

4.1.1. Anadolu Karaçamı Örnek Alanı

Anadolu karaçamı örnek alanında 6 örnek ağaç seçilmiş olup yapılan ölçümlerden elde edilen bilgiler aşağıda verilmiştir. Ölçümler 1 Ocak 2016-1 Ocak 2018 tarihlerini kapsamakta olup toplam 731 günlük veri bulunmaktadır. Anadolu karaçamı meşceresinde en çok tüketimi gerçekleştiren ağaç, en kalın çapa sahip olan 31 numaralı ağaçtır. Bu ağacın ölçüm periyodu boyunca bir günde gerçekleştirdiği maksimum su tüketimi 76.31 kg olarak kaydedilmiştir. Su tüketimlerine bakıldığında aynı türün bireyleri arasında gövde çapıyla ortalama su tüketimi arasında güçlü bir ilişki olduğu görülmektedir (Şekil 4.1).



Şekil 4.1: Anadolu karaçamı meşceresinde göğüs yüksekliğindeki gövde çapı ile su tüketimi arasındaki ilişki.

Su tüketiminin mevsimlere göre dağılımına bakıldığında ise en yüksek tüketimin beklendiği gibi yaz mevsiminde olduğu görülmektedir. Örnek ağaçların Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında gerçekleştirdikleri su tüketiminin yıllık su tüketimine oranı yaklaşık %53 tür. Yani yıl boyunca yapraklı olan Anadolu karaçamında ağaçlar yıllık su tüketimlerinin yaklaşık yarısını 3 aylık yaz döneminde gerçekleştirmektedir.

En düşük su tüketimi ise kış aylarında gerçekleşmektedir. Kış aylarındaki su tüketimi yıllık su tüketiminin yaklaşık % 4.3 'ünü oluşturmaktadır.

Anadolu karaçamı meşceresinin su tüketimine bakıldığında 2016 yılında 396.48 mm, 2017 yılında ise 360.28 mm su tüketimi gerçekleştirdiği görülmüştür. Meşcerenin su tüketimi 2017

yılında 2016 yılına göre yaklaşık %9 azalmıştır (Şekil 4.2). Meşcerenin 2017'deki su tüketimi mevsimlere göre incelendiğinde yaz aylarında gerçekleşen tüketimin yıllık tüketime oranının yine yaklaşık %50 olduğu ortaya çıkmaktadır. Karaçam meşceresi 2016 yılında günlük ortalama 1.08 mm, 2017 yılında ise 0.98 mm suyu terleme yoluyla atmosfere vermiştir.

Anadolu karaçamı meşceresindeki her örnek ağacın ve meşcerenin yıl bazında, mevsimlere göre tüketimleri ve günlük ortalama ile günlük maksimum tüketimleri aşağıda tablolar halinde verilmiştir (Tablo 4.1 ve 4.2). Anadolu karaçamı meşceresinin günlük ortalama tüketim verileri her iki yıl için 365 gün üzerinden hesaplanmıştır.

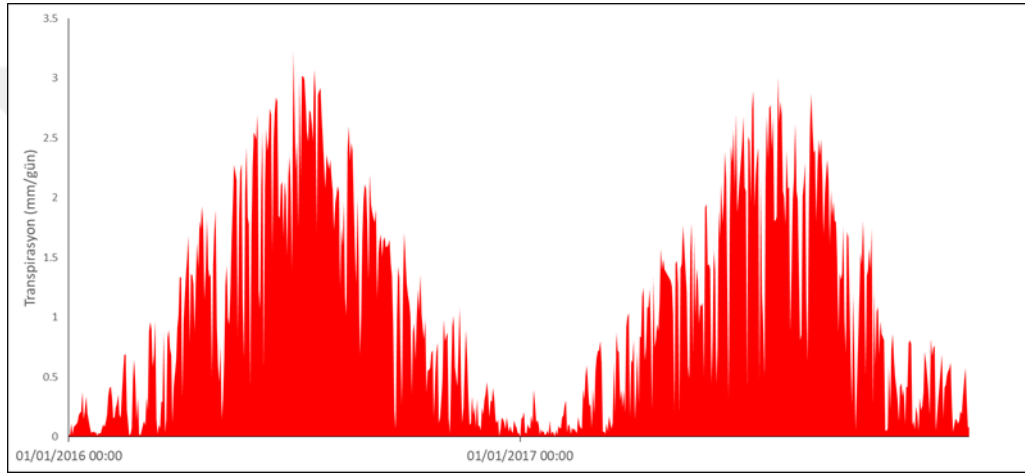
Tablo 4.1: Anadolu karaçamı meşceresindeki örnek ağaçların su tüketim verileri.

Karaçam Meşceresi Su Tüketimi (kg)	Yıl	Günlük ortalama Tüketim	Günlük minimum ve maksimum tüketim	Yıllık toplam tüketim	Kış Tüketimi	İlkbahar Tüketimi	Yaz Tüketimi Haziran	Sonbahar Tüketimi
Ağaç No: 1 Çap:19.5 cm Boy: 15 m	2016	4.17±4.66*	0.01-18.86	1526.75	47.92	303.35	942.16	233.32
	2017	3.25±4.22*	0.01-19.65	1186.49	81.67	119.68	739.09	246.05
Ağaç No: 2 Çap: 23 cm Boy: 17 m	2016	6.94±7.39*	0.01-30.86	2540.64	55.12	745.58	1363.56	376.38
	2017	5.1±5.65*	0.01-25.81	1858.22	70.53	305.39	1073.45	408.85
Ağaç No: 3 Çap: 25.5 cm Boy: 15 m	2016	5.44±5.18*	0.01-20.80	1992.28	73.14	558.54	1027.86	332.74
	2017	5.74±5.40*	0.01-22.67	2084.34	104.42	440.23	1100.89	438.80
Ağaç No: 4 Çap: 29 cm Boy: 16 m	2016	20.21±14.29*	0.04-61.81	7398.84	247.1	1718.19	3784.56	1648.99
	2017	12.29±10.28*	0.01-39.58	4476.25	191.61	997.54	2235.99	1051.11
Ağaç No: 5 Çap: 32 cm Boy: 17 m	2016	13.54±11.30*	0.01-43.5	4958.05	196.45	1218.63	2556.45	986.52
	2017	15.58±12.53*	0.01-46.84	5689.47	307.66	1321.97	2713.60	1346.24
Ağaç No:6 Çap: 40 cm Boy: 17 m	2016	27.53±20.59*	0.09-71.54	10078.6	574.32	2742.27	4662.67	2099.34
	2017	28.95±22.87*	0.01-76.31	10596.99	554.11	2414.76	5000.69	2627.43

*: standart sapma

Tablo 4.2: Anadolu karaçamı meşçeresinin su tüketimi verileri.

Anadolu Karaçamı Meşçeresi Su Tüketimi (mm)	Günlük ortalama tüketim	Günlük minimum ve maksimum tüketim	Yıllık toplam tüketim	Kış tüketimi	İlkbahar tüketimi	Yaz tüketimi	Sonbahar tüketimi
2016 yılı	1.08±0.88*	0.004-3.21	396.48	16.58	101.91	199.14	78.85
2017 yılı	0.98±0.82*	0.003-3.01	360.28	17.94	78.11	175.78	88.45

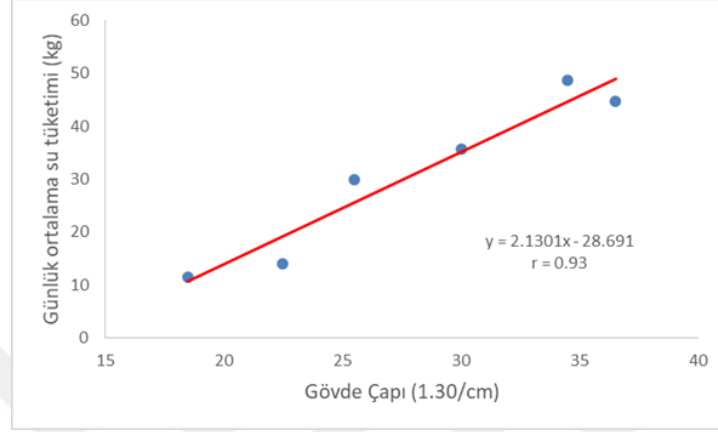
**Şekil 4.2:** Anadolu karaçamı meşçeresinin 2016 ve 2017 yılı su tüketim grafiği.

4.1.2. Sapsız Meşe Örnek Alanı

Sapsız meşe meşçeresinde ölçümlere vejetasyon periyodunun başlangıcında başlanmıştır. Ağaçlara sensörler 21 Mart 2016 'da takılmış, ancak 1 Nisan'a kadar düzenli ölçüm gözlenmediğinden vejetasyon süresinin başlangıcı 1 Nisan olarak alınmıştır. Vejetasyon süresinin sonu olarak ise 15 Kasım alınmıştır, çünkü bu tarih itibarı ile yaprakların büyük bölümü dökülmüş ve kalanlar da fotosentez yeteneklerini kaybettiğinden su tüketimleri ölçülebilir düzeyde olmamıştır. Bu tarihlere göre ölçümler 2016 yılında 229 gün, 2017 yılında ise 228 gün sürmüştür. Ayrıca Anadolu karaçamı meşçeresindeki tablolarda bulunan kış aylarındaki su tüketimi sütununa bu ağaç türünde kış aylarında yaprak olmadığı için yer verilmemiştir (Şekil 4.4).

* : standart sapma

Elde edilen sonuçlara bakıldığında en yüksek tüketimin günlük maksimum 162.42 kg ile 6 numaralı ağaç tarafından gerçekleştirildiği görülmektedir. Sapsız meşe meşçeresinde de gövde çapı ile ortalama su tüketimi arasında yüksek bir ilişki bulunmaktadır (Şekil 4.3).



Şekil 4.3: Sapsız meşe meşçeresinde gövde çapı ile ortalama su tüketimi arasındaki ilişki.

Su tüketiminin mevsimlere göre dağılımına bakıldığında ise yaz aylarında meydana gelen su tüketiminin vejetasyon süresi boyunca meydana gelen su tüketiminin yaklaşık %60'ını oluşturduğu görülmektedir. İlkbahar su tüketimi %19; sonbahar su tüketimi ise yaklaşık %21'dir. Sapsız meşe meşçeresinde günlük ortalama tüketim vejetasyon periyodundaki gün sayıları (229 ve 228 gün) baz alınarak hesaplanmıştır.

Tablo 4.3: Sapsız meşe meşçeresindeki örnek ağaçların su tüketimi verileri.

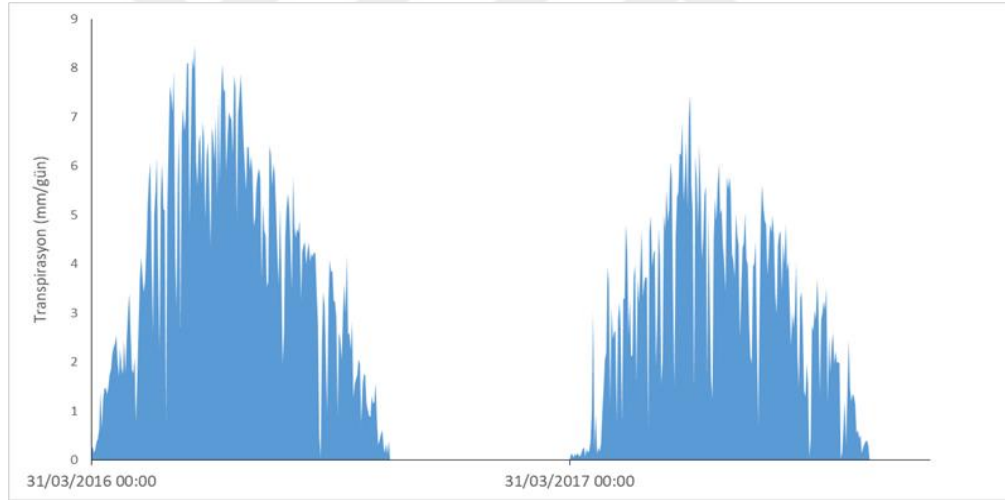
Meşe Meşçeresi Su Tüketimi (kg)	Yıl	Günlük ortalama Tüketim	Günlük minimum ve maksimum tüketim	Yıllık toplam tüketim	İlkbahar Tüketimi	Yaz Tüketimi	Sonbahar Tüketimi
Ağaç No: 1 Çap: 18.5 cm Boy: 18 m	2016	20.60±12.88*	0.11-49.94	4719.07	781.03	3005.24	932.80
	2017	15.43±10.16*	0.02-40.65	3532.06	503.35	2094.14	934.57
Ağaç No: 2 Çap: 22.5 cm Boy: 19 m	2016	17.13±12.69*	0.13-47.42	3983.8	663.05	2580.77	679.98
	2017	17.72±12.73*	0.15-53.30	4041.84.	598.3	2472.05	971.49
Ağaç No: 3 Çap: 25.5 cm Boy: 19.5 m	2016	46.65±28.51*	0.02-104.61	10683.8	2475.4	6429.06	1779.34
	2017	34.01±22.15*	0.05-87.85	7754.62	1493.27	4649.40	1611.95
Ağaç No: 4 Çap: 30 cm Boy: 20 m	2016	60.32±34.00*	0.16-126.72	13693.61	2637.42	8238.96	2817.23
	2017	40.41±23.78*	0.15-88.16	9214.67	1650.02	5369.11	2195.54

Tablo 4.3 (devam): Sapsız meşe meşçeresindeki örnek ağaçların su tüketimi verileri.

Ağaç No: 5 Çap: 36.5 cm Boy: 18 m	2016	63.77±37.65*	0.07-153.68	14478.03	2804.46	8741.96	2931.61
	2017	53.46±33.69*	0.03-141.33	12189.41	1944.52	7437.16	2807.73
Ağaç No: 6 Çap: 34.5 cm Boy: 18.5 m	2016	82.27±42.36*	0.78-162.42	18676.06	3550.15	10765.61	4360.30
	2017	61.05±35.44*	0.18-138.30	13921.4	2206.83	8175.12	3727.11

Tablo 4.4: Sapsız meşe meşçeresinin su tüketimi verileri.

Sapsız Meşe Meşçeresi Su Tüketimi (mm)	Günlük ortalama tüketim	Günlük minimum ve maksimum tüketim	Yıllık toplam tüketim	İlkbahar tüketimi	Yaz tüketimi	Sonbahar tüketimi
2016 yılı	4.00±2.26*	0.05-8.46	908.33	178.92	545.88	183.53
2017 yılı	3.04±1.18*	0.03-7.46	695.23	115.30	415.51	164.42

**Şekil 4.4:** Sapsız meşe meşçeresinin 2016 ve 2017 yılı su tüketim grafiği.

4.2.TOPRAK NEMİ VE SICAKLIĞI ÖLÇÜMLERİ

4.2.1. Toprak Nemi

Anadolu karaçamı meşçeresinde diri örtü bulunduğundan ölçümler diri örtünün toprak nemine etkisinin de anlaşılabilmesi için 10 cm, 25 cm ve 50 cm'den olmak üzere üç farklı derinlikte yapılmıştır. 10 cm ve 50 cm derinliklerde ölçülen toprak nemi her mevsimde birbirine yakınken

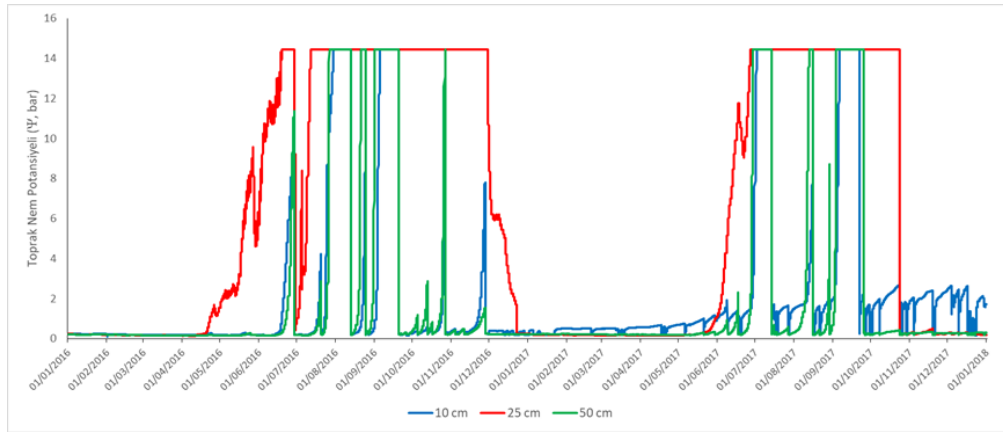
* : standart sapma

25 cm’de yapılan ölçümler bu iki derinlikten önemli ölçüde ayrılmaktadır. Meşcerede bulunan diri örtünün (*Erica arborea* L. ve *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn.) köklerinin büyük oranda 25 cm derinliğe ulaşması bu durumun potansiyel sebepleri arasındadır. Ayrıca 25 cm derinlikte toprak nemi Nisan aylarında hızla azalmaya başlamakta ve Kasım ayı sonuna kadar bu derinlikte toprak nemi oldukça az bulunmaktadır (Şekil 4.5).

Toprak neminin yıllık seyrine bakıldığında ilkbahar ve kış aylarında toprak suya doymun halde bulunmaktadır. Yaz aylarında ise toprak nemi ölçüm yapılan derinliklerde önemli ölçüde azalarak zaman zaman solma noktasına (-15 bar) erişse de, yaz aylarında düşen yağmurlar bu durumun kalıcı olmasını engellemektedir.

Tablo 4.5: Anadolu karaçamı meşceresinde ölçülen toprak nemi verileri.

Toprak Derinliği	Yıl	Ortalama Toprak Nemi (Ψ_{toprak} , bar)			
		İlkbahar	Yaz	Sonbahar	Kış
10 cm	2016	-0.1±0.2*	-3.7±5.3*	-3.7±5.3*	-0.1±0.1*
	2017	-0.6±0.1*	-3.4±4.5*	-4.1±4.7*	-0.6±0.7*
25 cm	2016	-1.7±2.3*	-12.3±3.6*	-14.3±0.3*	-1.1±2.7*
	2017	-0.2±0.1*	-12.4±3.6*	-8.5±6.9*	-0.2±0.03*
50 cm	2016	-0.1±0.2*	-4.0±5.9*	-3.6±5.7*	-0.2±0.1*
	2017	-0.2±0.03*	-3.5±5.6*	-3.8±5.9*	-0.2±0.02*



Şekil 4.5: Anadolu karaçamı meşceresinde 2016 ve 2017 yıllarında toprak neminin seyrini.

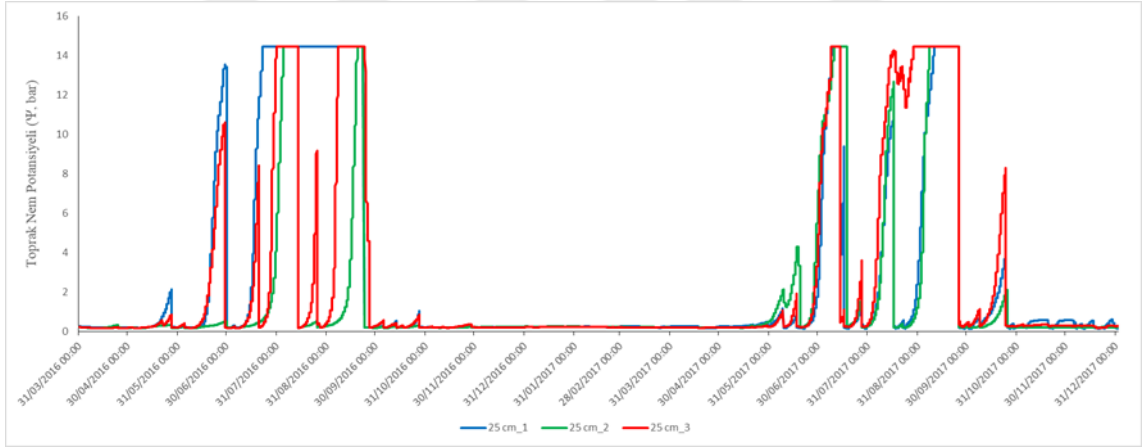
Sapsız meşe meşceresinde ölçümlere 1 Nisan 2016 tarihinde başlanmıştır. Meşcerede diri örtü bulunmadığından ve alan Anadolu karaçamı meşceresine göre daha eğimli olduğundan toprak nemi ölçümleri üç farklı noktada 25 cm derinlikte yapılmıştır. Sonuçlara bakıldığında Anadolu

* standart sapma

karaçamı meşçeresinde olduğu gibi kış ve ilkbahar aylarında toprak nemi doymun halde bulunmaktadır (Şekil 4.6). Yaz aylarında ölçüm noktalarında toprak nemi solma noktasına (-15 bar) kadar azalsa da, aylık ortalamalarda bu durum sürekli bir hal almamaktadır. Sonbahar aylarında, özellikle Eylül ayında toprak nemi yaz aylarına benzer bir şekilde düşük seyretmekte, bu da sonbahar aylarının ortalamasını önemli ölçüde azaltmaktadır.

Tablo 4.6: Sapsız meşe meşçeresinde ölçülen toprak nemi verileri.

Ölçüm Noktaları (25 cm)	Yıl	Ortalama Toprak Nemi (Ψ_{toprak} , bar)			
		İlkbahar	Yaz	Sonbahar	Kış
1	2016	-0.3±0.3*	-8.1±6.4*	-3.7±6.0*	-0.2±0.01*
	2017	-0.2±0.05*	-3.1±4.4*	-3.9±5.6*	-0.2±0.1*
2	2016	-0.2±0.05*	-2.1±4.4*	-1.2±3.3*	-0.2±0.01*
	2017	-0.2±0.05*	-3.9±5.0*	-3.7±5.8*	-0.2±0.00*
3	2016	-0.2±0.1*	-3.7±5.1*	-3.3±5.5*	-0.2±0.01*
	2017	-0.2±0.1*	-5.6±5.8*	-4.4±6.1*	-0.2±0.01*



Şekil 4.6: Sapsız meşe meşçeresinde 2016 ve 2017 yıllarında toprak neminin seyri.

4.2.2. Toprak Sıcaklığı

Anadolu karaçamı meşçeresinde toprak sıcaklığı değerleri 2016 yılında 1.6°C ile 25°C arasında, 2017 yılında ise 1.2°C ile 23°C arasında değişiklik göstermiştir. 2016 yılında ortalama toprak sıcaklığı 14°C, 2017 yılında ise ortalama toprak sıcaklığı 13°C olarak kaydedilmiştir. En düşük

* standart sapma

sıcaklıklar beklendiği gibi kış aylarında, en yüksek sıcaklıklar ise yaz aylarında görülmüştür. Toprak sıcaklığı üst toprakta (10 cm) ölçülmüştür.

Sapsız meşe meşceresinde toprak sıcaklıkları 2016 yılında 1.3° ile 25°C arasında, 2017 yılında ise 0.7°C ile 23°C arasında değişiklik göstermiştir. 2016 yılında ortalama toprak sıcaklığı 14°C, 2017 yılında ise 13°C olarak kaydedilmiştir. Elde edilen bu değerler Anadolu karaçamı meşceresindeki değerler ile büyük oranda benzerdir. Toprak sıcaklığı ölçümleri üst toprakta (10 cm) yapılmıştır.

4.3.ÇAP ARTIMI ÖLÇÜMLERİ

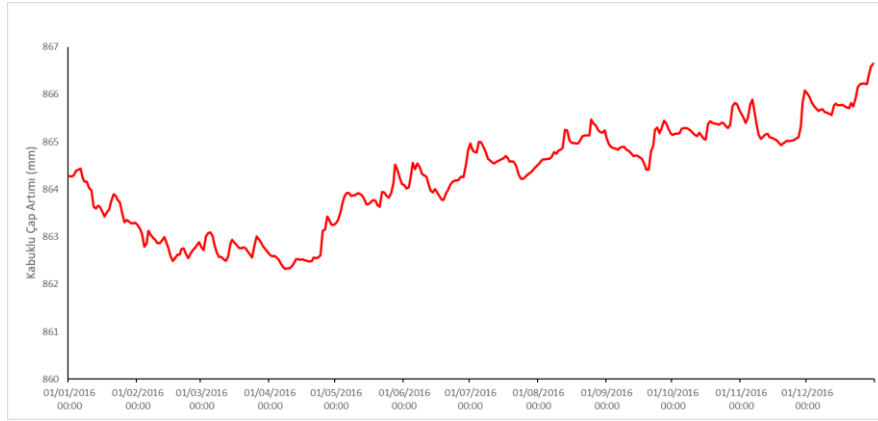
Anadolu karaçamı ve sapsız meşe meşcerelerinde bitki özsuyu akış ölçümleri yapılan örnek ağaçlarda kabuklu çap artımı gözlenmiştir. Meşcerelerdeki örnek ağaçların göğüs yüksekliğindeki çapları, boyları ve yıllara göre gerçekleştirdikleri kabuklu çap artımları tablolar halinde verilmiştir.

4.3.1. Anadolu Karaçamı Meşceresinde Yapılan Ölçümler

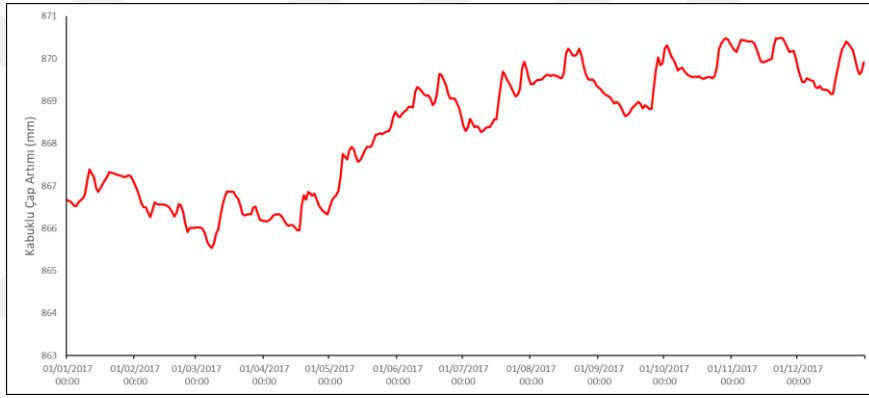
Anadolu karaçamı meşceresindeki örnek ağaçlardan 3 ve 4 no'lu ağaçların 2017 yılında 2016 yılına göre daha fazla artım yaptıkları, diğer örnek ağaçların ise 2016 yılında 2017 yılına göre daha fazla kabuklu çap artımı gerçekleştirdikleri görülmüştür. Anadolu karaçamı meşceresindeki örnek ağaçların 2016 yılındaki ortalama çap artımı 2.91 ± 4.02 mm, 2017 yılındaki ortalama çap artımı ise 3.78 ± 3.22 mm olarak ölçülmüştür.

Tablo 4.7: Anadolu karaçamı meşceresindeki örnek ağaçların 2016 ve 2017 yıllarındaki kabuklu çap artımı değerleri.

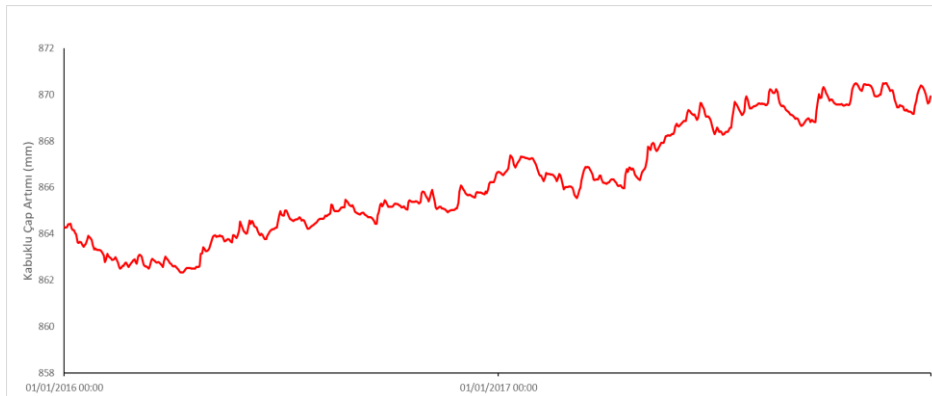
Anadolu Karaçamı Meşceresi	Yıl	Ağaç No: 1 Çap: 19.5 cm Boy: 15 m	Ağaç No: 2 Çap: 23 cm Boy: 17 m	Ağaç No: 3 Çap: 25.5 cm Boy: 15 m	Ağaç No: 4 Çap: 29 cm Boy: 16 m	Ağaç No: 5 Çap: 32 cm Boy: 17 m	Ağaç No: 6 Çap: 40 cm Boy: 17 m
Çap Artımı (mm)	2016	1.2	0.4	0.3	3.6	3.6	12
	2017	0.5	0.5	3.1	5.1	3.5	10



Şekil 4.7: Anadolu karaçamı meşçeresindeki örnek ağaçların 2016 yılındaki kabuklu çap artımının seyri.



Şekil 4.8: Anadolu karaçamı meşçeresindeki 6 no'lu örnek ağacın 2017 yılındaki kabuklu çap artımının seyri.



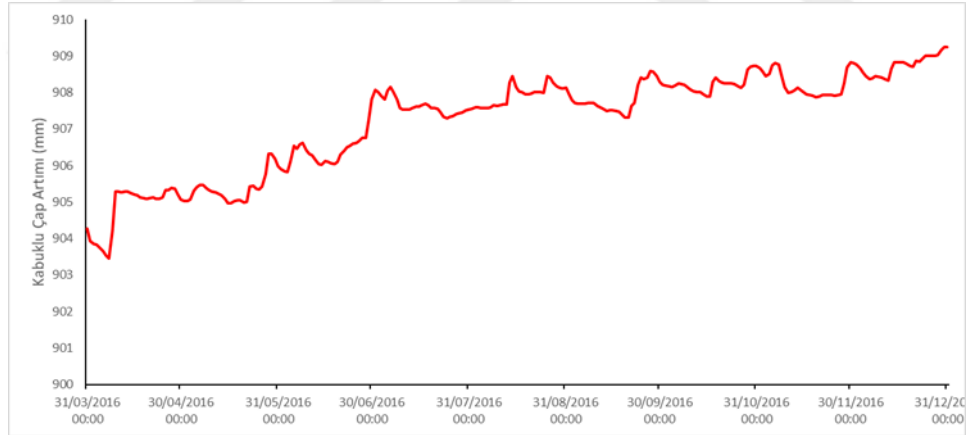
Şekil 4.9: Anadolu karaçamı meşçeresindeki örnek ağaçların 2016 ve 2017 yıllarındaki kümülatif kabuklu çap artımının seyri.

4.3.2. Sapsız Meşe Meşceresinde Yapılan Ölçümler

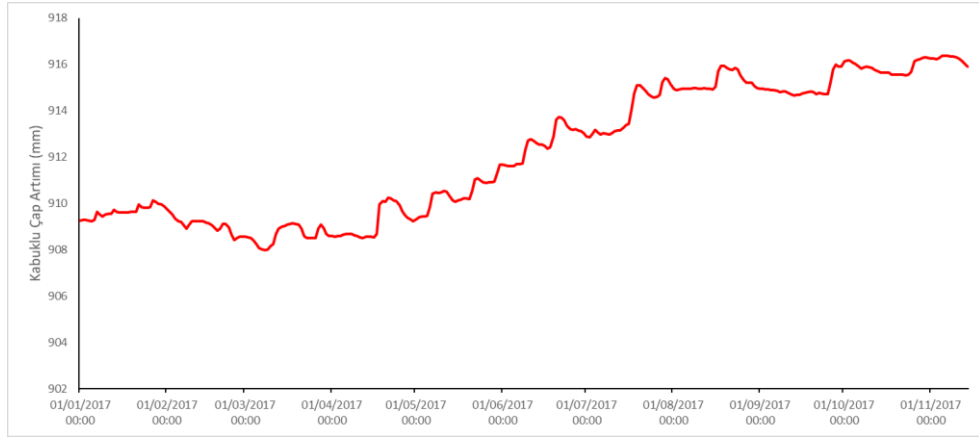
Sapsız meşe meşceresinde 2 no'lu ağacın 2016 yılında ölçülebilir bir kabuklu çap artımı gerçekleştirilemediği görülmektedir. Diğer yandan tüm örnek ağaçların kabuklu çap artımı 2017 yılında 2016 yılına göre artış göstermiştir. 2016 yılında örnek ağaçların ortalama çap artımı 4.03 ± 2.09 mm olarak, 2017 yılında ise 7.01 ± 3.3 mm olarak kaydedilmiştir. Sapsız meşe meşceresinde ölçümlere 31.03.2016 tarihinde (vejetasyon periyodunun başlangıcı) başlandığından 2016 yılının ilk üç ayının çap artımı verisi bulunmamaktadır.

Tablo 4.8: Sapsız meşe meşceresindeki örnek ağaçların 2016 ve 2017 yıllarındaki kabuklu çap artımı değerleri.

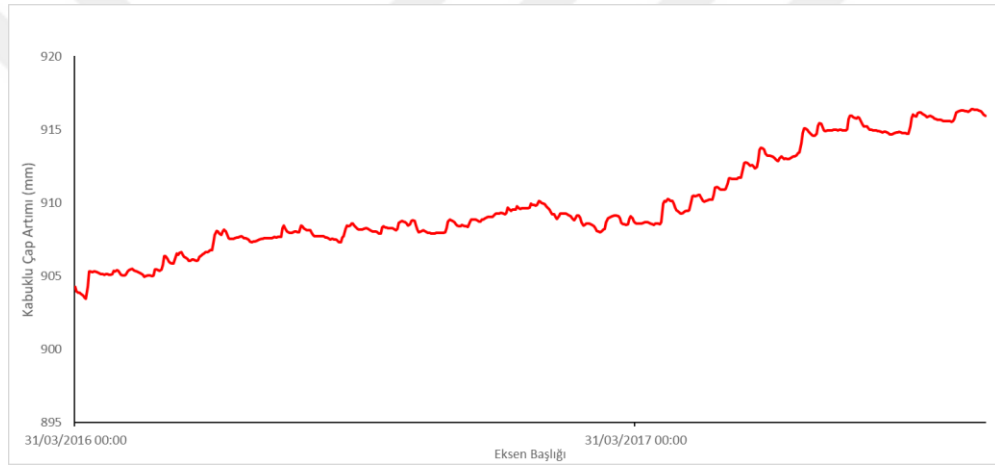
Sapsız Meşe Meşceresi	Yıl	Ağaç No: 1 Çap:18.5 cm Boy: 18 m	Ağaç No: 2 Çap: 22.5 cm Boy: 19 m	Ağaç No: 3 Çap: 25.5 cm Boy: 19.5 m	Ağaç No: 4 Çap: 30 cm Boy: 20 m	Ağaç No: 5 Çap: 36.5 cm Boy: 18 m	Ağaç No: 6 Çap: 34.5 cm Boy: 18.5 m
Çap Artımı (mm)	2016	3.2	-	5.3	8.2	2.1	5.4
	2017	7.1	1.0	8.4	10.2	4.8	10.6



Şekil 4.10: Sapsız meşe meşceresindeki örnek ağaçların 2016 yılındaki kabuklu çap artımının seyri.



Şekil 4.11: Sapsız meşe meşçeresindeki örnek ağaçların 2017 yılındaki kabuklu çap artımının seyri.



Şekil 4.12: Sapsız meşe meşçeresindeki örnek ağaçların 2016 ve 2017 yıllarındaki kümülatif kabuklu çap artımının seyri.

4.4. METEOROLOJİK ÖLÇÜMLER

4.4.1. Hava Sıcaklığı Ölçümleri

2016 yılı ortalama hava sıcaklığı 13.7°C olarak kaydedilmiştir. Minimum hava sıcaklığı -11.6°C ile Ocak ayında, maksimum 33°C ile Eylül ayında ölçülmüştür. 2017 yılında ise ortalama hava sıcaklığı 12.9°C olarak kaydedilmiş, minimum sıcaklık Şubat ayında -6.9°C ; maksimum sıcaklık ise Eylül ayında 36.6°C olarak ölçülmüştür (Tablo 4.9).

Tablo 4.9: 2016-2017 yılları aylık ortalama hava sıcaklıkları.

Ortalama Hava Sıcaklığı (°C)													
Aylar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Yıllık Ort.
2016	4.4	9.4	9.1	13.7	15.9	20.9	22.5	23.6	19.2	13.9	9.7	3.0	13.7
2017	2.0	5.9	7.6	9.9	14.9	20.1	21.9	22.6	19.3	12.0	9.9	8.7	12.9

4.4.2. Hava Nemi Ölçümleri

2016 yılı ortalama hava nemi %75, 2017 yılı ise ortalama hava nemi ise %81 olarak kaydedilmiştir. Aylık bazda bakıldığında ise sonbahar ve kış aylarındaki hava neminin ilkbahar ve yaz aylarına göre daha yüksek olduğu görülmektedir (Tablo 4.10).

Tablo 4.10: 2016-2017 yılları aylık bazda ortalama hava nemi.

Ortalama Hava Nemi (%)													
Aylar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
2016	79	77	76	70	77	77	78	78	75	80	79	80	
2017	85	78	81	73	81	81	78	81	80	85	85	78	

4.4.3. Güneş Radyasyonu Ölçümleri

Güneş radyasyonu verilerine bakıldığında 2016 yılında maksimum güneş radyasyonu 1008 W/m², 2017 yılında ise maksimum 966 W/m² olarak kaydedilmiştir. 2016 yılı ortalama güneş radyasyonu 161.8 W/m², 2017 yılı ortalama güneş radyasyonu ise 161.7 W/m² olarak ölçülmüştür. Yıllık ortalama güneş radyasyonu iki yıl için neredeyse aynı iken aylık bazda bakıldığında farklılıklar gözlenmektedir. 2017 yılının ilkbahar ve yaz aylarında ölçülen güneş radyasyonu 2016 yılından fazla iken, 2017 yılında da sonbahar ve kış aylarının güneş radyasyonu 2016 yılından yüksektir (Tablo 4.11).

Tablo 4.11: 2016-2017 yıllarının aylık ortalama güneş radyasyonu.

Ortalama Güneş Radyasyonu (W/m ²)													
Aylar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
2016	53.4	87.1	133.7	225.8	240.6	285.0	285.4	203.5	174.2	107.9	65.7	51.8	
2017	42.7	84.9	128.5	220.2	233.4	229.5	275.9	225.1	186.5	131.3	78.0	57.8	

4.4.4. Rüzgar Hızı Ölçümleri

Ölçüm periyodu boyunca elde edilen aylık ortalama rüzgar hızı verileri Tablo 4.12’de verilmiştir. Bu dönem boyunca maksimum rüzgar hızı 5.1 m/sn ile 2016 yılının Ocak ayında kaydedilmiştir.

Tablo 4.12: 2016-2017 yıllarında aylık ortalama rüzgar hızı verileri.

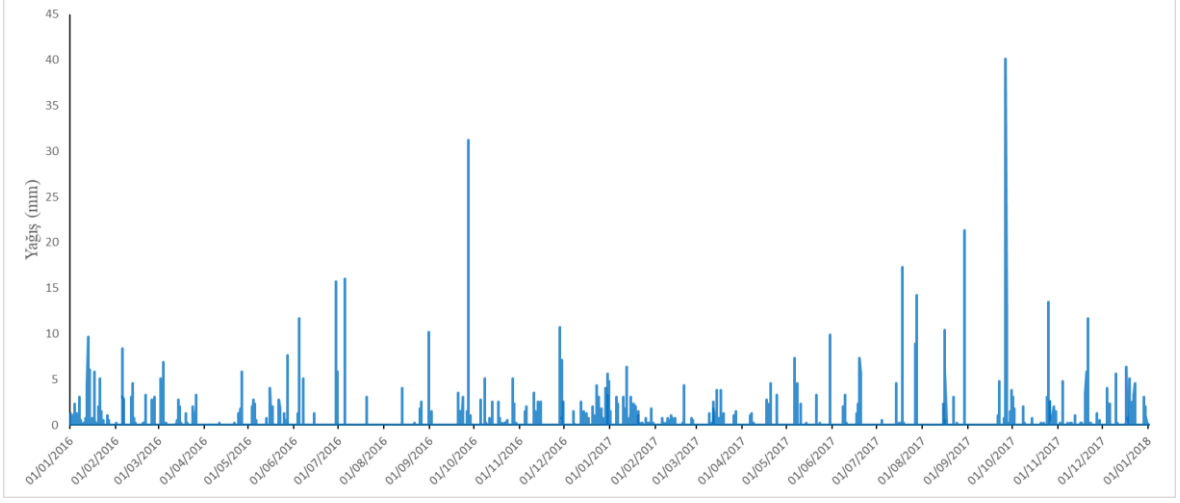
Ortalama Rüzgar Hızı (m/sn)												
Aylar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2016	0.73	0.87	0.72	0.50	0.46	0.52	0.56	0.69	0.46	0.39	0.61	0.70
2017	0.64	0.78	0.56	0.51	0.43	0.31	0.51	0.51	0.33	0.19	0.32	0.73

4.4.5. Yağış Ölçümleri

2016 yılında yıllık toplam yağış 1085.4 mm, 2017 yılında ise 1049.3 mm olarak kaydedilmiştir. Her iki yılda da en düşük yağış Nisan ayında görülürken, en yüksek yağış Aralık ayında düşmüştür. 2017 yılı Eylül ayının 26’sını 27’sine bağlayan gece 6 saatte yaklaşık 52 mm yağış düşmüş ve ölçüm periyodu içerisinde en yüksek şiddetteki yağış bu yağış olmuştur.

Tablo 4.13: 2016-2017 yıllarının aylık yağış miktarları.

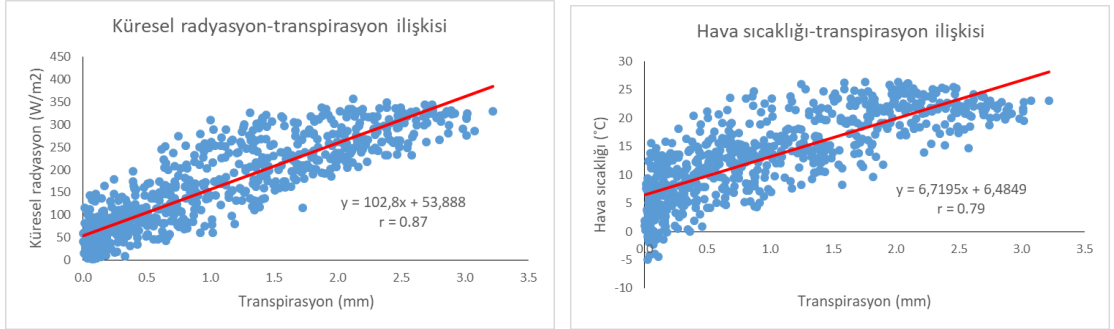
Yağış (mm)													
Aylar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Yıllık Toplam
2016	167.6	114.8	88.4	18.8	51.5	71.8	25.4	29.2	92.7	47.7	159.5	218.0	1085.4
2017	164.8	47.2	78	38.3	55.3	45.0	81.5	52.0	94.5	125.0	92.0	175.7	1049.3



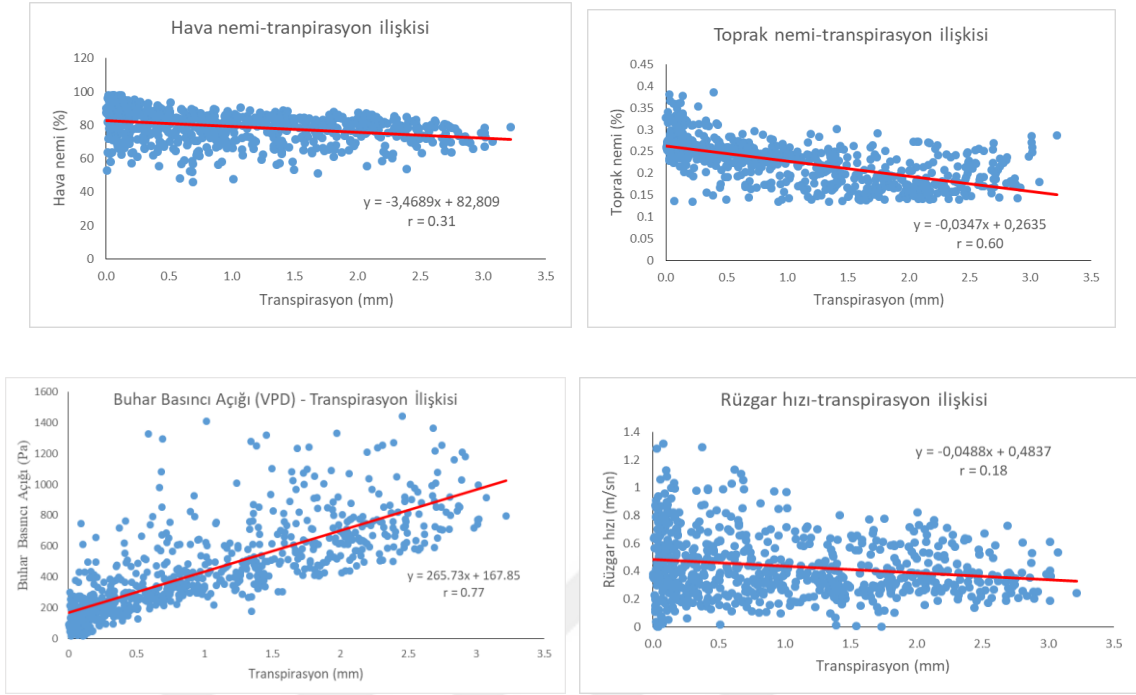
Şekil 4.13: Çalışma alanının 2016-2017 yıllarının aylık yağış miktarları.

4.4.6. Meteorolojik Parametreler ile Transpirasyon İlişkisi

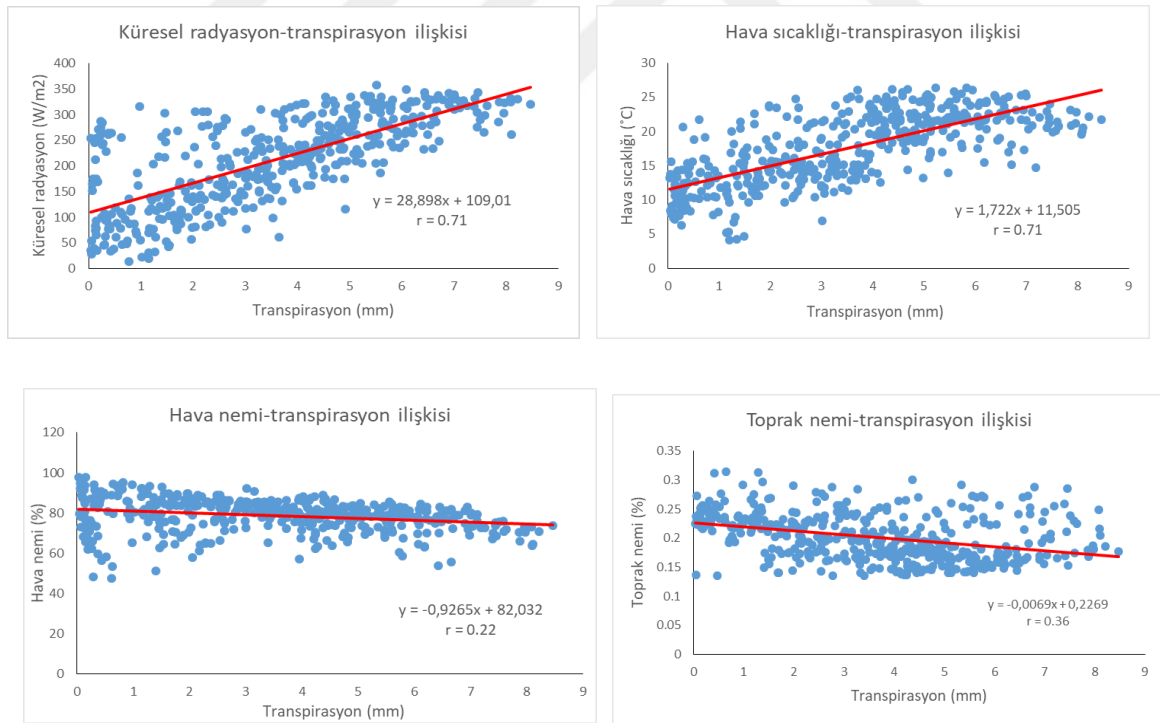
Transpirasyonu etkileyen faktörler çevresel faktörler ve fizyolojik faktörler olarak ikiye ayrılmıştır. Çevresel faktörlerin içerisinde bulunan rüzgar hızı, hava sıcaklığı, hava nemi, küresel radyasyon ve toprak neminin transpirasyon üzerindeki etkisinin anlaşılabilmesi için bu faktörlerin transpirasyonla aralarındaki korelasyon değerleri hesaplanmıştır. Hesaplamalar günlük ortalama değerler üzerinden yapılmıştır. Elde edilen bulgular Şekil 4.14 ve 4.15'te verilmiştir.



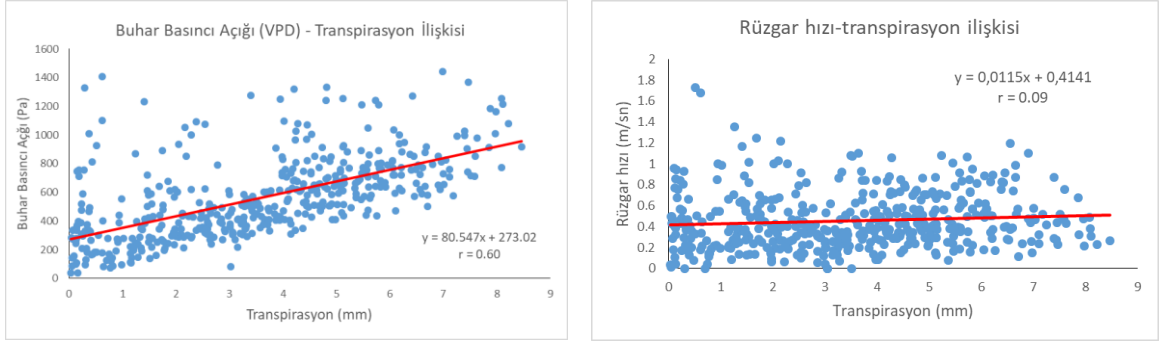
Şekil 4.14: Anadolu karaçamı meşçeresinin su tüketimi ile meteorolojik faktörlerin ilişkileri.



Şekil 4.14. (devam): Anadolu karaçamı meşceresinin su tüketimi ile meteorolojik faktörlerin ilişkileri.



Şekil 4.15: Sapsız meşe meşceresinin su tüketimi ile meteorolojik faktörlerin ilişkileri.



Şekil 4.15 (devam): Sapsız meşe meşçeresinin su tüketimi ile meteorolojik faktörlerin ilişkileri.

4.5.YAPRAK YÜZEY ALANI (LAI) ÖLÇÜMLERİ

Yaprak yüzey alanı ölçümleri 2016 yılında Anadolu karaçamı ve sapsız meşe meşçerelerinde her iki meşçereden de 7 sabit nokta alınarak haftalık bazda yapılmıştır. Sapsız meşe meşçeresinde yapraklar tamamen döküldükten sonra vejetasyon periyodu yeniden başlayana kadar ölçüm yapılmamıştır. Anadolu karaçamı meşçeresinde ise tüm yıl boyunca ölçümlere devam edilmiştir. Meşçerelerin yaprak yüzey indeksi ölçüm yapılan 7 noktanın ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Aylık yaprak yüzey indeksi verileri ise o aydaki dört ölçümün ortalaması alınarak değerlendirilmiştir.

4.5.1. Anadolu Karaçamı Meşçeresinde Yapılan Ölçümler

Anadolu karaçamı meşçeresinde yapılan yaprak yüzey alanı indeksi ölçümlerinde en düşük yaprak yüzey alanının Şubat ayında, en yüksek yaprak yüzey alanının ise Temmuz ayında olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 4.16). Yapılan ölçümlere göre Anadolu karaçamı her dem yeşil bir tür olmasına karşın, kış aylarında yaprakların bir kısmı dökülmekte ve meşçere kapalılığı %40 kadar azalmaktadır. (Tablo 4.14).

Tablo 4.14: Anadolu karaçamı meşçeresinde yaprak yüzey alanının aylara göre değişimi.

Yaprak Yüzey Alanı (m ² /m ²)												
Aylar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2016	0.59	0.44	0.56	0.85	0.9	0.97	1.11	1.06	0.95	0.87	0.74	0.71



Şekil 4.16: Anadolu karaçamı meşceresinin kapalılığının Temmuz ayındaki görünümü.

4.5.2. Sapsız Meşe Meşceresinde Yapılan Ölçümler

Sapsız meşe meşceresinde yapılan yaprak yüzey alanı ölçümlerine göre meşcerenin yaprak yüzey alanının en yüksek olduğu ay Temmuz ayıdır (Şekil 4.17). Kasım ayında yaprakların hızla dökülmesinin bir sonucu olarak en düşük yaprak yüzey alanı Kasım ayında ölçülmüştür (Tablo 4.15). Kasım ayının 15i ile 22'si arasında ağaçlar tamamen yapraksız duruma geçmektedirler.

Tablo 4.15: Sapsız meşe meşceresinde yaprak yüzey alanının vejetasyon periyodu boyunca değişimi.

Yaprak Yüzey Alanı (m ² /m ²)												
Aylar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2016	-	-	-	1.16	1.35	1.5	1.61	1.42	1.26	1.07	0.56	-



Şekil 4.17: Sapsız meşe meşceresinin kapalılığının Temmuz ayındaki görünümü.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

5.1. ELDE EDİLEN SONUÇLARIN LİTERATÜR VERİLERİ İLE KARŞILAŞTIRILMASI

Bitki özsuyu akış ölçümleri tarımsal sulama amacıyla bitkilerin su ihtiyacının belirlenmesi, kuraklığa dayanıklı tür araştırmaları, stomaların ve başka bitkisel organların çalışmalarının anlaşılması, odun yapısının farklılıklarını ortaya koyma, böcek ve diğer zararlıların odunda meydana getirdiği hasarı anlama, bitkiler arasında suyu verimli kullanan türlerin araştırılması gibi birçok amaca yönelik çalışmalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmalar incelendiğinde diğer ormancılık çalışmalarında da olduğu gibi, çoğunun çalışma alanına özgü sonuçlar olduğu ve genelleme yapmanın zorluğu ile karşılaşılmaktadır. Transpirasyon gibi atmosferdeki birçok etmenden ve bitkilerin fizyolojik-biyolojik özelliklerinden önemli miktarlarda etkilenen bir olguyu tüm iklim koşulları ve topoğrafik yapıları temsil edecek biçimde genele yaymak mümkün görünmemektedir. Bu nedenle literatürde bitkilerin su tüketimleri ile ilgili yüksek ve düşük değerler görülebilmektedir. Ancak, Wullschlegel ve diğ., (1998) 35 cinse ait 67 türün su tüketimlerini derledikleri çalışmada ağaçların birey bazında su tüketimlerinin genellikle günlük maksimum 10 kg ile 200 kg arasında değiştiğini belirtmişlerdir. Yapılan tez çalışmasında elde edilen değerler de bu değerler arasında yer almaktadır.

Elde edilen sonuçlar tür bazında incelendiğinde ise hem Anadolu karaçamından (*Pinus nigra* subsp. *pallasiana*) elde edilen hem de sapsız meşeden (*Quercus petraea*) elde edilen sonuçların literatürdeki birçok çalışmanın sonucu ile uyumlu olduğu görülmektedir. Çam türlerinde yapılan çalışmalar incelendiğinde Anadolu karaçamı ile ilgili bir veri bulunmamaktadır, bu nedenle Anadolu karaçamının ölçüm sonuçları diğer çam türleri ile karşılaştırılmıştır. Cermak ve diğ. (1995) Norveç'te yetişen sarıçam (*P. sylvestris* L.) ağaçları için günlük 13.1 kg, su tüketimi olduğunu ifade etmektedir. Wieser ve diğ. (2014) Avusturya'nın kurak bir vadisinde yaptıkları çalışmada sarıçam ağaçlarının günlük ortalama 14.5 kg ve günlük maksimum 25.4 kg su tükettiklerini belirtmiştir. Yine sarıçamın İsveç'te günlük maksimum 25 kg su tüketimi yaptığı ifade edilmektedir (Cienciala ve diğ., 2002). Bu araştırmaların sonuçlarına benzer şekilde Köstner ve diğ. (1996) Almanya'da yaptıkları çalışmada sarıçamda günlük maksimum 25 kg su tüketimi ölçmüşlerdir.

Louis ve diğ., (2005) ise Kanarya Adaları çamında yaptıkları ölçümlerde 18.2 ila 47.5 kg günlük su tüketimi ölçmüş ve bu değerin Akdeniz orman ekosistemindeki türlerin günlük su tüketiminden 2-3 kat daha düşük olduğunu belirtmiştir. Bu görece düşük değerlerle birlikte çam türlerinde oldukça yüksek su tüketimine de rastlanılabilmektedir. Örneğin yoğun işletmecilik faaliyetlerine konu olan bir çam ormanında “Slash” çamı (*Pinus elliottii* Engelm.) ve Güney çamında (*P. taeda* L.) kış mevsiminde sırasıyla günlük maksimum 75.1 kg ile 71.6 kg su tüketimi meydana geldiği ifade edilmektedir (Martin; 2000). Çam türleri içerisinde en yüksek su tüketimine sahil çamında (*P. pinaster* Ait.) rastlanılmaktadır. Loustau ve arkadaşları Portekiz’de sahil çamında yaptıkları su tüketimi ölçümlerinde günlük maksimum 75kg ile 275 kg arasında değişen sonuçlar bulmuşlardır (Loustau ve diğ., 1996).

Çam meşcerelerinin su tüketimleri incelendiğinde ise Norveç’te sarıçam meşceresinin 0.45 mm/gün su tüketimi olduğu ve bu değerin potansiyel evapotranspirasyonun yaklaşık %20’sine karşılık geldiği belirtilmektedir (Cermak ve diğ., 1995). Saugier ve diğ., (1997) boreal kuşakta yetişen bir banks çamı meşceresinin (*P. banksiana* Lamb.) günlük maksimum 1.8 mm su tüketimi olduğunu ifade etmektedir. Benzer şekilde Kanarya adalarında bir çam meşceresinin (*P. canariensis* Chr. Sm. ex. DC.) günlük maksimum 1.85 mm ve yıllık toplam 253 mm su tüketimi gerçekleştirdiği görülmektedir (Luis ve diğ. 2005).

Yukarıdaki literatür bilgileri ile karşılaştırıldığında; Anadolu karaçamının günlük su tüketiminin diğer çam türlerinden elde edilen sonuçların arasında kaldığı görülmektedir. En düşük su tüketimi değerleri sarıçamda görülmekle birlikte, bu ölçümlerin yapıldığı ülkeler genellikle kuzey ülkeler olup soğuk bir iklime sahiptirler. Diğer yandan sarıçam yayılış olarak yüksek rakımda ve soğuk iklimlerde yaşayabilen bir çam türü olarak bilinmektedir. Sarıçamın düşük su tüketimi değerleri iklim ve yükselti ile açıklanabilir. Çam türleri arasındaki en yüksek tüketimin sahil çamında kaydedilmiş olması da bu türün düşük rakımda ve sıcak iklim koşullarının hüküm sürdüğü, vejetasyon periyodunun da soğuk iklimlere nazaran daha uzun olduğu sahalarda yaşamasına bağlanabilir. Tez çalışmasının iki ağaç türünden biri olup ibreli türleri temsil etmesi düşünüldükçe seçilen Anadolu karaçamının su tüketimi ise literatürdeki sarıçamın tüketiminden yüksek, sahil çamının tüketiminden ise düşük bulunmuştur. Meşcerenin günlük ve yıllık tüketimleri de literatür bilgileri ile benzerlik göstermektedir. Ancak, çalışma sahasının iyi bonitete ve yüksek yağışa sahip olması burada büyük bir etken olarak karşımıza çıkmaktadır. Anadolu karaçamı zor koşullara dayanıklı bir tür olarak bilinmekte olup

Çalışmanın yapıldığı Atatürk Arboretumu ve Belgrad Ormanı doğal yayılış alanı değildir. Meşcereyi sahaya 1960 yılında dikim yoluyla getirilen bireyler oluşturmaktadır. Anadolu karaçamı Belgrad Ormanı yetiştirme koşullarından daha güçlü koşullarda ve daha az yıllık yağış alan yerlerde yetişebilmektedir. Dolayısıyla Anadolu karaçamının su tüketiminin daha güçlü yetiştirme ortamında ve yağışın daha az olduğu yerlerde, örneğin İç Anadolu koşullarında ölçülmesi hem kuraklığa dayanıklılık kabiliyetinin anlaşılması, hem de diğer çam türleriyle su tüketiminin karşılaştırılması açısından yararlı olacaktır.

Meşe türlerinin su tüketimine bakıldığında literatürde günlük maksimum 10 kg ile 400 kg arasında su tüketimi gerçekleştirebildikleri görülmektedir. Renninger ve Schafer (2012) kestane meşesi (*Quercus prinus* L.) ve kara meşede (*Q. velutina* Lam.) yaptıkları su tüketimi ölçümlerinde aynı sahada bulunan iki türden ilkinin günlük maksimum 29.2 kg, ikincisinin ise 41.6 kg su tüketimi gerçekleştirdiğini belirtmektedir. Wullschleger ve diğ. (2001) Amerika Birleşik Devletleri'nde yaptıkları ölçümlerde ak meşe (*Q. alba* L.) 76 kg günlük maksimum su tüketirken aynı sahada yetismekte olan kırmızı meşenin (*Q. rubra* L.) 46 kg günlük maksimum su tüketimi olduğunu belirtmektedir. Su tüketimi çalışmalarına konu olan meşe türlerinden saplı meşenin (*Q. robur* L.) Fransa'da kuraklık stresi altında su tüketimi günlük maksimum 10 kg olarak ölçülmüşken (Breda ve diğ., 1993a), Cermak 'da aynı türün Çekya'da su basar ormanda günlük maksimum 400 kg su tükettiğini ifade etmektedir (Cermak ve diğ., 1982). Bu iki örneğe bakılarak iklim ve topoğrafyanın ağaçların su tüketiminde ne denli rol oynadığı hakkında fikir sahibi olmak mümkündür. Nizinski ve Saugier ise (1989) Fransa'da yaptıkları çalışmada 120 yaşındaki bir sapsız meşe meşceresinin yıllık su tüketimini 288.4 mm olarak vermektedir. Bu değer bu çalışmada elde edilen değerlerden önemli ölçüde düşüktür.

İbrelili ve yapraklı türlerin transpirasyonunu birlikte değerlendiren çalışmalar az sayıda olmakla birlikte, bunlardan biri Poyatos ve diğ. (2005) tarafından İspanya'da gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmaya göre sarıçam tüylü meşeden önemli ölçüde daha yüksek su tüketmektedir (sırasıyla 3.7 mm/gün; 1.4 mm/gün; 239 mm/yıl; 110 mm/ yıl). Çalışmada elde edilen değerler bu çalışmada elde edilenlerle uyuşmamaktadır. Ancak bu çalışma kurağa yakın koşullarda gerçekleştirildiğinden (yıllık yağış: 205 mm) ve meşe türü de kuraklığa adapte olmuş meşe türlerinden olduğundan sonuçların farklı çıkması normaldir.

Tez çalışmasında yapraklı türleri temsilen seçilen sapsız meşenin su tüketimi literatürde meşe türlerinin su tüketimi için verilen değerlerin içinde kalmakla birlikte birçok çalışmanın

sonuçlarından yüksektir. Bu durumun sebepleri arasında karaçam meşceresinden farklı olarak sapsız meşenin Belgrad Ormanının doğal türü olması ve bulunduğu yetiştirme koşullarına adapte olmuş olması, çoğunluğunun sağlıklı bireylerden oluşması, Atatürk Arboretumu'nun korunaklı yapısından dolayı antropojenik etkinin sınırlı olması, toprak organik maddesinin zengin, iklimin yarı nemli olması ve vejetasyon periyodunun 8 aya yakın sürmesi gösterilebilir.

Diğer yandan saplı meşe örneğinde görülebileceği gibi aynı türde yapılan çalışmaların sonuçları arasında dahi yüksek fark olduğu, yapılan ölçümlerin araştırmanın yapıldığı sahayı temsil ettiği; sonuçların o sahadaki iklim, topoğrafya, toprak suyu koşulları, ağaç ve meşcere sağlığı, çap ve boy, meşcere karakteristiği gibi faktörlerin birlikte değerlendirilmesi ile anlam kazandığı, salt su tüketimi değerlerine odaklanılmaması gerektiği de ortaya çıkmaktadır (Aranda ve diğ., 2012).

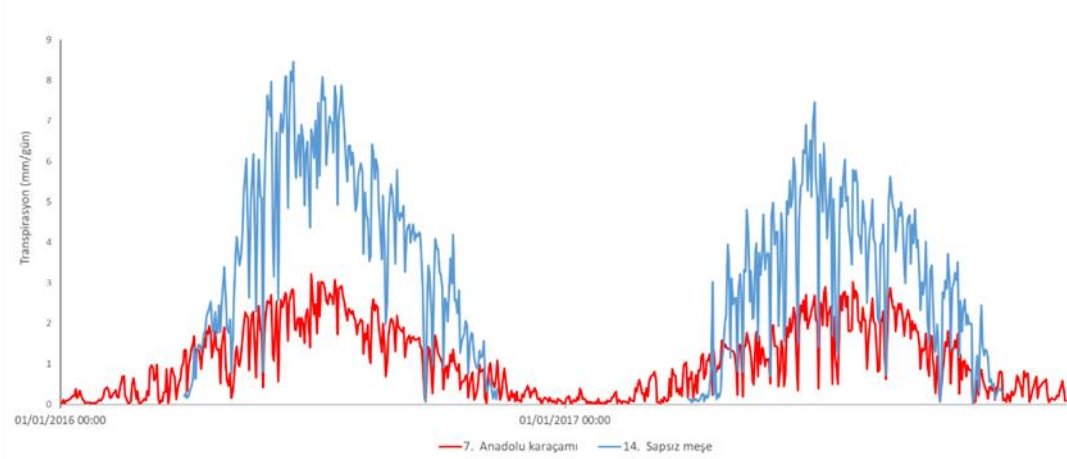
5.2. ANADOLU KARAÇAMI VE SAPSIZ MEŞE TÜRLERİNİN SU TÜKETİMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Yapılan tez çalışmasında ibrelili ve yapraklı türleri temsilen seçilen örnek ağaçların su tüketiminin karşılaştırılmasında tür faktörü dışındaki faktörler mümkün olduğunca sınırlı tutulmaya çalışılmıştır. Örnek alanların bakı, yükselti, iklim ve toprak özelliklerinde farklılık bulunmamaktadır. Bununla birlikte hektardaki göğüs yüzeyleri de birbirlerine oldukça yakındır (Anadolu karaçamı meşceresi 54.82 m²/ha, Sapsız meşe meşceresi 57.78 m²/ha). Bitki özsuyu akış ölçümlerinden elde edilen sonuçlar incelendiğinde sapsız meşe meşceresinin Anadolu karaçamı meşceresinden yıllık olarak yaklaşık iki kat daha fazla su tüketimi gerçekleştirdiği görülmektedir. Meşcerelerin günlük ortalama ve günlük maksimum tüketimleri karşılaştırıldığında ise aradaki fark dört kata kadar çıkmaktadır. Çalışma sahasında toprak neminin en düşük ve hava sıcaklıklarının en yüksek olduğu -su ihtiyacının en yüksek olduğu- yaz aylarında sapsız meşe meşceresi Anadolu karaçamı meşceresinden yaklaşık 2.7 kat daha fazla su tüketmektedir (Tablo 5.1).

Tablo 5.1: 2016-2017 yılları arasında Anadolu karaçamı ve sapsız meşe meşcereleri su tüketimi bilgileri.

Karaçam ve Meşe Meşcereleri Su Tüketimi (mm)	Yıl	Günlük ortalama tüketim	Günlük maksimum tüketim	Yıllık toplam tüketim	Kış tüketimi	İlkbahar tüketimi	Yaz tüketimi	Sonbahar tüketimi
Anadolu Karaçamı Meşceresi	2016	1.08	3.21	396.48	16.58	101.91	199.14	78.85
	2017	0.98	3.01	360.28	17.94	78.11	175.78	88.45
Sapsız Meşe Meşceresi	2016	4.00	8.46	908.33	-	178.92	545.88	183.53
	2017	3.04	7.46	695.23	-	115.30	415.51	164.42

Meşcerelerin su tüketimlerinin yıllık yağışa oranına bakıldığında 2016 yılında Anadolu karaçamı meşceresinin yıllık yağışın yaklaşık %36'sını, sapsız meşe meşceresinin ise yıllık yağışın yaklaşık %83'ünü terleme yoluyla atmosfere geri verdiği görülmektedir. Bu değerler 2017 yılında ise sırasıyla %34 ve %66 olarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar şüpheye yer bırakmayacak şekilde örnek alanlarda sapsız meşenin Anadolu karaçamından daha yüksek su tüketimine sahip olduğunu göstermektedir (Şekil 5.1).



Şekil 5.1: Anadolu karaçamı ve Sapsız meşe meşcerelerinin 2016 ve 2017 yıllarındaki su tüketimlerinin karşılaştırılması.

Sapsız meşenin Anadolu karaçamından fazla tüketmesinin nedenleri irdelendiğinde bazı noktalar dikkati çekmektedir. Bunlardan ilki odun yapılarındaki farklılıklardır. Sapsız meşe halkalı traheli odun yapısına sahip olup bu odun yapısına sahip türler içinde de en gelişmiş su iletim sistemlerinden birine sahiptir (Grainer ve diğ., 1994). Su iletimi karşılıklı uç uca gelen ve uçları açık olan traheler vasıtası yapılmaktadır. Ayrıca sapsız meşede su iletiminin önemli

bölümü son yılda meydana gelen en genç yıllık halka tarafından gerçekleştirilmektedir. Böylece daha önceden odunda oluşan kavitasyon ve embolizmaların su iletimine etkisi çok olmamaktadır. Anadolu karaçamı ise traheidler vasıtası ile su iletimi gerçekleştirilmektedir. Traheidlerin yapısı trahelere göre daha dar olup uçları kapalıdır. Su iletimi trahelerin yanlarında bulunan boşluklardan yapılmaktadır. Ayrıca kapalı tohumlu ağaçlar evrimsel açıdan açık tohumlulara göre daha gelişmiş olarak kabul edilmektedir. Bu nedenle yetiştirme koşullarının iyi, yağışın yüksek olduğu yerlerin yapraklı türlerin hakimiyetinde bulunduğu ifade edilmektedir. (Becker ve diğ., 1999). Sapsız meşenin odun yapısından kaynaklanan su iletimi avantajının yarı nemli iklim koşullarına sahip çalışma alanında Anadolu karaçamından daha yüksek su tüketimine yol açtığı düşünülmektedir. Catovsky ve diğ. (2002) ibreli (*Tsuga canadensis* (L.) Carriere) ve yapraklı (*Q. rubra* L. ve *Acer rubrum* L.) türlerin transpirasyonunu ve fotosentez miktarlarını bitki özsu suyu akış ölçüm yöntemi ile karşılaştırmış ve benzer şekilde yapraklı türlerin, yılın 3'te birini yapraksız geçirmelerine rağmen, ibreli türden 2 ila 10 kata kadar daha fazla su tükettiklerini, 3 ila 12 kata kadar ise daha fazla karbon birikimi yaptıklarını bulmuştur. Aynı araştırma iki yapraklı tür arasında da kırmızı meşe lehine 2 kata yakın su tüketimi farkı olduğunu ortaya koymaktadır. Sapsız meşenin odun yapısındaki avantajlarından birisi de, normalde su iletiminin büyük bir kısmını en genç yıllık halka vasıtası ile gerçekleştirirken, bu halkada embolizma oluştuğunda (özellikle don etkisi ile) daha eski yıllık halkaları tekrar faaliyete geçirebilme yeteneğidir (Grainer ve diğ., 1994). Böylece ağacın yaşama ve gelişimini devam ettirme şansı yükselmektedir. Ayrıca Epron ve Dreyer (1993) sapsız meşenin kuraklığa da oldukça dayanıklı bir tür olduğunu belirtmektedir.

Çalışma alanında sapsız meşe meşçeresinin su tüketiminin Anadolu karaçamı meşçeresinden yüksek olmasının bir başka nedeninin de meşçerelerin yaprak yüzey indeksindeki farklılık olduğu söylenebilir. Vejetasyon periyodu boyunca sapsız meşe meşçeresinde yaprak yüzey indeksinin Anadolu karaçam meşçeresinden daha yüksek olduğu görülmektedir. Yüksek yaprak yüzey indeksi ile birlikte daha fazla stoma bulunmakta, daha fazla CO₂ alımı mümkün olmakta bu durum da su tüketimini artırıcı etki yapmaktadır.

İki meşçere arasındaki en önemli farklardan biri Anadolu karaçamının her dem yeşil bir tür olmasına karşın sapsız meşenin yapraklarını döken bir tür olmasıdır. Diğer bir deyişle sapsız meşe yapraklarının olduğu vejetasyon periyodu boyunca su tüketimi gerçekleştirirken Anadolu karaçamı yıl boyunca CO₂ özümlemesi ve transpirasyon yapmaktadır. Ancak yapılan ölçümler

Anadolu karaçamı meşceresinin kapalılığının kış aylarında %40 dolaylarında azaldığını ve kış aylarında gerçekleştirdiği su tüketiminin yıllık su tüketiminin yaklaşık %3'ünü oluşturduğunu göstermiştir. Bu durumda Anadolu karaçamı kış aylarında ancak vitalitesini devam ettirecek düzeyde su tüketimi gerçekleştirmekte ve bu dönemdeki su tüketimi sapsız meşe ile aralarında bulunan farkı kapatmamaktadır.

Meşcerelerin su tüketiminde doğrudan bir etkisi olmasa da sapsız meşenin Belgrad Ormanı'nın doğal türü olmasına karşın Anadolu karaçamının doğal yetişme alanının dışına dikim yoluyla getirilmiş olması da meşcerelerin sağlığı ve su tüketiminde etkili olabilir.

5.3. TRANSPIRASYON VERİLERİNİN METEOROLOJİK FAKTÖRLER İLE İLİŞKİLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Ormanlık alanlarda transpirasyonun bilinmesi bilimsel ve ormancılık uygulamaları açısından önemlidir, çünkü enerji dengesinden su verimi ve odun üretimi gibi ekosistem hizmetlerine kadar birçok konuda bilgi sağlamaktadır. Ayrıca ormanlık alanlarda transpirasyon, evapotranspirasyonun en büyük bileşenidir (Tor-Ngern, 2017). Bu nedenle ormanlık alanlarda çevresel faktörler ile transpirasyon ilişkisi merak konusu olmuştur.

Transpirasyon üzerinde etkili olan çevresel faktörler atmosferdeki CO₂ miktarı hariç, güneş radyasyonu, hava sıcaklığı, hava nemi, rüzgar hızı, toprak nemi, yağış, atmosferdeki su buharı açığı gibi meteorolojik parametrelerdir.

Bu çalışmada meteorolojik faktörler ile transpirasyonun ilişkisi hem tek tek faktörler bazında ilişkisi, hem de bu faktörlerin transpirasyon üzerindeki bileşik etkisi incelenmiş ve bulunan sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

Anadolu karaçamı türünde transpirasyonla en yüksek ilişkiye sahip meteorolojik parametre güneş radyasyonudur ($r=0.87$). Solar radyasyon buharlaşma için gerekli enerjinin kaynağı olduğundan en yüksek ilişkinin bu faktörle çıkması olağandır. Transpirasyon ile ikinci en yüksek değeri veren ilişkinin hava sıcaklığı olduğu görülmektedir ($r=0.79$). Hava sıcaklığı yükseldikçe buharlaşma dolayısıyla transpirasyon artmaktadır. Üçüncü yüksek korelasyon değeri havadaki buhar basıncı açığı (vapour pressure deficit- VPD) ile transpirasyon arasında elde edilmiştir ($r=0.77$). Transpirasyonun meydana gelmesindeki sürükleyici güç havadaki buhar basıncı açığıdır. Dolayısıyla hava nem açısından doymun olmaktan ne kadar uzaksa, nem

oranı havaya göre yüksek olan yapraklardaki nemi buharlaştırmakta, ağaçlar da kaybolan bu nemi topraktan alarak dengelemeye çalışmaktadır. Anadolu karaçamı meşçeresinin transpirasyon miktarında önemli olan bir başka parametrenin de toprak nemi olduğu ortaya çıkmaktadır ($r=0.60$). Atmosferin buharlaştırıcı etkisine karşın transpirasyon, ancak topraktan yeterli su sağlanabildiğinde gerçekleşebilmektedir. Ancak burada toprak nemi ölçümlerinin karaçam meşçeresinde 10 cm, 25 cm ve 50 cm derinlikte yapıldığı unutulmamalıdır. Anadolu karaçamı meşçeresinde ağaçların kökleri daha derinlere ulaşmakta, ayrıca kapilarite ile toprak nemi yükselebilmektedir. Dolayısıyla toprak nemi ve transpirasyon arasındaki korelasyon yüksek olmakla birlikte, kök derinliğinde toprak nemi ölçümleri yapılmasının bu ilişkiyi daha iyi açıklayacağı düşünülmektedir. Toprak nemi ile transpirasyon arasındaki ilişkinin negatif yönlü olması bu durumu kanıtlar niteliktedir. Hava nemi ile transpirasyon arasındaki ilişki yukarıda verilen korelasyon değerlerine oranla oldukça düşüktür ($r=0.31$). Bu durumun çalışma alanının genel olarak nemli bir bölgede (yıllık ortalama %77) olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Nem oranında büyük değişimler olmadığından hava neminin karaçam meşçeresinde transpirasyon üzerinde çok etkili çıkmamaktadır. Karaçam meşçeresinde transpirasyonla en zayıf ilişki gösteren meteorolojik parametre ise rüzgar hızıdır ($r=0.18$). Çalışma sahasındaki rüzgar hızına bakıldığında yıllık ortalamasının 0.5 m/sn civarında olduğu görülmektedir, yani çok yüksek bir rüzgar hızı yoktur. Diğer taraftan hem sapsız meşe hem de Anadolu karaçamı meşçereleri görece korunaklı bir konumda olduklarından rüzgarın etkisine daha az maruz kalmaktadırlar. Nitekim Belgrad Ormanı'nda şiddetli bir yağıştan sonra rüzgarın etkisiyle çok sayıda devrilen ağaç görülürken bu duruma Atatürk Arboretumu'nda rastlanılmamaktadır. Rüzgar hızı ile transpirasyon ilişkisine bakıldığında negatif yönlü olduğu, yani rüzgar hızı arttıkça transpirasyonun azaldığı görülmektedir. Bu durum rüzgarın yapraklar üzerinde soğutucu bir etkisi olduğunu akla getirmektedir. Giriş bölümünde açıklandığı üzere, rüzgarın transpirasyon üzerinde hem arttırıcı hem de azaltıcı etkisi olabilmektedir. Arttırıcı etki genelde nemli havanın rüzgarın getirdiği nem açığı fazla olan hava kütlesi ile yer değiştirmesi sonucu oluşmaktadır. Çalışma alanında bu durum gözlenmemektedir.

Meteorolojik parametrelerin karaçam meşçeresinin transpirasyonu üzerindeki bileşik etkisinin anlaşılması için Minitab 17 programı ile çoklu regresyon analizi yapılmıştır (Tablo 5.2).

Tablo 5.2: Meteorolojik parametrelerin Anadolu karaçamı meşçeresinin transpirasyonu üzerindeki etki düzeyleri ($p < 0.05$).

Var.	R ²	Düzeltilmiş R ²	Mallows CP	Std. Sap.	R. Hızı	Hava Sıc.	Nem	Güneş Rad.	Top. Sıcak.	Top. Nem	VPD
1	77.9	77.8	710.9	0.4035				*			
1	63.6	63.5	1640.7	0.5179		*					
2	86.9	86.9	126.2	0.3105				*	*		
2	85.7	85.7	202.4	0.3242		*		*			
3	87.7	87.6	78.1	0.3015			*	*	*		
3	87.5	87.4	91.9	0.3040				*	*	*	
4	88.4	88.3	35.7	0.2931				*	*	*	*
4	88.3	88.2	40.0	0.2940			*	*	*	*	*
5	88.8	88.7	12.9	0.2885			*	*	*	*	
5	88.6	88.5	25.6	0.2901		*	*	*	*	*	
6	88.8	88.7	9.9	0.2877		*	*	*	*	*	*
6	88.8	88.7	13.9	0.2885	*		*	*	*	*	*
7	88.9	88.8	8.0	0.2871	*	*	*	*	*	*	*

Tabloda, Cp değeri en küçük, r^2 değeri en yüksek olan bileşke faktörlerin oluşturduğu varyasyon, transpirasyon ile meteorolojik parametreler arasındaki ilişkiyi en iyi açıklayan varyasyon olarak gösterilmektedir. Bu analize göre meteorolojik parametreler yardımıyla Anadolu karaçamı meşçeresinin transpirasyonunun %89 oranında açıklanabildiği görülmektedir. Tablodan görülebileceği gibi, solar radyasyon transpirasyonun üzerindeki en önemli etmendir ve meteorolojik faktörlerle transpirasyon arasındaki ilişkiyi tek başına %77 oranında ($r^2=77.9$) açıklamaktadır. Diğer parametrelerin de katılmasıyla bu oran %88.9'a kadar yükselmektedir. Bu verilerden yararlanılarak Anadolu karaçamı meşçeresinin transpirasyonunun meteorolojik parametreler kullanılarak tahmin edilebilmesi için aşağıdaki denklem oluşturulmuştur. Ancak, bu denklemin meşçere transpirasyonunu %89 doğrulukla tahmin edebildiği unutulmamalıdır.

$$T = -0.728 - 0.660A + 0.01164B - 0.00812C + 0.005028D + 0.05364E + 2.635F + 0.000217G \quad (5.1)$$

Denklemden; T, transpirasyonu (mm/gün), A, rüzgar hızını (m/sn), B, hava sıcaklığını (°C), C, hava nemini (%), D, solar radyasyonu (W/m²), E, toprak sıcaklığını (°C), F: hacimsel toprak nemini (%) ve G, buhar basıncı açığını (Pa) temsil etmektedir.

Sapsız meşe meşceresinde transpirasyonla meteorolojik parametreler arasında yapılan analizlerde ilişki sıralaması karaçam meşceresindekilerle aynı olmakla birlikte, bu ilişkinin korelasyon değerleri daha düşüktür. Transpirasyonla güneş radyasyonu arasında $r=0.71$, hava sıcaklığı arasında $r=0.71$, buhar basıncı açığı arasında $r=0.60$, toprak nemi arasında $r=0.36$, hava nemi arasında $r=0.22$ ve rüzgar hızı arasında $r=0.09$ değerleri bulunmuştur. Bu parametrelerin transpirasyon üzerindeki fonksiyonları daha önce açıklandığından tekrar edilmeyecektir. Burada dikkat çekici husus, sapsız meşe meşceresinde transpirasyon ile meteorolojik parametreler arasındaki ilişkilerin değerlerinin, Anadolu karaçamı meşceresinden düşük olmasıdır. Hatırlanacağı gibi transpirasyon üzerinde bitkilerin odun yapısı, stoma özellikleri, kök yapısı gibi fizyolojik farklılıkları da etkili olmaktadır. Sapsız meşenin meteorolojik parametreler ile ilişkisinin Anadolu karaçamından düşük olması, bu türde fizyolojik parametrelerin transpirasyon üzerinde karaçamdan daha yüksek oranda etkiye sahip olduğunu düşündürmektedir. Bir başka deyişle, sapsız meşe meteorolojik faktörlerdeki değişimden Anadolu karaçamına göre daha az etkilenmektedir. Nitekim Eilmann ve diğ. (2009) sarıçam (*P. sylvestris* L.) ile tüylü meşenin (*Q. pubescens* Willd.) kuraklığa dayanıklılıklarına dair yaptıkları çalışmada sarıçamın toprak nemindeki değişime daha duyarlı olduğunu ve tüylü meşenin kuraklığa daha dayanıklı bir tür olduğunu belirtmektedir.

Meteorolojik parametrelerin sapsız meşe meşceresinin transpirasyonu üzerindeki bileşik etkisinin anlaşılması için yapılan çoklu regresyon analizinin sonuçları Tablo 5.3'te verilmiştir.

Tablo 5.3: Meteorolojik parametrelerin sapsız meşe meşceresinin transpirasyonu üzerindeki etki düzeyleri ($p<0.05$).

Var.	R ²	Düzeltilmiş R ²	Mallows CP	Std. Sap.	Rüz. Hızı	Hava Sıcak.	Nem	Güneş Rad.	Top. Sıcak.	Top. Nem	VPD
1	51.1	50.9	606.6	1,4857				*			
1	51.2	51.0	608.6	1,4871		*					
2	78.4	78.3	18.9	0,9893				*	*		
2	72.6	72.5	144.9	1,1146		*		*			
3	78.8	78.6	13.4	0,9825				*	*	*	
3	78.5	78.4	18.4	0,9877	*			*	*		
4	78.9	78.7	12.3	0,9803			*	*	*	*	
4	78.9	78.7	13.1	0,9811		*		*	*	*	
5	79.1	78.9	9.3	0,9760	*		*	*	*	*	
5	79.0	78.8	12.0	0,9789	*	*		*	*	*	
6	79.3	79.0	7.8	0,9732	*	*	*	*	*	*	
6	79.2	78.9	10.3	0,9760	*		*	*	*	*	
7	79.4	79.1	8.0	0,9724	*	*	*	*	*	*	*

Meteorolojik parametrelerin sapsız meşe meşceresinin transpirasyonu üzerindeki bileşik etkilerine bakıldığında, meteorolojik parametrelerin meydana gelen transpirasyonu %79.4 ($r^2=79.4$) oranında açıklayabildiği görülmektedir (Tablo 5.3). Bu değer parametrelerin tek başına etkilerinde olduğu gibi Anadolu karaçamı meşceresindeki değerden düşüktür. Bu analizde transpirasyon üzerindeki en etkili faktörün hava sıcaklığı olduğu görülmektedir. Hava sıcaklığı tek başına sapsız meşe meşceresinin transpirasyonun %51.2'sini açıklayabilmektedir. Güneş radyasyonu ise hava sıcaklığının hemen arkasından ikinci sırada gelmekte ve tek başına meşcere transpirasyonun %51.1'ini açıklamaktadır. Diğer faktörlerin de denkleme dahil edilmesiyle bu oran %79'a kadar yükselmektedir.

Yukarıdaki tablodan yararlanılarak ölçülmüş meteorolojik parametreler yardımıyla sapsız meşe meşceresinin transpirasyonunu tahmin etmek üzere bir denklem geliştirilmiştir:

$$T = -4.365 - 0.555A + 0.0442B - 0.01670C + 0.013419D + 0.2678E + 4.00F + 0.000203G \quad (5.2)$$

Denklemden; T, transpirasyonu (mm/gün), A, rüzgar hızını (m/sn), B, hava sıcaklığını (°C), C, hava nemini (%), D, solar radyasyonu (W/m^2), E, toprak sıcaklığını (°C), F: hacimsel toprak nemini (%) ve G, buhar basıncı açığını (Pa) temsil etmektedir.

Sonuç olarak, her iki meşcere için de transpirasyonun gerçekleşmesinde en önemli ve etkili parametrenin güneş radyasyonu olduğu söylenebilir. İkinci etkili parametre ise hava sıcaklığıdır. Sapsız meşe meşceresi için güneş radyasyonu ile hava sıcaklığı aynı oranda "r" değerine sahiptir. Su basıncı açığı da transpirasyon üzerinde etkili olan parametrelerden biri olarak öne çıkmaktadır. Toprak nemi ise Anadolu karaçamı meşceresi için önemli olmakla birlikte sapsız meşe meşceresi için aynı önemi göstermemektedir. Breda ve diğ. (1993b) sapsız meşenin çok iyi bir kök sistemi olduğunu ve toprak nemindeki azalmaya rağmen transpirasyona devam edebildiğini belirtmektedir. Bu durumda sahanın doğal türü olan meşenin aynı zamanda derin ve iyi kök yapabilen türlerden olmasının etkili olduğu söylenebilir. Bovard ve diğ. (2005)'e göre derin köklü türlerin toprak nemindeki değişime tepkileri daha az olmaktadır. Meşe türlerinin ibrelilere karşı kuraklığa daha dayanıklı olarak gösterilmeleri de bu ilişkinin zayıflığını açıklamak için önemlidir (Eilmann ve diğ. 2009). Sapsız meşenin ise meşe türleri içinde dahi kuraklığa dayanıklı olduğu belirtilmektedir (Breda ve diğ. 1993b).

Yapılan analizlerden sapsız meşenin meteorolojik etmenlerden daha az etkilendiği ortaya çıkmaktadır. Bu durum kapalı tohumluların açık tohumlulara göre daha gelişmiş olmaları ile açıklanabilir. Ayrıca sapsız meşe yörenin doğal türü olup uzun yıllardır yöredeki iklim şartlarına adapte olmuştur. Anadolu karaçamı ise yörenin doğal türü değildir. Bu durumun onu dış faktörlerin etkisine daha açık hale getirdiği düşünülmektedir.

5.4. ORMAN AĞAÇLARININ SU TÜKETİMLERİNİN HAVZA YÖNETİMİ ÇALIŞMALARI AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Havza yönetimi uygulamaları havzadaki sorunlara göre yapısal mühendislik uygulamalarını, bitki amenajmanı uygulamalarını ya da her ikisini birden içerebilir (Özhan, 2004). Bitki amenajmanı uygulamaları genellikle havzanın su verimini artırmak amacıyla yapılmaktadır. Bir havzada topoğrafyayı ve iklim şartlarını insan eliyle değiştirmek mümkün olmadığından havzada vejetasyon yönetimiyle su verimi bir dereceye kadar artırılabilir.

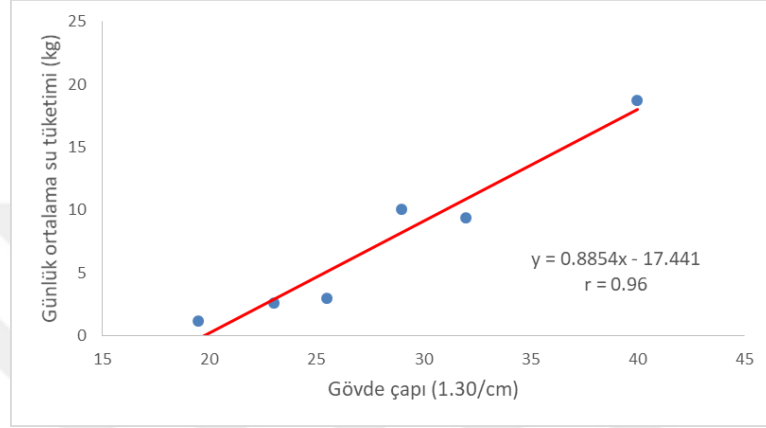
Bir havzada vejetasyon yönetimiyle su veriminin artırılması çalışmalarına, su üretim havzalarında yapılacak ağaçlandırmalarda intersepsiyonla su kaybını azaltmak için ibrelili yerine geniş yapraklı ağaçların tercih edilmesi örnek olarak verilebilir (Çepel, 1993; Özhan, 2004).

Havzalarda su verimini artırmak amacıyla yapılan vejetasyon yönetimi çalışmalarından bir başkası da vejetasyon örtüsünün kısmen ya da tamamen kaldırılmasıdır. Bosch ve Hewlett (1982) 94 vejetasyon yönetimi araştırmasının sonuçlarını derledikleri çalışmalarında; bu çalışmanın yapıldığı alana benzer koşullarda, dere akışında anlamlı bir artış görmek için vejetasyonun en az %20'sinin traşlanması gerektiğini, bu değerden sonra ise alandan çıkarılacak her %10'luk vejetasyon örtüsüne karşın su veriminde çayırılık-fundalık alanlarda 10 mm, geniş yapraklılarda 25 mm, ibrelilerde ise 40 mm artış görülebileceğini ifade etmektedir.

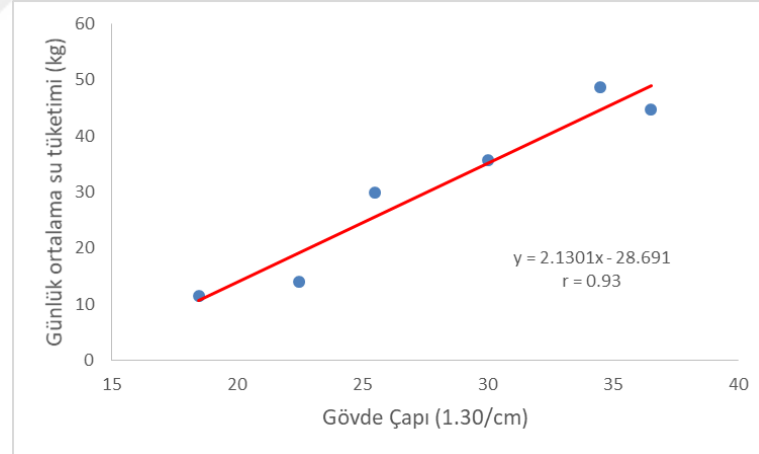
Belgrad Ormanı'nda yapılan benzer bir çalışmada geniş yapraklı ormanda yapılan %11'lik aralamanın kış aylarındaki su verimine en az 8 mm etkisi olduğu ifade edilmektedir (Serengil ve diğ., 2007). Diğer yandan yapılan aralamadan sonra meşcerede kalan ağaçların transpirasyonları da artmaktadır. Örneğin Lagergren ve diğ. (2008) İsveç'te %24 aralama yaptıkları bir çam-göknar karışık ormanında meşcere transpirasyonun aralamadan sonra %16 oranında arttığını belirtmektedir.

Yukarıda verilen örneklerden yola çıkarak su verimini artırmak amacıyla vejetasyon yönetimi yapmak için havzada bulunan vejetasyonun su tüketiminin bilinmesi önemli bir faktör olarak karşımıza çıkmaktadır.

Tek türün hakimiyetindeki saf meşcerelerde ağaç çapı ile su tüketimi arasında güçlü bir ilişki bulunmaktadır (Şekil 5.2 ve 5.3).



Şekil 5.2: Anadolu karaçamı meşceresinde gövde çapı-su tüketimi ilişkisi.



Şekil 5.3: Sapsız meşe meşceresinde gövde çapı-su tüketimi ilişkisi.

Buradan yola çıkarak su verimini artırmak amacıyla yapılacak aralama çalışmalarında bölmeden çıkarılacak bireylerin yüksek çap sınıfındaki ağaçlardan seçilmesinin su verimine daha fazla etki edeceği söylenebilir. Bu tez çalışmasının sonuçlarında görülen aynı türde kabuklu çapın iki katına çıkmasına karşılık su tüketiminin 7 kata çıkması (Anadolu karaçamı meşceresi) bu iddiayı desteklemektedir. Sapsız meşe meşceresinde ise kabuklu çap iki katına çıktığında su tüketimi yaklaşık 4 kat artmaktadır.

Diğer taraftan eğer meşcere farklı türlerin belirli oranlarda bulunarak meydana getirdikleri bir meşcere ise, bir başka deyişle karışık meşcere ise, su tüketimi doğrudan gövde çapı ile değil, o türe ait diri odun yüzeyi/meşcere alanı oranına bağlı olarak değişmektedir. Örneğin Wullschleger ve diğ. (2001) çalışma alanının gövde hacmi olarak %27'sini kaplayan kestane meşesinin, meşcere su tüketiminde %16 oranında paya sahip olduğunu, alanın %12'sini kaplayan kırmızı akçaağacın ise toplam meşcere su tüketiminin %26'sını gerçekleştirdiğini belirtmektedir. Bu meşcerede kırmızı akçaağacın diri odun yüzeyi, kestane meşesinden daha yüksektir.

Bu durumda karışık meşcerelerde su verimini artırmak amacıyla yapılacak aralama kesiminde meşcerede bulunan ağaç türlerinin diri odun oranlarının da hesaba katılması su verimini artırmada daha verimli sonuçlar alınmasına imkan tanıyacaktır.

Ülkemizde baraj çevresi/su üretim havzası ağaçlandırmalarında ise sadece intersepsiyonun hesaba katılarak yapraklı türlerin dikilmesinin tavsiye edilmesi de sorgulanmalıdır. Bu tavsiyede ibreli türlerin yapraklarını dökmemesi, yapraklı türlerin ise kış mevsiminde yapraksız olmaları esas alınmaktadır. Ancak yapılan bu çalışma ibreli türlerin de kışın yapraklarını döktüklerini (meşcere kapalılığı %40 azalmıştır) göstermiştir. Ayrıca sıcaklıklar kış mevsiminde düşük olduğundan intersepsiyon da yaz mevsimine göre oldukça düşük olacaktır. Diğer taraftan bu çalışmanın sonuçlarına göre su ihtiyacının maksimum olduğu ve toprak neminin az olduğu yaz aylarında yapraklı tür ibreli türe göre iki misli su tüketmekte, yıllık toplamda ise bu oran iki buçuk kata yaklaşmaktadır. Özhan (1982)'a göre Belgrad Ormanı'nda karaçam yıllık yağışın % 28.3'ünü, meşe ise 15.6' sını intersepsiyonla atmosfere geri vermektedir. Aynı türlerin transpirasyonlarına bakıldığında ise yıllık yağışın sırasıyla %35 ile %75.5 oranında terleme ile atmosfere geri verildiği görülmektedir. Buradan yola çıkılarak su üretim havzalarında ağaçlandırma için tür tercihinde sadece intersepsiyonun değil, transpirasyonun da dikkate alınarak planlama yapılmasının su verimi açısından daha doğru olacağı sonucuna varılabilir.

Tez çalışmasından elde edilen sonuçlar özetle;

- Anadolu karaçamı bireylerinin yarı nemli iklim koşullarında çap sınıflarına bağlı olarak günlük ortalama 3.25-28.95 kg arasında su tüketimi gerçekleştirdiklerini, bir ağacın günlük tüketimin 76.31 kg 'ye, yıllık toplam tüketiminin ise 10596 kg' ye ulaşabildiğini;

- Anadolu karaçamı meşceresinin günlük ortalama 0.98-3.21 mm arasında su tüketimi olduğunu, yıllık toplam 396 mm su tüketimi yapabildiğini (3960 ton/ha) bu değerin yıllık yağışın yaklaşık %35'inin transpirasyon ile atmosfere geri verildiğini ifade ettiğini,
- Sapsız meşe meşceresindeki bireylerin su tüketiminin aynı çaptaki Anadolu karaçamı meşceresindeki bireylere göre çok daha yüksek olduğunu, çap sınıflarına bağlı olarak günlük ortalama su tüketimlerinin 15.43-82.27 kg arasında değiştiğini, bir ağacın günlük su tüketiminin 162 kg' ye, yıllık toplam su tüketiminin ise 18676 kg' ye ulaşabildiğini,
- Sapsız meşe meşceresinin günlük ortalama 3.04 -8.25 mm arasında su tüketimi olduğunu, meşcerenin vejetasyon periyodu boyunca su tüketiminin 908 mm'e ulaşabildiğini (9080 ton/ha), bu durumda yıllık yağışın yaklaşık %83'ünün transpirasyon yoluyla atmosfere geri verildiğinin anlaşıldığını,
- Sapsız meşe meşceresinin çalışma alanında aynı koşullarda Anadolu karaçamı meşceresinden yaklaşık 2.5 kat daha fazla su tüketimine sahip olduğunu,
- Saf meşcerelerde kabuklu gövde çapı ile su tüketimi arasında güçlü bir ilişki bulunduğunu, bununla birlikte kabuklu çapları arasında iki misli fark olan bireylerin su tüketimleri arasında Anadolu karaçamında 7 kata kadar fark oluştuğunu, sapsız meşe meşceresinde ise aynı durumda iki birey arasında 3-4 misli fark olduğunu;
- Meşcerenin su tüketiminin büyük bölümünün geniş çaplı ve hakim konumdaki ağaçlar tarafından gerçekleştirildiğini,
- Anadolu karaçamı türünün meteorolojik parametrelerdeki değişimlere daha duyarlı olduğunu göstermiştir.

Gelecekteki çalışmalara yol göstermesi bakımından aşağıdaki öneriler sunulabilir:

1. Türkiye'de saf meşcerelerin yanısıra karışık meşcerelerin su tüketiminin de ölçülmesi,
2. Kapalı tohumlu ağaç türlerinde halkalı traheli ve dağınık traheli odun yapısına sahip ağaçların aynı şartlarda su tüketiminin belirlenmesi,
3. Endüstriyel plantasyonlarda birim su tüketimine karşın en yüksek çap artımı yapan türlerin belirlenmesi, özellikle yarı kurak sahalarda toprak-su-bitki ilişkileri üzerinde araştırmalar yapılması,
4. Kuraklığa dayanıklı türlerin tespiti için bitki özsuyu akış ölçüm yöntemlerinin kullanılması,

5. Literatürde meşcerenin 3'te birine kadar su tükettiği belirtilen diri örtünün ülkemiz koşullarında su tüketiminin araştırılması,
6. Su verimini artırmak amacıyla yapılacak silvikültürel işlemlerde, aynı etanın farklı çap sınıflarındaki ağaçların seçilmesiyle meşcereden çıkarılmasının su verimine olan etkisi konularının araştırılması yararlı olacaktır.



KAYNAKLAR

- Akkemik, Ü., 2010. *Ağaç fizyolojisi ders notları*. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Orman Botaniği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., 1998. *Crop evapotranspiration-guidelines for computing crop water requirements*, FAO Irrigation and Drainage Paper 56, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome.
- Anonim, 2017. *Elektrik*, <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Elektrik>, [Ziyaret Tarihi: 13.06.2018].
- Anonim, 2018a. *Toprak ve su kaynakları*, <http://www.dsi.gov.tr/toprak-ve-su-kaynaklari>, [Ziyaret Tarihi: 15.06.2018].
- Anonim, 2018b. Nüfus projeksiyonları 2018-2080, <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=30567>, [Ziyaret Tarihi 15.06.2018].
- Aranda, I., Forner, A., Cuesta B., Valladares, F., 2012. Species-specific water use by forest tree species: from the tree to the stand. *Agricultural Water Management*, 114: 67-77.
- Balcı, A.N., Özyuvacı, N., 1974. Present status of education, training research and prospect in watershed management in Turkey. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, Seri A, 24(2): 108-125.
- Becker, P., Tyree, M.T., Tsuda, M., 1999. Hydraulic conductances of angiosperms versus conifers: similar transport sufficiency at the whole-plant level. *Tree Physiology* 19 (7): 445-452.
- Benyon, R.G., 1999. Nighttime water use in an irrigated *Eucalyptus grandis* plantation. *Tree Physiology* 19: 853-859.
- Bosch, J.M., Hewlett, J.D., 1982. A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation change on water yield and evapotranspiration. *Journal of Hydrology* 55(1/4): 3-23.
- Breda, N., Cochard, H., Dreyer, E., Grainer, A., 1993a. Water transfer in mature oak stand (*Quercus petraea*): seasonal evolution and effects of a severe drought. *Canadian Journal of Forest Research* 23:1136-1143.
- Breda, N., Cochard, H., Dreyer, E., Grainer, A., 1993b. Field comparison of transpiration, stomatal conductance and vulnerability to cavitation of *Quercus petraea* and *Quercus robur* under water stress. *Annals of Forest Science* 50:571-582.
- Brodribb, T.J., Holbrook, M.N., Zwieniecki, M.A., Palma, B., 2005. Leaf hydraulic capacity in ferns, conifers and angiosperms: impacts on photosynthetic maxima. *New Phytologist* 165: 839-846.
- Busch, S.E., Pataki, E.D., Hultine, R.K., West, A.G., Sperry, J.S., Ehleringer, J.R., 2008. Wood anatomy constrains stomatal responses to atmospheric vapor pressure deficit in irrigated, urban trees. *Oecologia* 156: 13-20.
- Catovsky, S., Halmbrook, N.M., Bazaz, F.A., 2002. Coupling whole-tree transpiration and canopy photosynthesis in coniferous and broad-leaved tree species. *Canadian Journal of Forest Research* 32: 295-309.

- Cermak, J., Deml, M., Penka, M., 1973. A new method of sap flow rate determination in trees. *Biologia Plantarum* 15 (3): 171-178.
- Cermak, J., Ukehl, J., Kucera, J., Penka, M., 1982. Sap flow rate and transpiration dynamics in the full-grown oak (*Quercus robur* L.) in the floodplain forest exposed to seasonal floods as related to potential evapotranspiration and tree dimensions. *Biologia Plantarum* 24 (6): 446-460.
- Cermak, J., Cienciala, E., Kucera, J., Lindroth, A., Bednarova, E., 1995. Individual variation of sap flow rate in large pine and spruce trees and stand transpiration: a pilot study at the central NOPEX site. *Journal of Hydrology* 168: 17-27.
- Cermak, J., Kucera, J., Nadezhdina, N., 2004. Sap flow measurements with some thermodynamic methods, flow integration within trees and scaling up from sample trees to entire forest stands. *Trees* 18: 529-546.
- Cienciala, E., Mellander, P.E., Kucera, J., Oplustilova, M., Ottoson-Löfvenius, M., Bishop, K., 2002. The effect of a north-facing forest edge on tree water use in a boreal Scots pine stand. *Canadian Journal of Forest Research* 32: 693-702.
- Cochard, H., Breda, N., Granier, A., Whole tree hydraulic conductance and water loss regulation in *Quercus* during drought: evidence for stomatal control embolism? *Annals of Forest Science* 53: 197-206.
- Çakır, M., 2013. *Toprak eklem Bacaklılarının, kayın ve meşe ekosistemindeki mevsimsel değişimi ve ölü örtü ayrışmasına etkileri*, Doktora Tezi. İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Çepel, N., 1986. Barajların yukarı yağış havzaları için arazi kullanım planlamasının ekolojik esasları. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, Seri B, 36 (2): 1727.
- Denmead, O.T., Shaw, R.H., 1962. Availability of soil water to plants as affected by soil moisture content and meteorological conditions. *Agronomy Journal* 54 (5): 385-390.
- Eilmann, B., Zwiefel, R., Buchmann, N., Fonti, P., Rigling, A., 2009. Drought-induced adaptation of the xylem in Scots pine and pubescent oak. *Tree Physiology* 29: 1011-1020.
- EMS, 2014. Dendrometer increment sensor DR 26 data sheet.
- Epron, D., Dreyer, E., 1993. Long-term effects of drought on photosynthesis of adult oak trees (*Quercus petraea* (Matt. Liebl. and *Quercus robur* L.) in a natural stand. *New Phytologist* 125: 381-389.
- Falkenmark, M., 1989. The massive water scarcity threatening Africa - why isn't being addressed. *Ambio* 18 (2): 112-118.
- Grainer, A., 1988. Evaluation of transpiration in a Douglas-fir stand by means of sap flow measurements. *Tree Physiology* 3(4): 309-320.
- Grainer, A., Bobay, V., Gash, J.H.C., Saugier, B., Shuttleworth, W.J., 1990. Vapour flux density and transpiration rate comparisons in stand of Maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.) in Les Landes forest. *Agricultural and Forest Meteorology* 51: 309-319.
- Grainer A., Anfodillo, T., Sabatti, M., Cochard, H., Dreyer, E., Tomasi, M., Valentini, R., Breda N., 1994. Axial and radial water flow in the trunks of oak trees: a quantitative and qualitative analyses. *Tree Physiology* 14: 1383-1396.

- Hacke, U.G., Sperry, J.S., Wheeler, J.K., Castro L., 2006. Scaling of angiosperm xylem structure with safety and efficiency. *Tree Physiology* 26:689-701.
- Hetherington, A. M., Woodward, F. I., 2003. The role of stomata in sensing and driving environmental change. *Nature* 424: 901-908.
- Jackson, D.S., Gifford, H.H., Hobbs, I.W., 1972. Daily transpiration rates of radiate pine. *New Zealand Journal of Forestry Science* 3 (1): 70-81.
- Jones, H.M., 1998. Stomatal control of photosynthesis and transpiration. *Journal of Experimental Botany* 49: 387-398.
- Jordan, C.F., Kline, J.R., 1977. Transpiration of trees in a tropical rainforest. *Journal of Applied Ecology* 14:853-860.
- Kantarcı, D., 1980. *Belgrad ormanı toprak tipleri ve orman yetiştirme ortamı birimlerinin haritalanması esasları üzerine araştırmalar*, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları No: 275, İstanbul.
- Keenan, T.F., Hollinger, D.Y., Bohrer, G., Dragoni, D., Munger, J.W., Schmid, H.P., Richardson, A.D., 2013. Increase in forest water-use efficiency as atmospheric carbon dioxide concentrations rise. *Nature* 499: 324-327.
- Karaöz, M.Ö., 1991. Atatürk arboretumu'ndaki bazı iğne yapraklı plantasyonlarda ölü örtünün kimyasal özellikleri üzerine araştırmalar. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi* 41: 68-86.
- Köstner, B., Biron, P., Siegwolf, R., Grainer, A., 1996. Estimates of water vapor flux and canopy conductance of Scots pine at the tree level utilizing different xylem sap flow methods. *Theoretical and Applied Climatology* 53: 105-113.
- Kramer, P.J., Boyer, J.S., 1995. *Water relations of plants and soils*, Academic Press, San Diego, California, U.S.A.
- Kucera, J., Cermak, J., Penka, M., 1977. Improved thermal method of continual recording the transpiration flow rate dynamics. *Biologia Plantarum* 19: 413-420.
- Kume, T., Tsuruta, K., Komatsu, H., Shinohara, Y., Katayama, A., Ide, J., Otsuki, K., 2016. Differences in sap flux-based stand transpiration between upper and lower slope positions in a Japanese cypress plantation watershed. *Ecohydrology* 9: 1105–1116.
- Lagergren, F., Lankreijer, H., Kucera, J., Cienciala, E., Mölder, M., Lindroth, A., 2008. Thinning effects on pine-spruce forest transpiration in central Sweden. *Forest Ecology and Management* 255: 2312- 2323.
- Limousin, J.M., Rambal, S., Ourcival, J.M., Rocheteau, A., Joffre, R., Rodriguez-Cortina, R., 2009. Long-term transpiration change with rainfall decline in a Mediterranean *Quercus ilex* forest. *Global Change Biology*, 15: 20163-2175.
- Loustau, D., Berbigier, P., Roumagnae, P., Arruda-Pacheco, C., David, J.S., Ferreira, M.I., Pereira, J.S., Tavares, R., 1996. Transpiration of a 64-year-old maritime pine stand in Portugal. *Oecologia* 107: 33-42.
- Luis, V.C., Jimenez, M.S., Morales, D., Kucera, J., Wieser, G., 1995. Canopy transpiration of a Canary Islands pine forest. *Agricultural and Forest Meteorology* 135:117-123.

- Martin, T.A., 2000. Winter season tree sap flow and stand transpiration in an intensively-managed loblolly and slash pine plantation. *Journal of Sustainable Forestry* 10 (1-2): 155-163.
- Nadezhdina, N., Vandegehuchte, M.W., Steppe, K., 2012. Sap flux density measurements based on the heat field deformation method. *Trees* 26: 1439-1448.
- O'brien, J.J., Oberbauer, S.F., Clark, D.B., 2004. Whole tree xylem sap flow responses to multiple environmental variables in a wet tropical forest. *Plant, Cell and Environment* 27: 551-557.
- Ouyang, L., Zhao, P., Zhu, L., Zhang, Z., Zhao, X., Ni, G., 2017. Difference in response of water use to evaporative demand for codominant diffuse-porous versus ring porous tree species under N addition in a temperate forest. *Ecohydrology* 10:e1829.
- Özhan, S., 1982. *Belgrad ormanındaki bazı meşcerelerde evapotranspirasyonun deneysel olarak saptanması ve sonuçların ampirik modellerle karşılaştırılması*. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, Yayın No: 311, İstanbul-Türkiye.
- Özhan, S., 2004. *Havza amenajmanı*. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, İ.Ü. Rektörlük Yayın No: 4510, Orman Fakültesi Yayın No: 481, İstanbul-Türkiye.
- Özturna, A., 2013. *Atatürk Arboretumu (İstanbul) topraklarının toprak kaynakları için Dünya Referans Temeli'ne göre sınıflandırılması*. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Özyuvacı, N., 1999. *Meteoroloji ve klimatoloji*. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları. Rektörlük No: 4196, Fakülte No: 460, İstanbul.
- Pallardy, S.G., 2008. *Physiology of woody plants*. Academic Press, San Diego, California, USA.
- Parkhurst, D.F., Loucks, O., 1972. Optimal leaf size in relation to environment. *Journal of Ecology*, 60 (2): 505-537.
- Peramaki, M., Vesala, T.M., Nikinimaa, E., 2005. Modelling the dynamics of pressure propagation and diameter variation in tree sapwood. *Tree Physiology* 25: 1091-1099.
- Poyatos, R., Llorens, P., Gallart, F., 2005. Transpiration of montane *Pinus sylvestris* L. and *Quercus pubescens* Willd. forest stands measured with sap flow sensors in NE Spain. *Hydrology and Earth System Sciences* 9: 493-505.
- Reid, R., 2009. *Wood as farm product*. Agroforestry for natural resource management, In: Nuberg, I., George, B., Reid, R. (ed). Chapter 9, Csiro Publishing, Australia.
- Renninger, H.J., Schafer, K.V.R., 2012. Comparison of tissue heat balance and thermal dissipation derived sap flow measurements in ring porous oak and a pine. *Frontiers in Plant Science* 3: 103.
- Ryan, M.G., Bond, B.J., Law, B.E., Hubbard, R.M., Woodruff, D., Cienciala, E., Kucera, J., 2000. Transpiration and whole-tree conductance in ponderosa pine trees of different heights. *Oecologia* 124: 553-560.
- Sakuratani, T., 1981. A heat balance method for measuring water flux in the stem of intact plants. *Journal of Agricultural Meteorology* 37(1): 9-17.

- Sakuratani, T., 1984. Improvement of the probe for measuring water flow rate in intact plants with the stem heat balance method. *Journal of Agricultural Meteorology*, 40: 273-277.
- Serengil, Y., Gökbülak, F., Özhan, S., Hızal, A., Şengönül, K., 2007. Alteration of stream nutrient discharge with increased sedimentation due to thinning of a deciduous forest in Istanbul. *Forest Ecology and Management* 246: 264-272.
- Sperry, J.S., Donnelly, J.R., Tyree, M.T., 1988. A method for measuring hydrolic conductivity and embolism in xylem. *Plant, Cell and Environment* 11: 35-40.
- Steppe, K., Lemeur, R., 2007. Effects of ring-porous and diffuse-porous stem wood anatomy on the hydraulic parameters used in a water flow and storage model. *Tree Physiology* 27: 43-52.
- Tor-ngern, P., Oren, R., Oishi, A.C., Uebelherr, J.M., Palmroth, S., Tarvainen, L., Ottoson-Löfvenius, M., Linder, S., Domec, J.C., Nasholm, T., 2017. Ecophysiological variation of transpiration of pine forests: synthesis of new and published results. *Ecological Applications* 27(1): 118-133.
- Vanassche, J., 2011. *Sap flow dynamics in sessile oak during drought stress events in the Czech Republic: 1976-1977 and 2007-2008*, Doktora tezi, Gent Üniversitesi, Belçika.
- Wang, K., Kellomaki, S., Zha, T., Peltola, H. 2005. Annual and seasonal variation of sap flow and conductance of pine trees grown in elevated carbon dioxide and temperature. *Journal of Experimental Botany* 56 (409): 155-165.
- Weaver, J.E., Mogensen, A., 1919. Relative transpiration of coniferous and broad-leaved trees in autumn and winter. *International Journal of Plant Sciences* 68 (6): 393-424.
- Wieser, G., Leo, M., Oberhuber, W., 2014. Transpiration and canopy conductance in an inner alpine Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) forest. *Flora* 209: 49-498
- Wullschlegel, S.D., Meinzer, F.C., Vertessy, R.A., 1998. A review of whole plant water use studies in trees. *Tree Physiology* 18: 499-512.
- Wullschlegel, S.D., Hanson, P., Todd, D.E. (2001). Transpiration from multi-species deciduous forest as estimated by xylem sap flow technique. *Forest Ecology and Management* 143: 205-213.
- Yaltırık, F., 1988. Atatürk Arboretumu. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi* Seri A 38(2): 30- 40.
- Zweifel, R., Steppe, K., Sterck, F.J., 2007. Stomatal regulation by microclimate and tree water relations: interpreting ecophysiological field data with a hydraulic plant model. *Journal of Experimental Botany* 58: 2113-2131.

EKLER

Ek 1: Anadolu karaçamı örnek alanı envanteri ve seçilen örnek ağaçlar.

Ağaç No	Çap (cm)	cm ² r ² x π	m ² cm ² /10000	m ² /ha (m ² x10000)/800	Kümülatif toplam	Seçilen Ağaçlar	Örnek
50	12	113.04	0.01	0.14	0.14		
59	12.5	122.66	0.01	0.15	0.29		
15	13	132.67	0.01	0.17	0.46		
64	13	132.67	0.01	0.17	0.63		
25	13.5	143.07	0.01	0.18	0.81		
77	13.5	143.07	0.01	0.18	0.98		
30	14.5	165.05	0.02	0.21	1.19		
74	14.5	165.05	0.02	0.21	1.40		
80	14.5	165.05	0.02	0.21	1.60		
76	15	176.63	0.02	0.22	1.82		
71	15.5	188.60	0.02	0.24	2.06		
81	15,5	188.60	0.02	0.24	2.30		
27	16	200.96	0.02	0.25	2.55		
49	16	200.96	0.02	0.25	2.80		
55	16	200.96	0.02	0.25	3.05		
72	16	200.96	0.02	0.25	3.30		
46	17.5	240.41	0.02	0.30	3.60		
58	18	254.34	0.03	0.32	3.92		
51	18.5	268.67	0.03	0.34	4.25		
82	19	283.39	0.03	0.35	4.61		
9	19.5	298.50	0.03	0.37	4.98		
70	19.5	298.50	0.03	0.37	5.35	1	
11	20	314.00	0.03	0.39	5.75		
16	20	314.00	0.03	0.39	6.14		
35	20	314.00	0.03	0.39	6.53		
56	20	314.00	0.03	0.39	6.92		
75	20	314.00	0.03	0.39	7.32		
78	20	314.00	0.03	0.39	7.71		
84	20	314.00	0.03	0.39	8.10		
69	20.5	329.90	0.03	0.41	8.51		
83	20.5	329.90	0.03	0.41	8.93		
87	20.5	329.90	0.03	0.41	9.34		
61	21	346.19	0.03	0.43	9.77		
43	22	379.94	0.04	0.47	10.25		
73	22	379.94	0.04	0.47	10.72		
28	23	415.27	0.04	0.52	11.24	2	
39	23	415.27	0.04	0.52	11.76		
68	23	415.27	0.04	0.52	12.28		

Ek 1 (Devam)

42	23.5	433.52	0.04	0.54	12.82	
48	23.5	433.52	0.04	0.54	13.36	
45	24	452.16	0.05	0.57	13.93	
6	24.5	471.20	0.05	0.59	14.52	
40	24.5	471.20	0.05	0.59	15.11	
54	24.5	471.20	0.05	0.59	15.70	
57	24.5	471.20	0.05	0.59	16.28	
85	24.5	471.20	0.05	0.59	16.87	
18	25	490.63	0.05	0.61	17.49	
21	25	490.63	0.05	0.61	18.10	
65	25	490.63	0.05	0.61	18.71	
2	25.5	510.45	0,05	0.64	19.35	
3	25.5	510.45	0,05	0.64	19.99	
41	25.5	510.45	0,05	0.64	20.63	
47	25.5	510.45	0.05	0.64	21.27	
79	25.5	510.45	0.05	0.64	21.90	3
23	26	530.66	0.05	0.66	22.57	
53	26	530.66	0.05	0.66	23.23	
24	26.5	551.27	0.06	0.69	23.92	
34	26.5	551.27	0.06	0.69	24.61	
66	27	572.27	0.06	0.72	25.32	
67	27.5	593.66	0.06	0.74	26.07	
8	28	615.44	0.06	0.77	26.83	
12	28	615.44	0.06	0.77	27.60	
62	28	615.44	0.06	0.77	28.37	
1	28.5	637.62	0.06	0.80	29.17	
20	28.5	637.62	0.06	0.80	29.97	
13	29	660.19	0.07	0.83	30.79	
32	29	660.19	0.07	0.83	31.62	
52	29	660.19	0.07	0.83	32.44	4
86	29	660.19	0.07	0.83	33.27	
19	30	706.50	0.07	0.88	34.15	
88	30	706.50	0.07	0.88	35.03	
4	30.5	730.25	0.07	0.91	35.95	
38	30.5	730.25	0.07	0.91	36.86	
60	30.5	730.25	0.07	0.91	37.77	
17	31	754.39	0.08	0.94	38.72	
63	31	754.39	0.08	0.94	39.66	
5	31.5	778.92	0.08	0.97	40.63	
29	32	803.84	0.08	1.00	41.64	5
26	32.2	816.45	0.08	1.02	42.66	

Ek 1 (Devam)

22	33	854.87	0.09	1.07	43.73	
37	33	854.87	0.09	1.07	44.80	
33	34	907.46	0.09	1.13	45.93	
44	35.5	989.30	0.10	1.24	47.17	
10	36	1017.36	0.10	1.27	48.44	
7	38	1133.54	0.11	1.42	49.85	
14	38.5	1163.57	0.12	1.45	51.31	
31	40	1256.00	0.13	1.57	52.88	6
36	44.5	1554.50	0.16	1.94	54,82	

Ek 2: Sapsız meşe örnek alanı envanteri ve seçilen örnek ağaçlar.

Ağaç No	Çap (cm)	cm ² r ² x π	m ² cm ² /10000	m ² /ha (m ² x10000)/1300	Kümülatif toplam	Seçilen Ağaçlar	Örnek
20	5	19.63	0.00	0.02	0.02		
139	6.5	33.17	0.00	0.03	0.04		
183	6.5	33.17	0.00	0.03	0.07		
132	7.5	44.16	0.00	0.03	0.10		
145	8	50.24	0.01	0.04	0.14		
149	8	50.24	0.01	0.04	0.18		
131	8.5	56.72	0.01	0.04	0.22		
134	8.5	56.72	0.01	0.04	0.26		
140	8.5	56.72	0.01	0.04	0.31		
187	9	63.59	0.01	0.05	0.36		
154	9.5	70.85	0.01	0.05	0.41		
113	10	78.50	0.01	0.06	0.47		
117	10	78.50	0.01	0.06	0.53		
146	10	78.50	0.01	0.06	0.59		
153	10	78.50	0.01	0.06	0.65		
161	10	78.50	0.01	0.06	0.71		
164	10	78.50	0.01	0.06	0.77		
171	10	78.50	0.01	0.06	0.83		
192	10.5	86.55	0.01	0.07	0.90		
56	11	94.99	0.01	0.07	0.97		
191	11	94.99	0.01	0.07	1.05		
193	11	94.99	0.01	0.07	1.12		
17	11.5	103.82	0.01	0.08	1.20		
31	11.5	103.82	0.01	0.08	1.28		
39	12	113.04	0.01	0.09	1.37		
137	12	113.04	0.01	0.09	1.45		
152	12	113.04	0.01	0.09	1.54		
33	12.5	122.66	0.01	0.09	1.64		

Ek 2 (Devam)

163	12.5	122.66	0.01	0.09	1.73	
165	12.5	122.66	0.01	0.09	1.82	
19	13	132.67	0.01	0.10	1.93	
142	13	132.67	0.01	0.10	2.03	
155	13	132.67	0.01	0.10	2.13	
162	13	132.67	0.01	0.10	2.23	
126	13.5	143.07	0.01	0.11	2.34	
28	14	153.86	0.02	0.12	2.46	
67	14	153.86	0.02	0.12	2.58	
104	14	153.86	0.02	0.12	2.70	
116	14	153.86	0.02	0.12	2.82	
182	14	153.86	0.02	0.12	2.93	
194	14	153.86	0.02	0.12	3.05	
159	14.5	165.05	0.02	0.13	3.18	
29	15	176.63	0.02	0.14	3.31	
46	15	176.63	0.02	0.14	3.45	
112	15	176.63	0.02	0.14	3.59	
136	15	176.63	0.02	0.14	3.72	
138	15	176.63	0.02	0.14	3.86	
141	15	176.63	0.02	0.14	3.99	
144	15	176.63	0.02	0.14	4.13	
150	15	176.63	0.02	0.14	4.27	
156	15	176.63	0.02	0.14	4.40	
157	15	176.63	0.02	0.14	4.54	
196	15	176.63	0.02	0.14	4.67	
180	15.5	188.60	0.02	0.15	4.82	1
11	16	200.96	0.02	0.15	4.97	
32	16	200.96	0.02	0.15	5.13	
93	16	200.96	0.02	0.15	5.28	
122	16	200.96	0.02	0.15	5.44	
135	16	200.96	0.02	0.15	5.59	
170	16	200.96	0.02	0.15	5.75	
174	16	200.96	0.02	0.15	5.90	
177	16	200.96	0.02	0.15	6.06	
195	16	200.96	0.02	0.15	6.21	
35	16.5	213.72	0.02	0.16	6.37	
96	16.5	213.72	0.02	0.16	6.54	
101	16.5	213.72	0.02	0.16	6.70	
147	16.5	213.72	0.02	0.16	6.87	

Ek 2 (devam)

71	17	226.87	0.02	0.17	7.04	
143	17	226.87	0.02	0.17	7.22	
25	17.5	240.41	0.02	0.18	7.40	
38	17.5	240.41	0.02	0.18	7.59	
118	17.5	240.41	0.02	0.18	7.77	
181	17.5	240.41	0.02	0.18	7.96	
68	18	254.34	0.03	0.20	8.15	
85	18	254.34	0.03	0.20	8.35	
91	18	254.34	0.03	0.20	8.54	
133	18	254.34	0.03	0.20	8.74	
148	18	254.34	0.03	0.20	8.93	
92	18.5	268.67	0.03	0.21	9.14	
158	18.5	268.67	0.03	0.21	9.35	
160	18.5	268.67	0.03	0.21	9.55	
4	19	283.39	0.03	0.22	9.77	
12	19	283.39	0.03	0.22	9.99	
58	19	283.39	0.03	0.22	10.21	
82	19	283.39	0.03	0.22	10.43	
110	19	283.39	0.03	0.22	10.64	
130	19	283.39	0.03	0.22	10.86	
23	19.5	298.50	0.03	0.23	11.09	
37	19.5	298.50	0.03	0.23	11.32	
121	19.5	298.50	0.03	0.23	11.55	
24	20	314.00	0.03	0.24	11.79	
60	20	314.00	0.03	0.24	12.03	
62	20	314.00	0.03	0.24	12.28	
75	20	314.00	0.03	0.24	12.52	
100	20	314.00	0.03	0.24	12.76	
106	20	314.00	0.03	0.24	13.00	
114	20	314.00	0.03	0.24	13.24	
172	20	314.00	0.03	0.24	13.48	
179	20	314.00	0.03	0.24	13.73	
21	20.5	329.90	0.03	0.25	13.98	
8	21	346.19	0.03	0.27	14.25	
53	21	346.19	0.03	0.27	14.51	2
76	21	346.19	0.03	0.27	14.78	
176	21	346.19	0.03	0.27	15.04	
189	21	346.19	0.03	0.27	15.31	
129	21.5	362.87	0.04	0.28	15.59	
178	21.5	362.87	0.04	0.28	15.87	
1	22	379.94	0.04	0.29	16.16	
36	22	379.94	0.04	0.29	16.45	

Ek 2 (Devam)

74	22	379.94	0.04	0.29	16.75	
79	22	379.94	0.04	0.29	17.04	
90	22	379.94	0.04	0.29	17.33	
119	22	379.94	0.04	0.29	17.62	
125	22	379.94	0.04	0.29	17.91	
105	22.5	397.41	0.04	0.31	18.22	
175	22.5	397.41	0.04	0.31	18.53	
2	23	415.27	0.04	0.32	18.85	
50	23	415.27	0.04	0.32	19.16	
77	23	415.27	0.04	0.32	19.48	
84	23	415.27	0.04	0.32	19.80	
151	23	415.27	0.04	0.32	20.12	
167	23	415.27	0.04	0.32	20.44	
190	23	415.27	0.04	0.32	20.76	
3	23.5	433.52	0.04	0.33	21.10	
26	23.5	433.52	0.04	0.33	21.43	
52	23.5	433.52	0.04	0.33	21.76	
54	23.5	433.52	0.04	0.33	22.10	
120	23.5	433.52	0.04	0.33	22.43	
188	23.5	433.52	0.04	0.33	22.76	
34	24	452.16	0.05	0.35	23.11	
61	24	452.16	0.05	0.35	23.46	
69	24	452.16	0.05	0.35	23.81	
87	24	452.16	0.05	0.35	24.15	3
99	24	452.16	0.05	0.35	24.50	
186	24	452.16	0.05	0.35	24.85	
27	24.5	471.20	0.05	0.36	25.21	
78	24.5	471.20	0.05	0.36	25.57	
81	24.5	471.20	0.05	0.36	25.94	
83	24.5	471.20	0.05	0.36	26.30	
30	25	490.63	0.05	0.38	26.68	
65	25	490.63	0.05	0.38	27.05	
73	25	490.63	0.05	0.38	27.43	
97	25	490.63	0.05	0.38	27.81	
123	25	490.63	0.05	0.38	28.19	
124	25	490.63	0.05	0.38	28.56	
184	25.5	510.45	0.05	0.39	28.96	
66	26	530.66	0.05	0.41	29.36	
94	26	530.66	0.05	0.41	29.77	
98	26	530.66	0.05	0.41	30.18	
173	26	530.66	0.05	0.41	30.59	
86	26.5	551.27	0.06	0.42	31.01	

Ek 2 (Devam)

48	27	572.27	0.06	0.44	31.45	
70	27	572.27	0.06	0.44	31.89	
109	27	572.27	0.06	0.44	32.33	
169	27.5	593.66	0.06	0.46	32.79	
18	28	615.44	0.06	0.47	33.26	
107	28	615.44	0.06	0.47	33.74	4
10	29	660.19	0.07	0.51	34.25	
63	29	660.19	0.07	0.51	34.75	
89	29	660.19	0.07	0.51	35.26	
127	29	660.19	0.07	0.51	35.77	
6	29.5	683.15	0.07	0.53	36.29	
9	30	706.50	0.07	0.54	36.84	
15	30	706.50	0.07	0.54	37.38	
16	30	706.50	0.07	0.54	37.92	
64	30	706.50	0.07	0.54	38.47	
95	30	706.50	0.07	0.54	39.01	
108	30	706.50	0.07	0.54	39.56	
166	30	706.50	0.07	0.54	40.10	
185	30	706.50	0.07	0.54	40.64	
45	30.5	730.25	0.07	0.56	41.20	
22	31	754.39	0.08	0.58	41.78	
42	31	754.39	0.08	0.58	42.36	
44	31	754.39	0.08	0.58	42.94	
49	31	754.39	0.08	0.58	43.52	5
57	31	754.39	0.08	0.58	44.11	
168	31	754.39	0.08	0.58	44.69	
14	31.5	778.92	0.08	0.60	45.28	
5	32	803.84	0.08	0.62	45.90	
7	32	803.84	0.08	0.62	46.52	
43	32	803.84	0.08	0.62	47.14	
102	32	803.84	0.08	0.62	47.76	
103	32.5	829.16	0.08	0.64	48.40	
111	33	854.87	0.09	0.66	49.05	
80	34	907.46	0.09	0.70	49.75	
13	34.5	934.35	0.09	0.72	50.47	
88	34.5	934.35	0.09	0.72	51.19	
59	35	961.63	0.10	0.74	51.93	
72	35	961.63	0.10	0.74	52.67	
115	35	961.63	0.10	0.74	53.41	6
51	36	1017.36	0.10	0.78	54.19	
55	36	1017.36	0.10	0.78	54.97	

Ek 2 (Devam)

41	38	1133.54	0.11	0.87	55.85	
40	39	1193.99	0.12	0.92	56.76	
47	41	1319.59	0.13	1.02	57.78	



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Mehmet Said ÖZÇELİK
Doğum Yeri	Van
Doğum Tarihi	12.04.1987
Uyruğu	☒ T.C. ☐ Diğer:
Telefon	+905057086065
E-Posta Adresi	ozceliksmehmet@gmail.com
Web Adresi	http://aves.istanbul.edu.tr/msaid.ozcelik/



Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Fakülte	Orman Fakültesi
Bölümü	Orman Mühendisliği
Mezuniyet Yılı	01.01.2010

Yüksek Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Enstitü Adı	Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı	Orman Mühendisliği
Programı	Havza Yönetimi

Doktora	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Enstitü Adı	Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı	Orman Mühendisliği Anabilim Dalı
Programı	Orman Mühendisliği Programı

Makale ve Bildiriler	
SCI, SSCI, AHCI INDEXLERİNE GİREN DERGİLERDE YAYIMLANAN MAKALELER	
Gökbulak, F., Şengönül, K., Serengil, Y., Özhan, S., Yurtseven, İ., Uygur Erdoğan B., Özçelik, M.S., 2016. Effect of Forest Thinning on Water Yield in a Sub-Humid Mediterranean Oak-Beech Mixed Forested Watershed, <i>Water Resources Management</i>, 30 (14): 5039-5049. Yurtseven, İ., Gökbulak, F., Serengil, Y., Uygur Erdoğan, B., Özçelik, M.S., Şengönül K., Özhan, S., 2017. Response of selected water chemical quality parameters to slight thinning in a mature oak-beech forest ecosystem under sub-humid climate conditions, <i>European Journal of Forest Research</i>, 136: 1-12.	

Yurtseven, İ., Serengil, Y., Gökbülak, F., Şengönül, K., Özhan, S., Kılıç Ü., Uygur B., Özçelik, M.S., 2017. Results of a paired catchment analysis of forest thinning in Turkey in relation to forest management options, *Science of the Total Environment*, 618: 785-792.

DİĞER DERGİLERDE YAYIMLANAN MAKALELER

Gökbülak, F., Serengil, Y., Yurtseven İ., Uygur Erdoğan, B., Özçelik, M.S., Özhan, S., et al., 2017. Relationship between water yield and water quality in broadleaf forested watersheds, *European Water*, 58: 281-286.

Özçelik, M.S., 2017. Daily transpiration of a single sessile oak measured by the tissue heat balance method, *European Water*, 59: 255-259

Özçelik M.S., Şengönül K., Gökbülak F., 2016. Orman ağaçlarında bitki özsuyu akış ölçüm yöntemleriyle transpirasyonun belirlenmesi ve havza yönetimi çalışmaları için önemi, *Türkiye Ormancılık Dergisi*, 17: 208-214.

HAKEMLİ KONGRE/SEMPOZYUM BİLDİRİ KİTAPLARINDA YER ALAN YAYINLAR

Gökbülak, F., Serengil, Y., Yurtseven, İ., Uygur Erdoğan, B., Özçelik, M.S., Özhan S., et al., 2017. Relationship between water yield and water quality in broad leaf forested watersheds, *EWRA 10th World Congress on Water Resources and Environment*, Atina, YUNANISTAN, 5-9 Temmuz 2017, pp.1319-1324

Özçelik, M.S., Şengönül, K., 2014. Yarı kurak bölgelerde rehabilitasyon-toprak koruma çalışmalarında kullanılabilecek bazı bitki türleri, *1. Ulusal Havza Yönetimi Sempozyumu*, Çankırı, TÜRKİYE, 10-12 Eylül 2014, cilt.1, no.1, pp. 262-267.

Özçelik, M.S., Şengönül K., Gökbülak, F., Uygur Erdoğan, B., 2014. Effect of woody and shrub plants with different patch size on selected soil chemical properties in semi-arid lands., *IUFRO XXIV World Congress: Sustaining Forests, Sustaining People: The Role of Research.*, Salt Lake City, ABD, 5-11 Ekim 2014, vol.16 (5), pp. 242-242.

Özçelik, M.S., Şengönül K., Gökbülak, F., Uygur Erdoğan, B., 2014. Effect of woody and shrub plants with different patch size on selected soil chemical properties in semi-arid lands., *IUFRO XXIV World Congress: Sustaining Forests, Sustaining People: The Role of Research.*, Salt Lake City, ABD, 5-11 Ekim 2014, vol.16 (5), pp. 242-242.

Özçelik, M.S., Şengönül, K., Gökbülak, F., 2016. Comparison of water consumption by needle and broad-leaved tree species in the first month of growing season, *International Forestry Symposium*, Kastamonu, TÜRKİYE, 7-10 Aralık 2016, pp. 589-593

Özçelik, M.S., 2016. "Ağaçlarda Su Tüketiminin Gövde Isı Dengesi Yöntemi ile Belirlenmesi- Anadolu Karaçamı Örneği", *Ulusal Botanik-Bitki Bilimi Kongresi*, Konya, TÜRKİYE, 23-26 Aralık 2016.

Özçelik, M.S., Şengönül, K., 2017. Water consumption comparison of sample trees with different DBH in the same stand, *IUFRO 125th Anniversary Congress*, Freiburg, ALMANYA, 18-22 Eylül 2017, pp. 712-712

Özçelik, M.S., 2017. Daily Water Consumption of a Single Sessile Oak Measured by The Tissue Heat Balance Method, *EWRA 10th World Congress on Water Resources and Environment*, Atina, YUNANISTAN, 5-9 Temmuz 2017, pp. 1609-1613

Serengil, Y., Yurtseven, İ., Pamukçu, P., Tekin, H., Uygur Erdoğan, B., Özçelik M.S., 2015. Estimation of Interception Loss from Forest by Using LAI, *The Fourth International on Agro-Geoinformatics*, İstanbul, TÜRKİYE, 20-24 Ağustos 2015.

DESTEKLENEN PROJELER

"Sürdürülebilir Arazi Planlama Çalışmalarını Destekleyecek Bir İklim Değişikliği - Ekosistem Hizmetleri Yazılımının Geliştirilmesi", TÜBİTAK Projesi, 112Y096, 2016.

"Osmanelidae: Bilecik - Osmaneli'nde Doğa Amaçlı Eğitim", TÜBİTAK Projesi, 115B048, 2015.

"Belgrad Ormanında Karaçam ve Meşe Türlerinin Su Tüketimlerinin Gövde Termal Değişim Yöntemiyle Karşılaştırılması", BAP Araştırma Projesi, 52494, Araştırmacı, 2016

"Belgrad Ormanında Karaçam ve Meşe Türlerinin Su Tüketimlerinin Gövde Termal Değişim Yöntemiyle Karşılaştırılması", Bilimsel Araştırma Projesi, 52831, Araştırmacı, Devam Ediyor

"Specialisation process for the ecoengineering sector in the Mediterranean environment. Generation of the necessary feedback between enterprises and universities in a changing climate environment (ECOMED)", AB Çerçeve Programı Projesi, 575796-EPP-1-2016-1-ES-EPPKA2-KA, Proje Ekibinde Üye, Devam Ediyor

"Orman Ekosisteminde Aralama Uygulamasının Su Üretimi Ve Havza Hidro-Kimyası Üzerindeki Etkileri", BAP Araştırma Projesi, 28027, Araştırmacı, 2016