



T.C.

BARTIN ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ORMAN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

**GÖKNAR (*Abies bornmulleriana* Mattf.) ODUNUNUN HİDROLİK
İLETKENLİĞİNİN GÖVDENİN FARKLI KISIMLARINDA İNCELENMESİ**

HAZIRLAYAN

SÜHEYLA ESİN KÖKSAL

DANIŞMAN

DOÇ. DR. GÖKHAN GÜNDÜZ

BARTIN-2016



T.C.

BARTIN ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ORMAN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**GÖKNAR (*Abies bornmulleriana* Mattf.) ODUNUNUN HİDROLİK
İLETKENLİĞİNİN GÖVDENİN FARKLI KISIMLARINDA İNCELENMESİ**

DOKTORA TEZİ

HAZIRLAYAN

Süheyla Esin KÖKSAL

JÜRİ ÜYELERİ

Danışman	: Doç. Dr. Gökhan GÜNDÜZ	- Bartın Üniversitesi
Üye	: Doç. Dr. Fatih YAPICI	- Ondokuz Mayıs Üniversitesi
Üye	: Doç. Dr. Deniz AYDEMİR	- Bartın Üniversitesi
Üye	: Yrd. Doç. Dr. Menderes KALKAT	- Ömer Halisdemir Üniversitesi
Üye	: Yrd. Doç. Dr. Ayhan GENÇER	- Bartın Üniversitesi

BARTIN-2016

KABUL VE ONAY

Süheyla Esin KÖKSAL tarafından hazırlanan “GÖKNAR (*Abies bornmulleriana* Mattf.) ODUNUNUN HİDROLİK İLETKENLİĞİNİN GÖVDENİN FARKLI KISIMLARINDA İNCELENMESİ” başlıklı bu çalışma, 20.09.2016 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda oy birliği ile başarılı bulunarak jürimiz tarafından Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Doç. Dr. Gökhan Gündüz (Danışman)



Üye : Doç. Dr. Fatih YAPICI



Üye : Doç. Dr. Deniz AYDEMİR



Üye : Yrd. Doç. Dr. Menderes KALKAT



Üye : Yrd. Doç. Dr. Ayhan GENÇER



Bu tezin kabulü Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../20... tarih ve 20...../.....-..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Doç.Dr. H. Selma ÇELİKİYAY
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

BEYANNAME

Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre Doç. Dr. Gökhan GÜNDÜZ danışmanlığında hazırlamış olduğum “GÖKNAR (*Abies bornmulleriana* Mattf.) ODUNUNUN HİDROLİK İLETKENLİĞİNİN GÖVDENİN FARKLI KISIMLARINDA İNCELENMESİ” başlıklı doktora tezimin bilimsel etik değerlere ve kurallara uygun, özgün bir çalışma olduğunu, aksinin tespit edilmesi halinde her türlü yasal yaptırımını kabul edeceğimi beyan ederim.

İmza

Tarih

Süheyla Esin KÖKSAL



ÖNSÖZ

“Gökmar (*Abies bornmulleriana* Mattf.) Odununun Hidrolik İletkenliğinin Gövdenin Farklı Kısımlarında İncelenmesi” isimli doktora tezimde, konunun belirlenmesi ve yürütülmesi sırasında bilimsel önerilerinden yararlandığım sayın hocam Doç. Dr. Gökhan GÜNDÜZ’e teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmamın tamamı boyunca desteğini, bilgi ve tecrübesini hiç bir zaman esirgemeyen değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Menderes KALKAT’a sonsuz teşekkür ederim. Test düzeneğinin kurulumu ile ilgili fikirlerinden dolayı Doç. Dr. İbrahim KARACA’ya ve anatomik incelemeler sırasındaki katkılarından dolayı Doç. Dr. Barbaros YAMAN’a şükranlarımı sunarım.

Tez verilerinin istatistiki değerlendirilmesi sırasındaki katkısından dolayı Öğr. Gör. Dr. Serkan ŞENGÜL’e, araştırma materyallerinin temini sırasındaki desteğinden dolayı Öğr. Gör. Orhan KELLEÇİ’ye, her türlü yardımıyla bana destek olan Yrd. Doç. Dr. Ferhat DEMİRAY ve Öğr. Gör. Gül TEKİNGÜNDÜZ’e teşekkürü bir borç bilirim.

Hidrolik iletkenlik test düzeneğinin kurulumu ve işleyişi sırasındaki bilgi, tecrübe ve sonsuz emeği için Sayın Önder YILDIRIM’a çok teşekkür ederim.

Bu tez çalışması süresince en büyük yardımcım olan, teknik, bilimsel önerileriyle bana katkı sağlayan ve en önemlisi manevi desteğiyle her zaman yanımda olan kardeşim Uğur SARIUSTA’ya sonsuz teşekkür ederim.

Son olarak bu süreçte en az benim kadar emek harcayan, maddi-manevi destekleriyle her zaman yanımda olan aileme, eşim Aytaç KÖKSAL’a ve canım kızım Gökçe KÖKSAL’a teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmayı ülkemizin bölünmez bütünlüğünü koruyan gazi ve şehitlerimize ithaf ediyorum.

Süheyla Esin KÖKSAL

ÖZET

Doktora Tezi

GÖKNAR (*Abies bornmulleriana* Mattf.) ODUNUNUN HİDROLİK İLETKENLİĞİNİN GÖVDENİN FARKLI KISIMLARINDA İNCELENMESİ

Süheyla Esin KÖKSAL

Bartın Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Gökhan Gündüz

Bartın-2016, sayfa: XVI + 100

Hidrolik iletkenlik (K , $\text{mls}^{-1}\text{MPa}^{-1}$), içinden sıvı geçen bir iletkenin, giriş ve çıkış noktaları arasındaki basınç farkının, iletken içinden belli sürede geçen sıvı miktarıyla olan oranına dayanmaktadır. Bu özellik odunun önemli fonksiyonlarından biri olup, odun örneği boyunca akış oranının (F -Debi, mls^{-1}), akışa sebep olan basınç farkına (ΔP , MPa) oranlanmasıyla elde edilmektedir. Bu çalışmada Uludağ Göknaı (*Abies bornmulleriana* Mattf.)'nın hidrolik iletkenlik değerleri ile anatomik özellikleri belirlenmiş ve bu özelliklerin birbiriyle olan bağlantısı irdelenmiştir.

Çalışma materyali olan Uludağ Göknaı (*Abies bornmulleriana* Mattf.) Bolu Orman Bölge Müdürlüğü, Kale İşletme Şefliği sınırları içerisinde temin edilmiştir. Ağacı yaşı 75, uzunluğu 25 m ve çapı da 30 cm'dir. Ölçüm yapılacak örnekler kökten itibaren 0.3 m ve 1.3 m'den sonra 19.3 m'ye kadar 2'şer metre arayla alınmıştır. Örneklerin hidrolik iletkenlik değerleri kurulan test düzeneği ile tespit edilmiştir. Ayrıca alınan tüm örnekler için traheid uzunluğu, traheid genişliği, lümen genişliği, çift çeper kalınlığı, ilkbahar odunu traheid teğet ve radyal çapı, yaz odunu traheid teğet ve radyal çapı, kenarlı geçit çapı ve porus çapı ölçülmüş, bunlara ek olarak 1 mm^2 'deki traheid sayısı tespit edilmiştir.

Hidrolik iletkenlik ölçümlerine göre iletkenliğin 0.3 m'den gövde ortasına doğru arttığı daha sonra 19.3 m'ye doğru kademeli olarak azaldığı gözlenmiştir. En yüksek iletkenlik 7.3 m'de $7.613 \text{ mls}^{-1}\text{MPa}^{-1}\times 10^{-2}$ olarak tespit edilmiştir. 0.3 m'de $5,596 \text{ mls}^{-1}\text{MPa}^{-1} \times 10^{-2}$ ve 19.3 m'de $6.193 \text{ mls}^{-1}\text{MPa}^{-1}\times 10^{-2}$ olarak ölçülen hidrolik iletkenliğin tüm gövde boyunca çok büyük farklılıklar oluşturmadığı saptanmıştır.

Anatomik incelemeler sonucunda traheid uzunluğunun ağaç gövdesi boyunca 9.3 m'de en yüksek değere ulaştığı, bu noktadan sonra azalarak 19.3 m'de en düşük değeri verdiği tespit edilmiştir. Traheid ve lümen genişlikleri içinse, 5.3 m'ye kadar artış gösteren genişlikler 15.3 m'ye kadar belirgin bir değişiklik göstermemiştir. 15.3 m'den sonra ise tekrar azalış saptanmıştır. İlkbahar-yaz odunu traheid teğet ve radyal çapları ile çift çeper kalınlığının gövdenin en üst noktalarına kadar önemli değişiklikler yapmadığı saptanmıştır. Kenarlı geçit ve porus çaplarının 19.3 m'ye doğru azalış gösterdiği buna karşın 1 mm^2 'deki traheid sayısının 19.3 m'ye doğru arttığı gözlemlenmiştir.

Hidrolik iletkenlik ile anatomik özelliklerin karşılaştırılması sonucu gövde boyunca benzer değişimlerin olduğu, gövde ortasına doğru her iki özelliğin de artış ve sonra yeniden azalış gösterdiği ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler

Hidrolik iletkenlik; Uludağ Göknaı (*Abies bornmulleriana* Mattf.); anatomik özellikler; ağaç yüksekliği.

Bilim Kodu

502.15.01

ABSTRACT

Ph.D.Thesis

RESEARCHING ON HYDRAULIC CONDUCTANCE OF DIFFERENT STEM PARTS OF FIR (*Abies bornmulleriana* Mattf.)

Süheyla Esin KÖKSAL

BartınUniversity

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Forest Industrial Engineering

Thesis Advisor: Doç. Dr. Gökhan GÜNDÜZ

Bartın-2016, pp: XVI + 100

For a conductor which liquid flows through, hydraulic conductance (K , $\text{mls}^{-1}\text{MPa}^{-1}$) is defined as the ratio of pressure difference at the inlet and outlet to the fluid amount passing through the conductor in unit time period. This property is one of the key functions of the wood, and is obtained by the flow rate (F-Flow, mls^{-1}) along the wood sample divided by the pressure difference driving the flow (ΔP , MPa). In this study the relationship between the anatomical features and the measured hydraulic conductance values for Uludağ Fir (*Abies bornmulleriana* Mattf.) were examined.

The study material Uludağ Fir (*Abies bornmulleriana* Mattf.) was obtained within the operational limits of Kale Forestry District Office, Bolu Regional Directorate of Forestry. The 75 years old tree is 25 m tall with a diameter of 30 cm. Samples for measurements were taken 0.3 m and 1.3 m from the base and at every 2 meters past that to the top at 19.3 m. Hydraulic conductance of the samples was determined using the test set up. Furthermore, for all samples diameter, length, width, number of axial tracheid in 1 mm^2 , lumen width, cell wall thickness, dimension of bordered pit and pores were analyzed.

The measurements indicate that the hydraulic conductance increases starting from the 0.3 m mark up to the mid-height followed by a gradual decrease up to 19.3 m. Highest conductance value was $7.613 \text{ mls}^{-1}\text{MPa}^{-1}\times 10^{-2}$, measured at 7.3 m. Hydraulic conductance measured at 0.3 m and 19.3 m were $5,596 \text{ mls}^{-1}\text{MPa}^{-1}\times 10^{-2}$ and $6.193 \text{ mls}^{-1}\text{MPa}^{-1}\times 10^{-2}$, respectively, showing no drastic changes along the entire length of the stem.

Anatomical analysis showed that the length of tracheid has reached the peak value at 9.3 m, decreasing after this point along the stem and found to be the lowest at 19.3 m. Tracheid and lumen widths increased up to 5.3 m and showed no significant changes up to 15.3 m. A decrease was found again after 15.3 m. Cell wall thickness and radial and tangential diameter of early wood and late wood don't show significant changes till the top point of stem. Diameters of bordered pits and pores were in a decreasing trend up to 19.3 m, whereas the number of tracheid in 1 mm^2 was found to be increasing up to 19.3 m.

A relative examination of hydraulic conductance and anatomical features shows that the changes along the stem a similar, with both properties following an increasing trend up to the mid height of the stem, followed by a decrease.

Keywords

Hydraulic conductance; Uludağ Fir (*Abies bornmulleriana* Mattf.); anatomical features; tree height.

Science Code

502.15.01

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL	ii
BEYANNAME.....	iii
ÖNSÖZ	iv
ÖZET	v
ABSTRACT	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
TABLolar DİZİNİ.....	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xvi
 BÖLÜM 1 GİRİŞ	 1
1.1 Genel Bilgiler.....	2
1.1.1 Uludağ Göknaı'nın (<i>Abies bornmulleriana</i> Mattf.) Genel Özellikleri	2
1.1.2 Ağaçlarda Suyun Taşınması.....	3
1.1.2.1 Köklerde Suyun Taşınması	4
1.1.2.2 Gövdede Suyun Taşınması	7
1.1.2.3 Yapraklarda Suyun Taşınması.....	13
1.1.3 Radyal ve Teğet Yönde Suyun Taşınması	15
1.2 Ağaçlarda Hidrolik Yapı.....	15
1.2.1 Hidrolik Yapıyı Açıklayan Parametre ve Eşitlikler	16
1.2.1.1 Su Potansiyeli	16
1.2.1.2 Kohezyon-Gerilim Teorisi	17
1.2.1.3 Ohm Kanunu	18
1.2.1.4 Darcy Kanunu.....	19
1.2.1.5 Hagen–Poiseuille Eşitliği	20
1.2.2 Hidrolik İletkenlik.....	21
1.3 Çalışmanın Amacı	26

BÖLÜM 2 MATERYAL VE YÖNTEM	27
2.1 Materyal	27
2.2 Yöntem.....	28
2.2.1 Hidrolik İletkenlik Ölçümleri.....	28
2.2.1.1 Hidrolik İletkenlik Ölçümleri İçin Örneklerin Hazırlanması	28
2.2.2 Hidrolik İletkenlik Test Düzeneği ve Ölçüm Prosedürleri	29
2.2.2.1 Hidrolik İletkenlik Test Düzeneğinin Elemanları	29
2.2.2.2 Hidrolik İletkenlik Test Düzeneğinin Çalışma Prensibi.....	33
2.2.1.3 Hidrolik İletkenlik Test Düzeneğinin Kalibrasyonu	33
2.2.1.4 Hidrolik İletkenliğin Ölçülmesi.....	37
2.2.3 Anatomik Özelliklerin Belirlenmesi	40
2.2.3.1 Kesit Alma ve Preparat Hazırlama	40
2.2.3.2 Maserasyon İşlemi.....	41
2.2.4 İstatistiksel Değerlendirme.....	42
BÖLÜM 3 BULGULAR VE TARTIŞMA	43
3.1 Hidrolik İletkenlik Test Düzeneğine Ait Bulgular	43
3.1.1 Kapiler Boru Kalibrasyonuna Ait Bulgular	43
3.1.1.1 Kapiler Boru 1'in Kalibrasyonuna Ait Bulgular	43
3.1.1.2 Kapiler Boru 2'nin Kalibrasyonuna Ait Bulgular.....	45
3.1.1.3 Kapiler Boru 3'ün Kalibrasyonuna Ait Bulgular	46
3.1.2 Hidrolik İletkenlik Ölçümlerine Ait Bulgular.....	47
3.2 Anatomik Ölçümlere Ait Bulgular	50
3.2.1 Traheid Uzunluğuna Ait Ölçümler.....	50
3.2.2 Traheid Genişliğine Ait Ölçümler.....	54
3.2.3 Traheid Lümen Genişliğine Ait Ölçümler	57
3.2.4 Traheid Çift Çeper Kalınlığına Ait Ölçümler	60
3.2.5 İlbahar Odunu Traheid Teğet Çapına Ait Ölçümler	63
3.2.6 İlbahar Odunu Traheid Radyal Çapına Ait Ölçümler	66
3.2.7 Yaz Odunu Traheid Teğet Çapına Ait Ölçümler	69
3.2.8 Yaz Odunu Traheid Radyal Çapına Ait Ölçümler	72

3.2.9 Kenarlı Geçit Çapına Ait Ölçümler.....	75
3.2.10 Porus Çapına Ait Ölçümler	77
3.2.11 1 mm ² 'deki Traheid Sayısına Ait Ölçümler	80
 BÖLÜM 5 SONUÇLAR VE ÖNERİLER	87
 KAYNAKLAR.....	93
ÖZGEÇMİŞ.....	100



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No	Sayfa No
1. Kökten yapraklara suyun taşınım yolları	5
2. Suyun apoplast ve simplast yolla taşınması	6
3. Kökün boyuna (a) ve enine kesiti (b)	7
4. Gövdede radyal kesit boyunca ksilem ve floemin görünüşü	8
5. Bir ağaç gövdesinde anatomik yapının görünümü	9
6. Ksilem dokusu içinde yer alan traheid (a) ve trahe (b) hücreleri	10
7. İğne yapraklı ağaç odunlarında geçit çiftleri ve geçit aspirasyonu	11
8. Floemdeki hücre tipleri	13
9. Yaprığın enine kesitinde görülen hücre tipleri	14
10. Trahe ve traheid hücrelerinde meydana gelmiş kavitasyon	18
11. Suyun toprak, ağaç ve atmosfer boyunca hareketinin şematik görüntüsü ve Ohm kanunun ağaçtaki akışa uyarlanması	19
12. Araştırma materyali (Uludağ Göknarı- <i>Abies bornmulleriana</i> Mattf.)	27
13. Hidrolik iletkenlik ölçümleri için örneklerin hazırlanma aşamaları	29
14. Hidrolik iletkenlik test düzeneği	31
15. Hidrolik iletkenlik test düzeneğinin şematik görüntüsü	32
16. Sistem yazılımının ara yüzü	32
17. Sistem kalibrasyonu	34
18. Kapiler boru kalibrasyonu	37
19. Sistemin doygunluğa ulaştığını gösteren Trend Eğrileri	40
20. Odun örneklerinden kesit alınması	41
21. Kapiler boru 1 basınç farkı/debi doğrusal yaklaşım eğrisi ve denklemi	44
22. Kapiler boru 2 basınç farkı/debi doğrusal yaklaşım eğrisi ve denklemi	45
23. Kapiler boru 3 basınç farkı/debi doğrusal yaklaşım eğrisi ve denklemi	46
24. Yüksekliğe bağlı hidrolik iletkenlik değişim eğrisi	49
25. Yüksekliğe bağlı olarak traheid uzunluklarında meydana gelen değişimler	53
26. Yüksekliğe bağlı olarak traheid genişliklerinde meydana gelen değişimler	57
27. Yüksekliğe bağlı olarak traheid lümen genişliklerinde meydana gelen değişimler	60

No	No
28.	Yüksekliğe bağlı olarak traheid çift çeper kalınlıklarında meydana gelen değişimler.....63
29.	Yüksekliğe bağlı olarak ilkbahar odunu traheid teğet çapları (İOTTÇ)'nda meydana gelen değişimler.....66
30.	Yüksekliğe bağlı olarak ilkbahar odunu traheid radyal çapları (İOTRÇ)'nda meydana gelen değişimler.....69
31.	Yüksekliğe bağlı olarak yaz odunu traheid teğet çapları (YOTTÇ)'nda meydana gelen değişimler72
32.	Yüksekliğe bağlı olarak yaz odunu traheid radyal çapları (YOTRÇ)'nda meydana gelen değişimler.....74
33.	Yüksekliğe bağlı olarak kenarlı geçit çaplarında meydana gelen değişimler77
34.	Yüksekliğe bağlı olarak porus çaplarında meydana gelen değişimler80
35.	Yüksekliğe bağlı olarak 1mm ² 'deki traheid sayılarında meydana gelen değişimler.....83
36.	Çeşitli yükseklik kademelerine ait örneklerin mikroskobik görüntüleri.....84
37.	11.3 m'den alınan örneğin radyal kesitinin görünümü (a), 19.3 m'den alınan örneğin radyal kesitinde kenarlı geçitlerin görünümü (b), 5.3 m (c) ve 1.3 m'den alınan örneklerin radyal kesitinin görünümü (d).....85
38.	3.3 m'den (a) ve 0.3 m'den (b) alınan örneklerin teğet kesitinde öz ışınlarının görünümü.....86
39.	Hidrolik iletkenlik (a), traheid uzunluğu (b) ve 1 mm ² 'deki traheid sayısı (c)'na ait grafiksel karşılaştırma.....88
40.	Hidrolik iletkenlik (a) ile ilkbahar odunu traheid teğet çapı (İOTTÇ), ilkbahar odunu traheid radyal çapı (İOTRÇ), yaz odunu traheid teğet çapı (YOTTÇ) ve yaz odunu traheid radyal çapı (YOTRÇ) (b)'nin grafiksel karşılaştırması89
41.	Hidrolik iletkenlik (a) ile traheid genişliği, lümen genişliği ve çift çeper kalınlığı (b)'nin grafiksel karşılaştırması.....89
42.	Hidrolik iletkenlik (a) ile Kenarlı geçit ve porus çaplarının (b) grafiksel karşılaştırması90

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo No	Sayfa No
1. Kapiler boru 1'e ait kalibrasyon ölçüm sonuçları.....	44
2. Kapiler boru 2'ye ait kalibrasyon ölçüm sonuçları.....	45
3. Kapiler boru 3'e ait kalibrasyon ölçüm sonuçları.....	46
4. Uludağ Göknarı (<i>Abies bornmulleriana</i> Mattf.)'nın hidrolik iletkenlik değerleri.....	47
5. Hidrolik iletkenlik ölçüm sonuçlarının ortalamaları, minimum ve maksimum değerleri ile standart sapmaları	47
6. Farklı gövde yüksekliklerinden alınan örneklere ait hidrolik iletkenlik değerlerinin karşılaştırmalı analiz sonuçları	48
7. Traheid uzunluğu ölçüm sonuçlarının ortalamaları, minimum ve maksimum değerleri ile standart sapmaları	51
8. Farklı gövde yüksekliklerinden alınan örneklere ait traheid uzunluklarının karşılaştırmalı analiz sonuçları.....	51
9. Traheid genişliği ölçüm sonuçlarının ortalamaları, minimum ve maksimum değerleri ile standart sapmaları.	54
10. Farklı gövde yüksekliklerinden alınan örneklere ait traheid genişliklerinin karşılaştırmalı analiz sonuçları.....	55
11. Traheid lümen genişliği ölçüm sonuçlarının ortalamaları, minimum ve maksimum değerleri ile standart sapmaları.....	57
12. Farklı gövde yüksekliklerinden alınan örneklere ait traheid lümen genişliklerinin karşılaştırmalı analiz sonuçları.....	58
13. Çift çeper kalınlığı ölçüm sonuçlarının ortalamaları, minimum ve maksimum değerleri ile standart sapmaları.....	61
14. Farklı gövde yüksekliklerinden alınan örneklere ait çift çeper kalınlıklarının karşılaştırmalı analiz sonuçları	61
15. İlkbahar odunu traheid teğet çapı ölçüm sonuçlarının ortalamaları, minimum ve maksimum değerleri ile standart sapmaları.....	64
16. Farklı gövde yüksekliklerinden alınan örneklere ait ilkbahar odunu traheid teğet çaplarının karşılaştırmalı analiz sonuçları	64
17. İlkbahar odunu traheid radyal çapı ölçüm sonuçlarının ortalamaları, minimum ve maksimum değerleri ile standart sapmaları.....	67

Tablo	Sayfa
No	No
18. Farklı gövde yüksekliklerinden alınan örneklerle ait ilkbahar odunu traheid radyal çaplarının karşılaştırmalı analiz sonuçları.....	67
19. Yaz odunu traheid teğet çapı ölçüm sonuçlarının ortalamaları, minimum ve maksimum değerleri ile standart sapmaları.....	70
20. Farklı gövde yüksekliklerinden alınan örneklerle ait yaz odunu traheid teğet çaplarının karşılaştırmalı analiz sonuçları.....	70
21. Yaz odunu traheid radyal çapı ölçüm sonuçlarının ortalamaları, minimum ve maksimum değerleri ile standart sapmaları.....	72
22. Farklı gövde yüksekliklerinden alınan örneklerle ait yaz odunu traheid radyal çaplarının karşılaştırmalı analiz sonuçları.....	73
23. Kenarlı geçit çapı ölçüm sonuçlarının ortalamaları, minimum ve maksimum değerleri ile standart sapmaları	75
24. Farklı gövde yüksekliklerinden alınan örneklerle ait kenarlı geçit çaplarının karşılaştırmalı analiz sonuçları.....	75
25. Porus çapı ölçüm sonuçlarının ortalamaları, minimum ve maksimum değerleri ile standart sapmaları	78
26. Farklı gövde yüksekliklerinden alınan örneklerle ait porus çaplarının karşılaştırmalı analiz sonuçları.....	78
27. 1 mm ² 'deki traheid sayısına ait sonuçlarının ortalamaları, minimum ve maksimum değerleri ile standart sapmaları.....	81
28. Farklı gövde yüksekliklerinden alınan örneklerle ait 1 mm ² 'deki traheid sayılarının karşılaştırmalı analiz sonuçları.....	81
29. Uludağ Göknarı (<i>Abies bornmulleriana</i> Mattf.)'nın farklı gövde yüksekliklerine ait odun örneklerinin anatomik özellikleri ve hidrolik iletkenlik değerleri.	92

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Ψ_w	:	Su potansiyeli
μ	:	Kimyasal potansiyel
k	:	Hidrolik iletkenlik
K_h	:	Hidrolik iletim
K_s	:	Spesifik iletkenlik
K_l -LSC	:	Yaprağın spesifik iletkenliği
Q	:	Akış
A	:	Kesit alanı
L	:	Uzunluk
$\Delta\Psi$	:	Su potansiyel gradienti
η	:	Viskozite,
p	:	Sıvı yoğunluğu
D	:	Boru çapı
R	:	Direnç

KISALTMALAR

İOTTÇ	:	İlkbahar odunu traheid teğet çapı
İOTRÇ	:	İlkbahar odunu traheid radyal çapı
YOTTÇ	:	Yaz odunu traheid teğet çapı
YOTRÇ	:	Yaz odunu traheid radyal çapı

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Ağaçlar çok büyük boyutlara ulaşabilme yeteneğine sahip, çok uzun yıllar varlıklarını sürdürebilen ve dünya tarihinin en eski çağlarında bile varlık göstermiş bitkilerdir. Yaşamsal fonksiyonlarını yıllar içinde çevreye uyum gösterecek şekilde geliştirmişlerdir. Suyun taşınması, su ve karbonhidratların depolanması, mekanik savunma ve destek, ağaç gövdelerinin temel fonksiyonları olarak kabul edilmektedir (Gartner vd., 2003; Tyree ve Zimmermann, 2002; Chiu ve Ewers, 1992; Niklas, 1992). Su ise, fotosentez olayı, transpirasyon sırasındaki gaz alışverişi ve solunum gibi metabolik aktiviteler için son derece gereklidir (Pallardy, 2008). Ağaçların su taşıma sistemini ve odun-su ilişkisini anlamak, bütün bu önemli fonksiyonları anlamak açısından önem taşımaktadır. Bunun için de ağacı, dolayısıyla odunu yapısal olarak incelemek ve değerlendirmek gerekmektedir (Dahle, 2009).

Ağaçlar yerçekimi kuvvetine rağmen uzun vasküler sistemleri sayesinde en üst noktalara kadar suyu iletebilmektedirler. Odunda ksilem (odun boruları) ve floem (soymuk boruları) olmak üzere iletimden sorumlu iki temel doku bulunmaktadır. Ksilem kökten alınan su ve minerallerin üst kısımlara ulaşmasını sağlarken, floem ise fotosentez sonucu oluşan besin maddelerinin gerekli dokulara iletimini gerçekleştirmektedir. İğne yapraklı ağaçlarda traheidler, yapraklı ağaçlarda ise traheler ksilemi oluşturmaktadır. Traheidler üst üste dikey olarak dizilmiş iğ biçimindeki hücreler olup, su ve mineral maddelerin iletiminden sorumludurlar. Su traheidlerin lateral çeperlerinde bulunan çok sayıda geçit aracılığıyla bir traheiden diğerine geçmektedir (Taiz ve Zeiger, 2008). Traheidler ayrıca kalın hücre çeperleri sayesinde iğne yapraklı ağaçlarda destek görevini de yerine getirirler (Sperry vd., 2006). Traheler ise genellikle traheidlerden daha kısa ve geniş olup, her hücrenin sonunda perforasyon tablasını oluşturan delikli çeperlere sahiptirler. Traheidlerdeki gibi trahelerin de lateral çeperlerinde geçitler bulunur. Traheidlerin aksine uç kısımlarında da geçitler bulunan çeperler, trahelerin üst üste gelerek damar adını alan daha büyük bir birime dönüşmesini sağlarlar (Taiz ve Zeiger, 2008). Hem traheidler hem de traheler sahip oldukları bu özellikler dolayısıyla iletim boruları olarak ifade edilmektedir (Nijssen vd., 2001).

Odundaki iletim sistemi boyunca suyun hareketini anlamamızı sağlayacak önemli bir kavram olan hidrolik iletkenlik, suyun hücre zarından geçebilme kolaylığını ifade etmektedir (Taiz ve Zeiger, 2008). Ayrıca ağaçların hidrolik özelliklerinin ölçülmesi, fotosentetik ve büyüme dokuları için gerekli olan suyun tespiti açısından da önemli bilgiler sağlamaktadır (Melcher vd., 2012).

Ağaç morfolojisi ve odun anatomisi, hidrolik iletkenlik ve tersine ksilemin su akış direnci üzerinde etkili olmaktadır (Comstock ve Sperry, 2000). Odundaki iletim borusu demetlerinin yoğunluk ve çapları, gövdelerin hidrolik iletkenliğini etkileyen temel faktörlerdendir. Niklas (1992) gövdedeki su akışının, iletim borusu yığınları boyunca kılcal bir hareket olarak biçimlendiğini belirtmektedir.

Hidrolik iletkenliği etkileyen bir diğer faktör de iletim borularının uzunluğudur. Hidrolik akış sırasında en yüksek direnç traheid ya da trahelerin ucunda (kenarlı geçitlerde) meydana gelmektedir. Çünkü suyun akışı bir iletim borusundan diğerine boru çeperlerindeki geçitler ya da perforasyon tablalarıyla gerçekleşmektedir. Bundan dolayı, artan iletim borusu uzunluğu uç çeper geçişlerinin toplam sayısını azalttığından sabit bir iletim uzunluğu boyunca direnci de azaltmaktadır. Bir başka ifadeyle ortalama damar uzunluğundaki bir artış gövdenin hidrolik iletkenliğinin artmasına sebep olacaktır (Comstock ve Sperry, 2000). Pickard (1981) da kenarlı geçitlerdeki direncin toplam dirence katkı sağladığını ortaya koymaktadır. Sonuç olarak iletim borularının çapı ve uzunluğu vasküler sistemin hidrolik özelliklerini belirlemektedir (Nijse vd., 2001).

1.1 Genel Bilgiler

1.1.1 Uludağ Göknaarı'nın (*Abies bornmulleriana* Mattf.) Genel Özellikleri

Yayılışını Kızılırmak (Bafra) ile Uludağ arasındaki Batı Karadeniz ve Marmara bölgesinde yapan Uludağ Göknaarı (*Abies bornmulleriana* Mattf.) ismini ünlü botanikçi Bornmüller'den almıştır. Türkiye için endemik bir türdür. Uygun koşullarda 30-40 m boya ulaşabilir. Tomurcukları reçineli, sürgünleri parlak ve çıplaktır. Yapraklarının altında bulunan belirgin iki stoma çizgisinden başka üstünde de stoma çizgileri bulunur. Bu özellikleriyle iğne yaprak ve kozalakları bakımından kendisine çok benzeyen Doğu Karadeniz Göknaarı (*Abies nordmanniana* (Stev.))'ndan ayrılır (Yaltırık ve Efe, 2000).

Uludağ Gökmarı (*Abies bornmulleriana* Mattf.)’nda diri odun ve öz odun renk bakımından aynı olup, sarımsı beyaz ile gri beyazdır. Yıllık halka sınırları belirgin olup, yaz odunu koyu kırmızımsı rengiyle ayırt edilir. İlkbahar odunundan yaz odununa geçiş yavaştır. Öz ışınları çok incedir. Boyuna parâşimler görölmezken normal reçine kanalı yoktur. Dikili ağaçların yaralanması ile traumatik reçine kanalları oluşabilir. Hafif ve yumuşak bir odundur (Bozkurt ve Erdin, 2000).

Mikroskopik görüntüde yaz odunu traheidleri radyal yönde yassılaşımış ve kalın çeperli iken ilkbahar odunu traheidleri geniş lümenli ve ince çeperlidir. Traheidlerin teğet çapları 25-65 µm, uzunlukları ise 3,4-4,6 mm’dir. İlkbahar odununun radyal çeperlerinde bulunan kenarlı geçitler tek sıralıdır. Nadir olarak iki sıralı geçitlere de rastlanmaktadır. Tek sıralı öz ışınları tamamen parâşim hücrelerinden oluşur ve çoğunlukla 1-30 hücre yüksekliğindedir. Taxodioid tipteki karşılaşma yeri geçitleri 2-4 adettir (Bozkurt ve Erdin, 2000).

Uludağ Gökmarı (*Abies bornmulleriana* Mattf.)’nın tam kuru özgül ağırlığı 0,40 gr/cm³, hava kurusu özgül ağırlığı 0,429 gr/cm³, hacim yoğunluk değeri de 0,35 gr/cm³’tür. Liflere paralel yönde daralması % 0,6, radyal yönde daralması % 4,3, teğet yönde daralması ise % 8,6’dır. Hacmen daralma değeri ise % 13’tür. 37,4 N/mm² basınç direncine, 73 N/mm² eğilme direncine, 62 N/mm² liflere paralel çekme direncine, 8300 N/mm² elastikiyet modölüne sahiptir. Radyal yönde yarıılma direnci 0,65 N/mm², teğet yönde yarıılma direnci 0,69 N/mm²’dir. Liflere paralel Brinel sertlik değeri 19,5 N/mm² ve liflere dik Brinel sertlik değeri de 8,6 N/mm²’dir (Bozkurt ve Göker, 1996).

Mobilya, lambri, kaplama levha, pervaz üretiminde kullanılan gökmar odunu ayrıca sandık, fiçı, oyuncak, kutu, kafes yapımında da tercih edilir (Örs ve Keskin, 2008).

1.1.2 Ağaçlarda Suyun Taşınması

Bir ağacın kökleri vasıtasıyla topraktan aldığı suyun büyük bir kısmı (% 95 veya daha fazlası) yaprak yüzeylerindeki stoma açıklıklarından buharlaşarak, atmosfere geçmektedir. Bu olay terleme (transpirasyon) olarak tanımlanmaktadır (Ridge, 2002). Ağaç her gün terlemeyle kaybettiği suyu köklerden tekrar alarak yapraklara taşımak zorundadır.

Kökler aracılığıyla alınan su, doku ve organlardan geçerek en yüksek tepe noktasına kadar taşınır. Yerçekimine zıt yönde gerçekleşen bu olay kök basıncı, kılcallık ve terleme-çekim kuvvetinin ortaklaşa çalışması sonucunda gerçekleşir. Ayrıca suyun kohezyon ve adezyon özellikleri de bu taşınımaya yardımcı olmaktadır (Kacar vd., 2002).

Suyun kök ucundaki girişinden itibaren en uç tepe noktasına kadar taşınması 3 aşamada açıklanmaktadır. Bunlar;

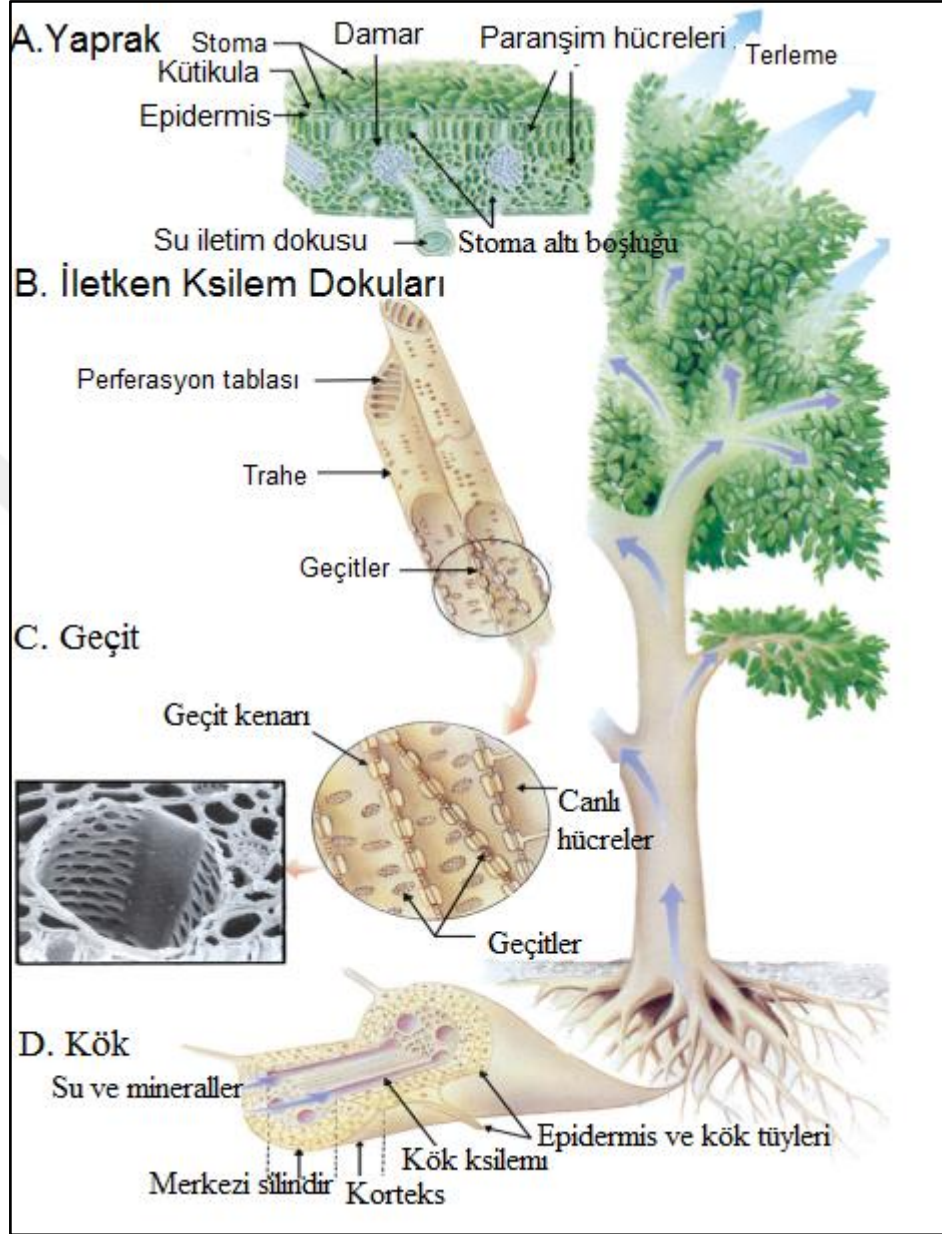
- a) Suyun kök ucundan absorbe edilip sırasıyla epidermisi, korteksi ve endodermisi geçerek ksilem iletim borularına ulaşması,
- b) İletim borularına giren suyun borular boyunca taşınması ve
- c) Suyun buhar şeklinde atmosfere geçmesi (transpirasyon).

Bir ağaç boyunca suyun taşınım yolları Şekil 1’de gösterilmiştir. Köklerde, büyük bir bölümü kök ucuyla alınan su, epidermis hücrelerini geçtikten sonra korteks ve endodermis hücrelerinden sonra persikl içerisinde kısa bir ilerleme ile kök sisteminin iletim elemalarının (trahe ve traheidler) lümenlerine girer. Ksilem iletim borularına ulaşan su yukarı doğru uzun bir yol boyunca taşınır. Ksilem dokusu kök ucunun hemen arkasında başlar, boydan boya kökü geçtikten sonra gövdenin ksilem dokusuna ulaşır. Ksilem dokusu suyu tüm organlara ulaştırabilmek için gövdede geniş bir yayılma gösterir. Ksilem iletim boruları gövde ve yaprak sapları boyunca ilerledikten sonra yaprak mezofil tabakası içerisinde yine geniş bir dağılım gösterir. Ksilem iletim boruları vasıtasıyla yapraklara kadar taşınan su mezofil hücrelerine geçer ve oradan da transpirasyon ile atmosfere ulaşır (Kacar, 2015).

1.1.2.1 Köklerde Suyun Taşınması

Köklerin dört temel fonksiyonu bulunmaktadır. Birincisi bitkileri toprağa bağlamak, ikincisi topraktan su ve besin maddelerini absorbe etmek, üçüncüsü su ve mineral maddelerin gövde ve yapraklara taşınmasını sağlamak, sonuncusu ise hormonlar ile organik bileşikler sentezlemektir. Bu fonksiyonların önem durumları ağaç ve bitki türü ile yetiştiği ortama göre değişiklikler gösterebilmektedir (Kacar vd., 2002). Kökler ağaçların

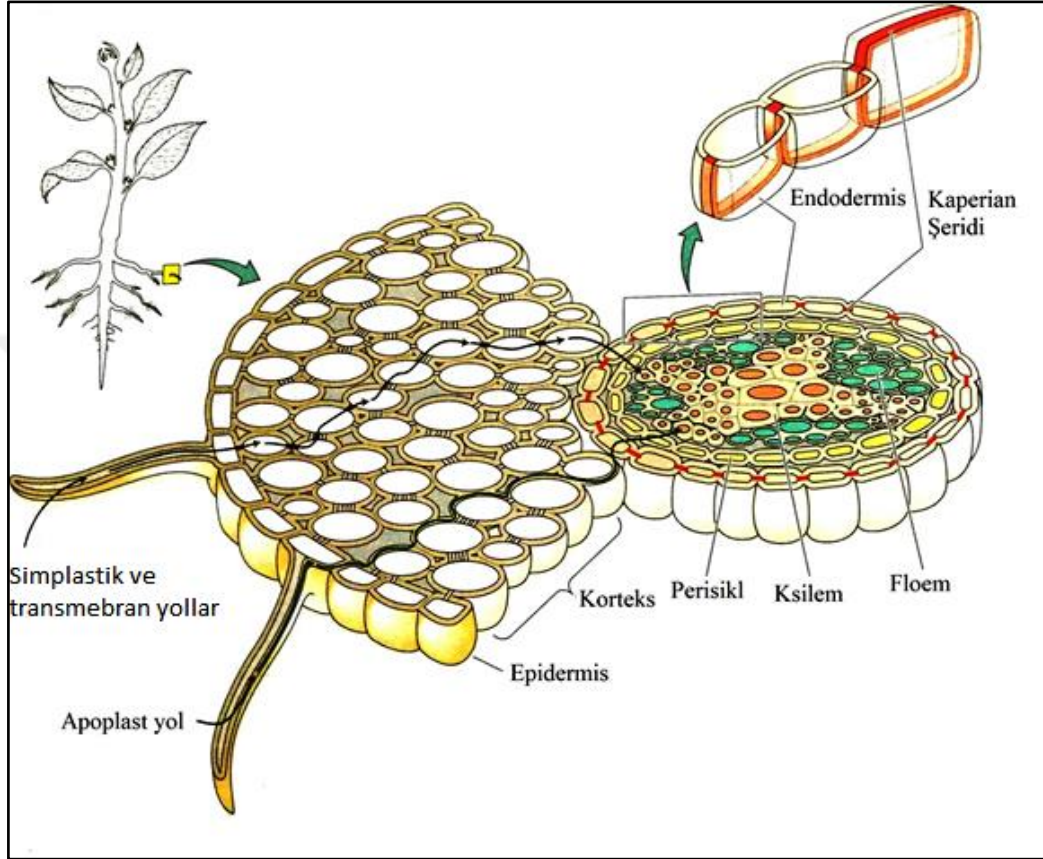
hidrolik sisteminin başlangıç noktası olduğundan özelliklerinin bilinmesi önem taşımaktadır (Harbusch, 2014).



Şekil 1: Kökten yapraklara suyun taşınım yolları (Steppe, 2004).

Su ve besin maddelerinin köke girmesini sağlayan kök tüyleri, kök epidermis hücrelerinin uzantısı olup dışarıya doğru radyal bir şekilde uzanırlar (Taiz ve Zeiger, 2008). Su, kök tüylerinden kortekse ulaşmak için, kök epidermisinin tek hücreli tabakasından oldukça kolay bir şekilde geçer. Kök korteksi, fazla miktarda hücreler arası boşlukla karakterize olan birkaç hücre tabakasından oluşmaktadır (Steppe, 2004).

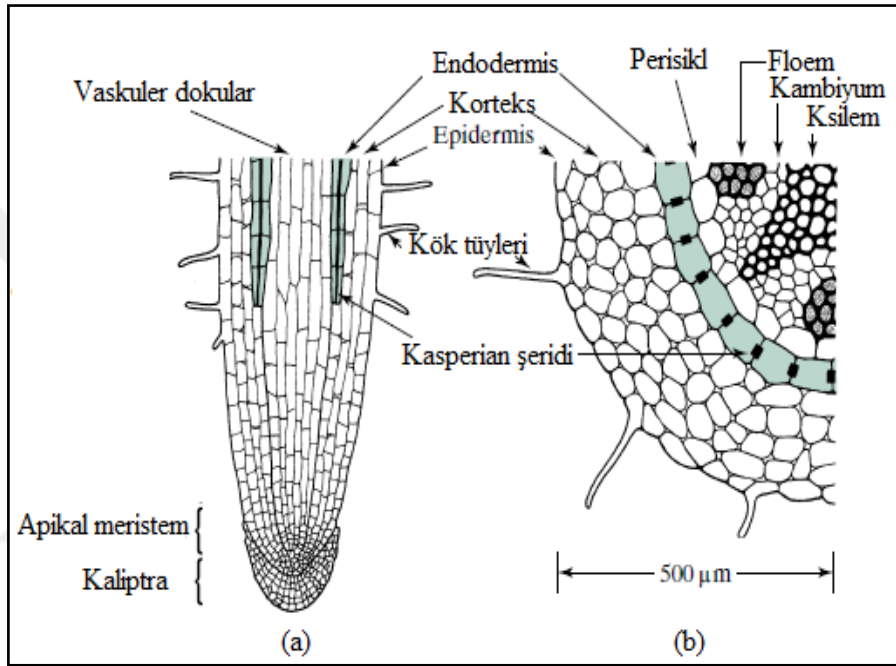
Su, kök epidermisinden endodermise Apoplast, Transmebran ve Simplast olmak üzere üç farklı yolla hareket etmektedir. Apoplast yol hücre duvarları arasındaki boşluklardan oluşan yol olup su herhangi bir hücre zarını geçmeden ilerler. Transmebran ve simplast yolda ise su hücreden hücreye geçmek suretiyle taşınır (Şekil 2) (Kacar vd., 2002).



Şekil 2: Suyun apoplast ve simplast yolla taşınması (Taiz ve Zeiger, 2008).

Endodermisde, suyun apoplast yolla taşınması kasperian şeridi tarafından engellenir. Kasperian şeridi, endodermal hücrelerin enine ve radyal çeperlerini çevreleyen kesintisiz hidrofobik bir banttır. Endodermal hücreler arasında hava boşlukları olmadığından ve enine-radyal hücre çeperleri su geçirmez kasperian şeridi ile kapatıldığından su kök içindeki hareketine devam edebilmek için endodermal hücrelerin stoplazmasına girmek ve lateral duvarlardan geçmek zorundadır. Suyun topraktan bitkiler aracılığıyla atmosfere ulaşması için izlediği tüm yol boyunca, hücrelerin stoplazmasına girmek (simplast ve transmebran yol) zorunda olduğu tek yer endodermal hücrelerdir. Yolun geri kalan kısmında su hem apoplast hem de transmebran-simpplast yolla taşınabilmektedir (Nobel, 2009).

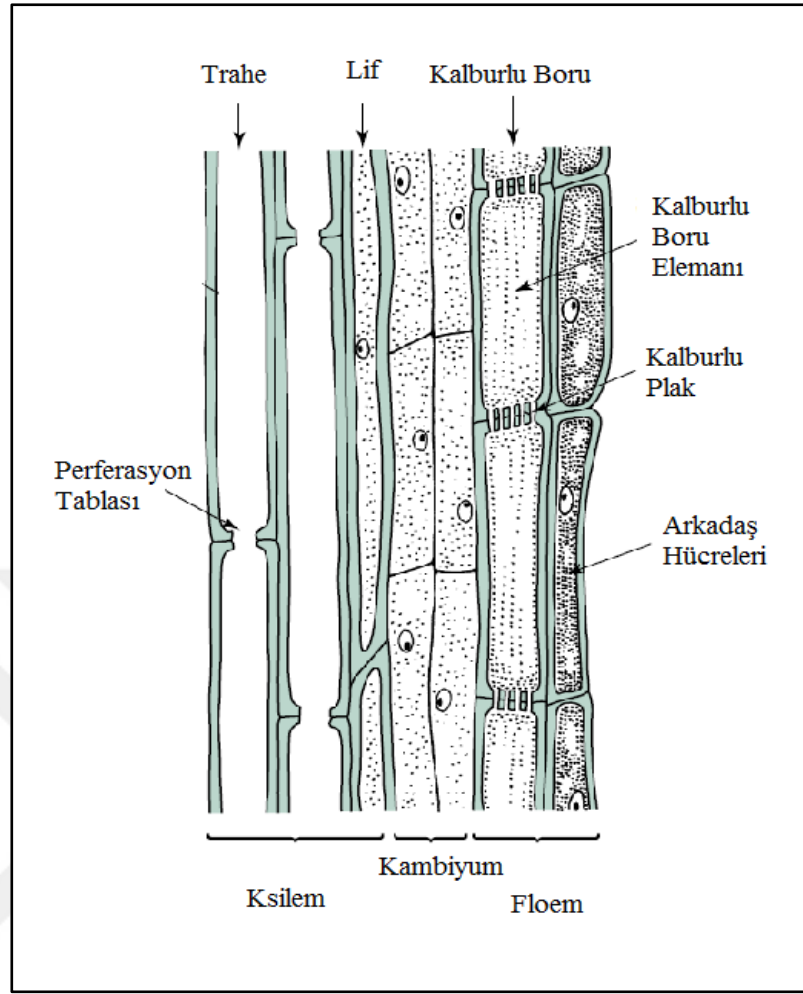
Endodermisin geçilmesiyle su, ksilem iletim elemanlarının lümenlerinden yoluna devam etmektedir. Bunun için de hem floem hem de ksilemin iletim elemanlarından oluşmuş vasküler sistemi çevreleyen ve parانشim hücrelerinden oluşan perisiklî geçmek zorundadır. Floem kök eksenî etrafında yer alan 2-8 liften meydana gelmektedir. Ksilem de genellikle floem lifleri arasına yayılmıştır. Dolayısıyla su ksileme ulaşmak için floemi geçmek zorunda değildir (Şekil 3). Ksilem ve floem arasındaki kök dokusu kambiyum olup, içeriye doğru ksilemi, dışarıya doğru da floemi oluşturmaktadır (Nobel, 2009).



Şekil 3: Kökün boyuna (a) ve enine kesiti (b) (Nobel, 2009).

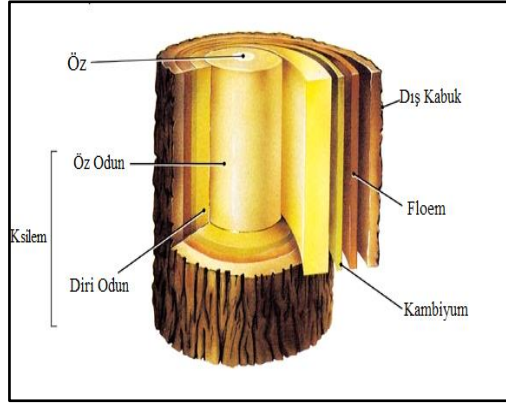
1.1.2.2 Gövdede Suyun Taşınması

Kökler tarafından topraktan alınan su ve mineraller, yapraklara ksilem ağı aracılığıyla taşınır. Bazı ağaç türlerinde su, kökten en üst noktadaki yapraklara kadar 100m ve hatta daha uzun mesafeler boyunca taşınabilmektedir (Ryan vd., 2006). Ayrıca ksilem, su iletimi dışında mekanik destek ve su-besin maddelerinin depolanması gibi ağaçların hayatları için son derece önemli olan fonksiyonları da yerine getirmektedir (Rosner, 2013). Ksilem floemle birlikte, kök, gövde ve dallarda bitişik olarak vasküler sistemi oluşturur (Şekil 4) (Nobel, 2009).



Şekil 4: Gövdede radyal kesit boyunca ksilem ve floemin görünüşü (Nobel, 2009).

Bir ağaç gövdesinde floem kabuğun sadece birkaç tabakasını oluştururken, ksilem odunun neredeyse tamamını oluşturmaktadır (Şekil 5). Her vejetasyon mevsiminde kambiyum vasıtasıyla kabuğa floem hücreleri, gövdenin merkezine doğru da ksilem hücreleri eklenmektedir. Sonuç olarak vasküler kambiyum ksilemden daha az miktarda floem hücresi üretmektedir (Steppe, 2004).



Şekil 5: Bir ağaç gövdesinde anatomik yapının görünümü (URL-1, 2016).

Taşıma olayı ksilem ve floem iletim borularında olmak üzere, yukarı doğru, aşağı doğru, yatay (radyal) ve yapraklardan dışarı doğru olmak üzere dört yönde meydana gelmektedir. Su ve mineral tuzları yukarı doğru ksilem ve kısmen de floem iletim boruları ile taşınırken, aşağı doğru taşıma genelde floem aracılığıyla yapraklarda sentezlenen ürünlerin köke iletilmesi şeklinde gerçekleşmektedir. Ksilemde taşıma tek yönlü olduğu halde floem dokularında taşıma hem aşağı hem de yukarı olmak üzere iki yönlüdür. Özetle su ve suda çözünmüş mineral tuzların taşınması temelde ksilem iletim boruları aracılığıyla gerçekleşirken, floem dokuları fotosentez sonucu oluşan organik ürünleri (karbonhidrat gibi) kullanılmak ve depo edilmek üzere taşımaktadır (Kacar, 2015). Taşıma olayı ksilem ve floemde farklı şekilde meydana geldiğinden ayrı ayrı ele alınması gerekmektedir.

Ksilemde Suyun Taşınması;

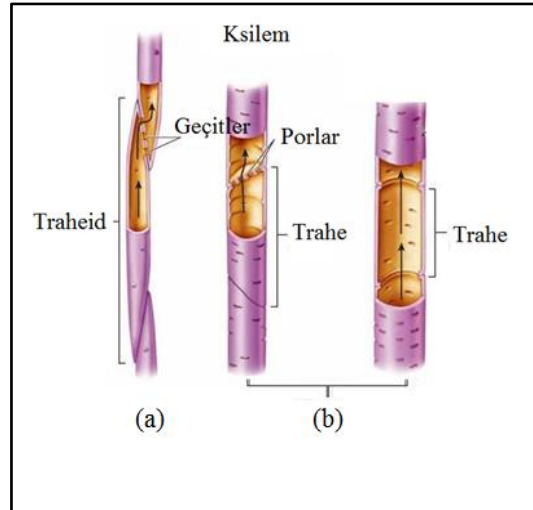
Ksilem, odunsu olmayan bitki ve genç ağaçlarda mekanik destek ve su iletimi olmak üzere iki fonksiyonu yerine getirmektedir (Raven vd, 1992). Bu önemli fonksiyonlar ksilemin hücresel yapısından büyük oranda etkilenmektedir. Ksilemde büyük miktarlardaki suyun verimli bir şekilde taşınması iletim elemanlarının sahip oldukları özelleşmiş anatomiyle mümkün olmaktadır (Taiz ve Zeiger, 2008).

Ksilem dokusu iğne yapraklı ağaç odunlarında çoğunlukla tek hücreli traheidlerden oluşmaktadır (Hacke vd., 2004). Traheidlerin dışında iğne yapraklı ağaçlarda boyuna parankim hücreleri, reçine kanallarını çevreleyen epitel hücreleri ve öz ışını parankim hücreleri de bulunmakta olup, bunlar dikili ağaçlarda genellikle karbonhidratların depolanmasından sorumludurlar (Bozkurt ve Göker, 1996).

İğne yapraklı ağaç odunlarının hacmen % 95 kadarını kapsayan traheidler boru veya lif şeklinde, uçları sivri veya yuvarlağımsı, kapalı hücrelerdir (Şekil 6a). İlkbahar odununda lümenleri geniş ve çeperleri dar, yaz odununda lümenleri dar ve çeperleri kalındır (Berkel, 1970). Traheidlerin çapları kök ve gövdelerde 20-60 µm, uzunlukları ise 1-5 mm arasında değişiklik göstermektedir (Sperry vd., 2006). Yapraklardaki traheidler ise 5-7 µm çapa sahiptir ve uzunluğu 1 mm'den daha kısadır (Woodruff vd., 2008).

Traheid hücreleri arasında genellikle kenarlı geçit çiftleri ve nadiren de basit geçitler, paranşim hücrelerinde yarı kenarlı ve basit geçitler bulunmakta olup iletim bu geçitler sayesinde gerçekleşmektedir (Bozkurt ve Erdin, 2000).

Mikroskobik olan geçitlerde sekonder çeper bulunmazken primer çeper ince ve porludur. Bir traheidin geçitleri komşu traheidin tam karşısında bulunur ve böylece geçit çiftleri oluşur. Geçit çiftleri traheidler arasında su geçişi için direnci az olan bir yol oluşturur. Geçit çiftleri arasındaki porlu tabaka iki primer çeper ve bir orta lamelden meydana gelmekte olup geçit zarı (margo) olarak isimlendirilmektedir. Bazı türlerde geçit zarı merkezi bir kalınlaşma gösterir. Bu kalınlaşmaya da torus denilmektedir (Taiz ve Zeiger, 2008) (Şekil 7).

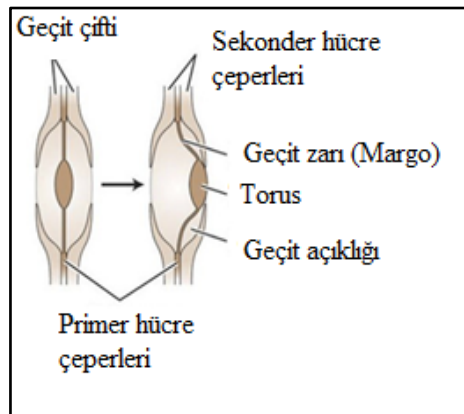


Şekil 6: Ksilem dokusu içinde yer alan traheid (a) ve trahe (b) hücreleri (URL-2, 2016).

Gelişimini tamamlamış bir kenarlı geçit çiftinde geçit zarı (margo), geçit açıklığının tam ortasında bulunur ve akış bir traheid lümeninden diğerine margodan geçerek sağlanır. Margoda primer çeper ağından oluşmuş, torustan geçit kenarına kadar yarıçap yönünde

uzanan ve torusu geçit kenarına bağlayan mikrofibriler bir yapı bulunur (Thomas ve Nicholas, 1966). Geçit zarının (margo) statik konumu, çevresindeki su fazının kapiler basıncına bağlıdır. Su buharlaşırken, basınçta oluşan değişmeler sonucunda, torus mevcut konumundan kayarak basınç yönündeki geçit girişine doğru yönelmekte, kısmen veya tamamen geçit ağzını kapatarak geçit aspirasyonu oluşumuna neden olmaktadır. Geçit aspirasyonu geçit ağzını tıkararak sıvıların geçişini engeller. Aspirasyon halinde sıvıların geçmesi için margonun torustan daha geçirgen olması gerekmektedir (Brooker, 1989) (şekil7). İğne yapraklı ağaçlarda iletimi azaltan en önemli faktör geçit aspirasyonu olmakla birlikte başka faktörler de bulunmaktadır. Bunlardan biri geçit zarı açıklıklarının ekstraktif maddelerle tıkanmasıdır. Bu tıkanmalar odunun sıcak su ve alkol ile muamele edilmesi sonucu giderilebilmektedir. Bir diğeri ise geçit zarı açıklıklarının lignine benzer maddelerle kabuk şeklinde tıkanmasıdır. Bu kabuklaşma da odunun sulu asetik asit içindeki sodyum klorit ile muamelesiyle zndrlebilmektedir (Siau, 1984).

İğne yapraklı ağaçlarla karşılaştırıldığında yapraklı ağaçlar daha karmaşık bir yapıya sahiptir. Yapraklı ağaların diri odunu, su iletimini sağlayan traheler ile mekanik destek sağlayan ligninleşmiş liflerden oluşmaktadır (Dickison, 2000). İki ucu açık olan traheler genellikle büyük çaplı ve kısıdırlar. Bununla birlikte küçük çaplı uzun hücreler de olabilirler. Trahelerin uçlarındaki açıklıklar suyun iletiminde görev yapmakta olup perforasyon tablası olarak isimlendirilmektedir. Bu açıklıklar tek büyük bir açıklık olabildiği gibi çok sayıda birbirine paralel, delikli ya da aė şeklinde de olabilir (şekil 6b) (Bozkurt ve Erdin, 2000). Trahelerin st üste yerleşmesiyle oluşan uzun borularla fazla miktarda su taşınabilmektedir (Kacar vd., 2002).



şekil 7: İğne yapraklı ağaç odunlarında geçit çiftleri ve geçit aspirasyonu (Taiz ve Zeiger, 2008).

Trahelerin yanal duvarlarında da traheler arası geçişi sağlayan geçitler bulunmaktadır. Bu geçitler iğne yapraklı ağaçlardaki geçitlerle kıyaslandığında su iletimi açısından daha az etkilidirler (Hacke vd., 2004).

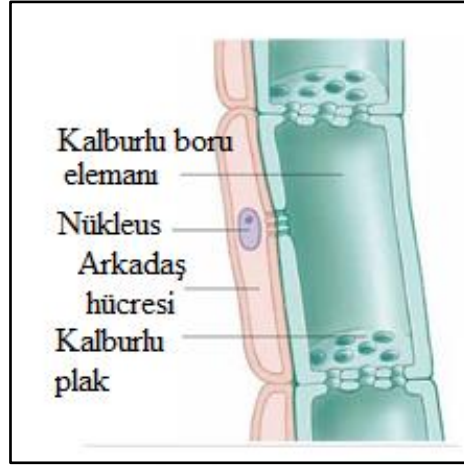
Floemde Suyun Taşınması;

İkinci uzun mesafeli taşınım yolu olan floem, olgun yapraklardan büyüme ve depolama bölgelerine fotosentez ürünlerini taşıyan bir dokudur. Ayrıca bitkinin her tarafına su ve çeşitli bileşikler de taşımaktadır (Taiz ve Zeiger, 2008).

Floemde taşınım olayı çeşitli hücre tipleri sayesinde gerçekleşir. Basit yapılı bitkiler ve iğne yapraklı ağaçlarda bulunan kalburlu hücreler, kısa ve geniş hücrelerdir. Yapraklı ağaçlardaki kalburlu borular dikey olarak uzanmış, oldukça kalın çeperli, uç uca birleşmiş hücrelerdir. Bu hücre tiplerinin ikisine birden Kalburlu elemanlar denilmektedir (Kacar, 2015; Steppe, 2004) (Şekil4 ve Şekil8). Olgun kalburlu elemanlar nukleus ve tonoplastlarını (Vakuol zarı) kaybetmişlerdir. Kalburlu elemanlar ksilemin iletken hücrelerinin aksine sitoplazma içerirler. Floemde kalburlu elemanlarla bitişik halde özel hücreler bulunur ki bunlara arkadaş hücreleri denir (Steppe, 2004). Arkadaş hücreleri fazla miktarda sitoplazma ve mitokondriye sahiptir. Bu hücrelerde protein sentezlendiği ve kalburlu elemanların gelişim ve dönüşüm evrelerinde bunun yavaşladığı bulunmuştur (Bostwick vd., 1992; Kacar vd., 2002). Arkadaş hücrelerinde bulunan çok sayıda mitokondri kalbur elemanlarına enerji desteğinde de bulunmaktadır.

Kalburlu boru elemanları genellikle kalburlu boruların uç uca birleşmesiyle oluşur. İki ardışık kalburlu boru elemanının uç duvarları arasında genellikle eğimli çift kalburlu plak bulunur (Şekil 8). Kalbur terimi por kümelerini ifade eder. Bu kalburlu plaklar sayesinde kalburlu elemanlar boyunca hücreden hücreye akışta herhangi bir zar geçmeye gerek yoktur. Floemin akış mekanizması ksilemdekinden tamamen farklıdır. Geçmişten günümüze floemdeki kalburlu borularda meydana gelen ve uzun mesafe boyunca gerçekleşen taşınım olayını açıklayan birçok hipotez ileri sürülmüştür. Bunlardan biri olan basınç-akış teorisi bugün yaygın bir şekilde kabul görmüştür. Basınç-akış teorisi ilk olarak 1927 yılında Alman bitki fizyoloğu Ernst Münch tarafından ortaya atılmış ve zaman içinde değişikliğe uğramıştır (Steppe, 2004). Basınç-akış teorisi floemdeki taşınımı çözeltinin bir

akışı (kütle akışı) olarak açıklamaktadır. Bu akış, bir basınç gradienti ile gerçekleşir (Taiz ve Zeiger, 2008).



Şekil 8: Floemdeki hücre tipleri (URL-2, 2016).

1.1.2.3 Yapraklarda Suyun Taşınması

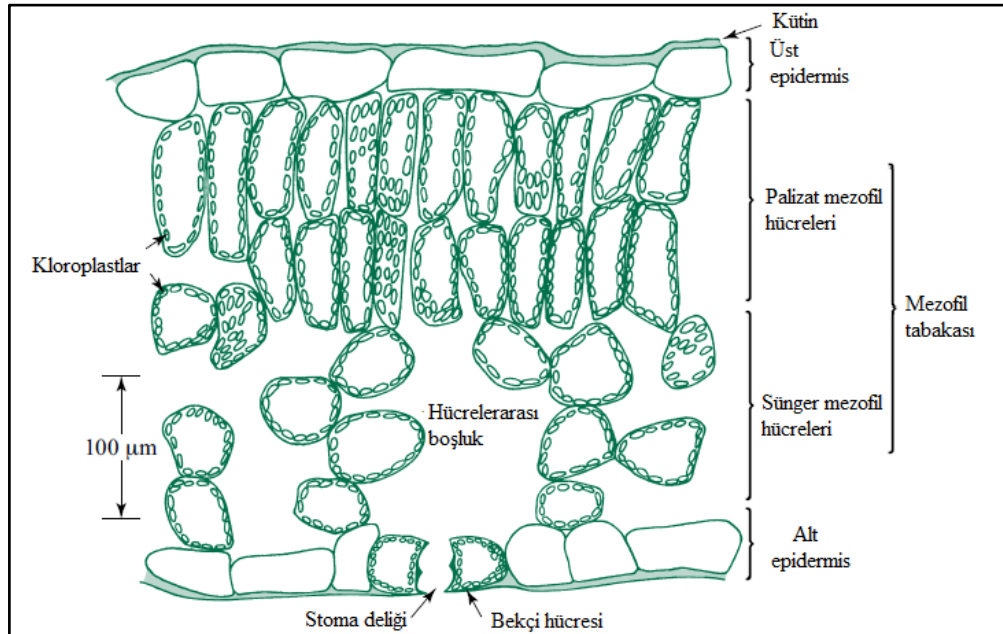
Kökler tarafından topraktan alınan su, gövde ve dal ksilemindeki hareketinden sonra yapraklara ulaşmaktadır. Bitkilerden atmosfere su aktarımı genellikle yapraklar vasıtasıyla gerçekleşmektedir. Geniş, düz bir yapıya ve yaprak sapına (petiole) sahip olan yapraklarda ortada mezofil hücreleri, alt ve üst kısımda ise bir sıra epidermis hücre tabakası yer almaktadır. Fotosentez ve transpirasyona uygun olan yaprak hücreleri birkaç yüz mikrometre ya da 4-10 hücre kalınlığındadır. Yaprığın atmosfere bakan dış tarafı, temel görevi yapraktan su yitmesini mümkün olduğunca azaltmak ve önlemek olan kütin tabakası ile kaplanmıştır (Kacar, 2015).

İki epidermis tabakası arasında bulunan mezofil tabakası kloroplast içeren palizat ve sünger hücrelerinden oluşmaktadır. Palizat hücreleri çoğunlukla dik olarak üst epidermisin hemen altında bulunur. Sünger mezofil hücreleri ise palizat mezofil hücreleri ve alt epidermis arasında bulunup daha gevşek yapıdadır. Ayrıca sünger mezofil hücreleri arasında bulunan hücreler arası boşluklar dikkat çekicidir (Nobel, 2009).

Yaprakların dış yüzeyleri hücrelerarası boşlukları olmayan epidermis dokusuyla kaplı olduğundan, dış ortamdaki gazlarla epidermisin altındaki hücreler arası boşluklarda biriken gaz ve su buharının değişimini sağlamak amacıyla epidermiste stoma (gözenek) adı verilen açıklıklar bulunmaktadır. Stoma birbirine bağlı iki stoma hücresi (kilit hücresi-bekçi

hücreleri)’nden oluşmakta olup bu hücreler arasında por (stoma açıklığı) bulunmaktadır (Bozcuk, 2013). Yaprığın enine kesiti ve hücre tipleri Şekil 9’da görülmektedir.

Topraktan alınan suyun çok büyük bir kısmı yapraklara ulaştıktan sonra su buharı şeklinde atmosfere geçmektedir. Suyun sadece çok küçük bir kısmı metabolik olaylarda kullanılmaktadır. Yapraklardaki suyun atmosfere geçişi buhar ve sıvı olmak üzere iki şekilde gerçekleşir. Suyun buharlaşma (evaporasyon) yoluyla atmosfere geçmesine transpirasyon denilirken sıvı şeklinde geçişine de guttasyon ve eksüdasyon denilmektedir. Su topraktan alındıktan sonra ksilem iletim boruları vasıtasıyla yaprağın ince duvarlı ve aralarında geniş boşluklar bulunan mezofil tabakasına taşınmaktadır. Bununla birlikte yaprağın epidermal yüzeylerinin bir bölümünde bulunan stomalar, hücreler arası boşluklara açılarak yaprağın içi ile çevre arasında kesintisiz bir bağlantı sağlamaktadır. Yani transpirasyon köklerle alınan suyun ksilem ve mezofil hücrelerinden geçtikten sonra stomalar aracılığıyla buhar şeklinde atmosfere verilmesini ifade etmektedir. Stomalar aracılığıyla meydana gelen transpirasyon stomatal (gözeneksel) transpirasyon olarak isimlendirilmekte olup suyun % 90’ından fazlası bu şekilde atmosfere geçmektedir. Bunun dışında kütin tabakasındaki küçük geçitler aracılığıyla da çok az bir miktar suyun atmosfere geçişi söz konusudur. Kütin tabakasında gerçekleşen bu transpirasyona da kütiküler transpirasyon denir ve yaklaşık % 5 oranında gerçekleşir (Kacar vd., 2002).



Şekil 9: Yaprığın enine kesitinde görülen hücre tipleri (Nobel, 2009).

1.1.3 Radyal ve Teğet Yönde Suyun Taşınması

Suyun boyuna yönde taşınmasının dışında radyal ve teğet yönde de taşınım söz konusudur. Suyun radyal yönde taşınmasında iki farklı yapı etkilidir. Bunlar boyuna yöndeki trahe ya da traheidlerin yan duvarları arasında bulunan geçitler ile özışınlarıdır. Özışınları boyuna yöndeki iletim elemanlarının arasında, gövdenin merkezinden kambiyuma doğru radyal olarak uzanmakta olup canlı paranşim hücrelerinden oluşmaktadır. Özışınları, bitişiğinde bulunan su iletim elemanlarına (trahe-traheid) yan duvarlarında bulunan geçit çiftleri aracılığıyla bağlanır (Salisbury ve Ross, 1992). Bu geçitler öz ışını paranşimleri tarafında basit, trahe ve traheid tarafında da kenarlı olmak üzere yarı kenarlı geçit şeklindedir. Çift çenekli ağaçlarda öz ışınları az sayıda olduğundan öz ışınları aracılığıyla su iletimi genellikle yavaştır. Ayrıca paranşim hücrelerinin yüksek yoğunluğa sahip olması su iletimini engellemektedir (Tyree ve Zimmermann, 2002). Sonuç olarak trahe ve traheidler arasındaki geçitler daha doğrudan ve daha hızlı bir radyal iletim sağlar. Ancak bu iletimi ölçmek oldukça zordur. Bu yüzden birçok araştırmacı radyal ve teğet yöndeki taşınımı göz ardı etmektedir (Kitin vd., 2004).

1.2 Ağaçlarda Hidrolik Yapı

Ağaç boyunca suyun taşınmasında etkin bir role sahip olan hidrolik yapı uzun yıllar anatomi, fizyoloji, morfoloji, ekoloji gibi bir çok alanda çalışan araştırmacıların ilgisini çekmiştir (Ellison vd., 1993). Bununla birlikte hidrolik yapı kavramını açıklamak için geçmişten günümüze birçok tanım yapılmıştır (Tyree ve Sperry, 1989a; Tyree ve Ewers, 1991). Cruiziat vd. (2002) ise hidrolik yapı kavramının iki farklı yaklaşımla açıklanabileceğini ifade etmektedir. Bunlardan ilki ağaçların fonksiyonlarını bir hidrolik sistem olarak kabul eden yaklaşımdır. Buna göre bir ağaç, hidrolik sistemin bir türü olarak kabul edilmektedir. Buna benzer bütün sistemler (barajlar, sulama sistemleri, insan vücudundaki vasküler sistem gibi) aynı temel öğelerden oluşmaktadır. Bunlar; sürükleyici bir kuvvet, borular, rezervuar ve düzenleyici sistemler. Ağaçlar için sürükleyici kuvvet, kohezyon-gerilim kuramına göre transpirasyondur. Bu sayede su topraktan alınarak yapraklara kadar farklı su gradientleri sayesinde ulaştırılır. Transpirasyon için gerekli enerjinin ana kaynağı güneş ışınlarıdır. Transpirasyon sırasında suyun hareketi çok ince kapiler boru (trahe-traheid) ağı içinde pasif taşınım ile gerçekleşir.

İkinci yaklaşımda ise hidrolik yapı, farklı hidrolik parametrelerin bütünü ve ağaca özgü ölçülebilen diğer karakteristik özellikleri ifade eder. Ağaçlardaki hidrolik yapıyı anlayabilmek için öncelikle bazı parametreleri bilmek gerekmektedir.

1.2.1 Hidrolik Yapıyı Açıklayan Parametre ve Eşitlikler

Su, herhangi bir metabolik pompaya sahip olmayan bir ağacın iletim ağı boyunca pasif bir şekilde taşınır. Buna karşın hayvan ve insanlarda kan, bütün vücuda kalp tarafından pompalanır. Ağaçların bir pompa olmadan suyu kökten yapraklara kadar nasıl taşıdığı sorusunun cevabı pasif su hareketidir (Steppe, 2004). Su ve çözünen maddeler eşit ve serbest bir şekilde hareket ettiğinde (trahe ya da traheidlerdeki su akışı gibi) pasif hareket bir basınç gradienti vasıtasıyla meydana gelir. Çözünen hareketi kendi su molekülleri tarafından sınırlandırıldığında (hücre zarı boyunca meydana gelen akış gibi) pasif hareket su potansiyeli (kimyasal potansiyel) ile gerçekleşir (Tyree ve Zimmermann, 2002).

1.2.1.1 Su Potansiyeli

Suyun hücre veya organlara giriş ve çıkışı enerji gerektiren bir olay olup su, yüksek enerjili bir bölgeden düşük enerjili bir bölgeye geçer. Buna göre hücre içindeki suyun bağımsız enerjisi hücre dışındaki suyun bağımsız enerjisinden düşük olduğunda suyun hareketi hücre içine doğrudur. Ters durumda ise su, hücre dışına hareket etmekte olup hücre içi ve dışındaki suyun bağımsız enerjileri eşit olduğunda da su hareketi pratik olarak durur. Suyun hareket yönünün saptanabilmesi için suyun bağımsız enerji gücünün bilinmesi gerekmekte olup bu da su potansiyeli (Ψ_w) ile ifade edilmektedir (Kacar, 2015).

Su potansiyeli (Ψ_w), kimyasal potansiyelin suyun kısmi mol cinsinden hacmine bölünmesi olarak tanımlanmaktadır (Eşitlik 1). Günümüzde su potansiyeli ile eş anlamlı olarak kullanılan kimyasal potansiyel (μ) kavramı ise suyla ilgili serbest enerjinin sayısal bir ifadesi olup maddenin belirli bir durumdaki potansiyeli (μ_w -çözelti içindeki suyun kimyasal potansiyeli) ile aynı maddenin standart durumdaki potansiyeli (μ_0 -arı suyun kimyasal potansiyeli) arasındaki fark olarak ifade edilmektedir. Birimi 1 mol başına düşen enerji (Jmol^{-1})'dir (Taiz ve Zeiger, 2008; Kacar vd., 2002).

$$\Psi_w = (\mu_w - \mu_0) / V_w \quad (1)$$

(Harbusch, 2014).

Su potansiyeli, konsantrasyon (çözünen maddeler), basınç ve yer çekimi olmak üzere üç faktör tarafından etkilenmektedir.

$$\Psi_w = \Psi_s + \Psi_p + \Psi_g \quad (2)$$

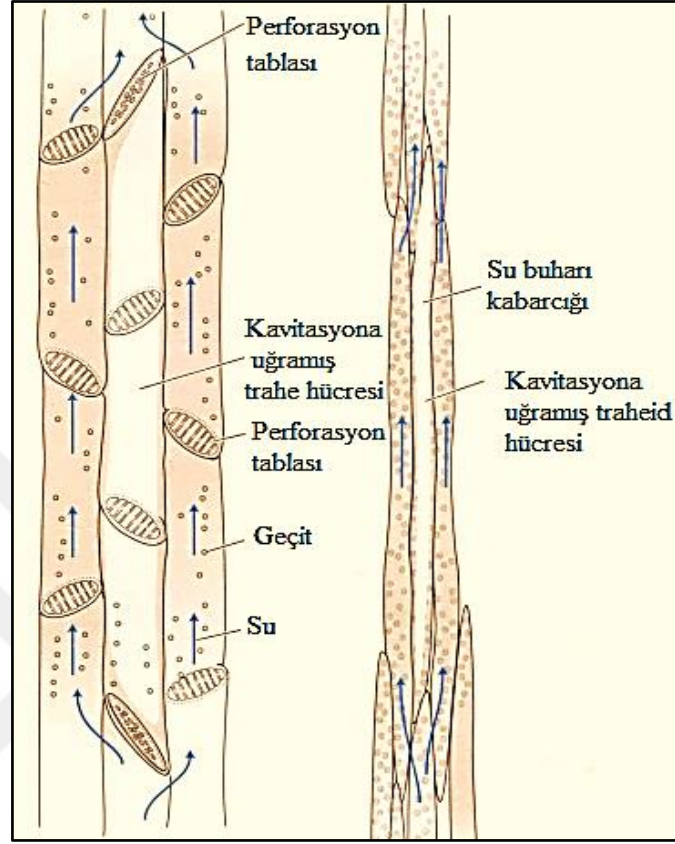
Eşitlik 2’de Ψ_s , Ψ_p ve Ψ_g ifadeleri suyun serbest enerjisi üzerinde sırasıyla çözünen maddeler, basınç ve yer çekiminin etkilerini ifade etmektedir. Su potansiyeli aynı sıcaklık ve basınçtaki saf su referans alınarak tanımlanmaktadır (Taiz ve Zeiger, 2008).

1.2.1.2 Kohezyon-GerilimTeorisi

Ağaçlarda suyun taşınması olayı hala tam olarak açıklanamamakla birlikte en çok kabul gören teori Kohezyon-Gerilim teorisi olup ilk defa Dixon ve Joly (1894) tarafından ortaya atılmıştır. Bu teoriye göre suyun ağaçlarda taşınması gerilim etkisi altında meydana gelmektedir. Atmosferdeki düşük su potansiyeli, yaprakların stoma altı boşluklarından suyun buharlaşmasına yol açmaktadır. Bu durum ksilem basıncını arttırırken bitişindeki dokuların (hücre duvarı ve protoplast) da su potansiyelini düşürür. Su molekülleri arasındaki hidrojen bağlarının oluşturduğu gerilim kuvvetiyle su, stoma altı boşluklarına doğru bir sütun halinde çekilmiş durumdadır. Böylece negatif gerilim bütün ksilem boyunca aktarılmış olur. Buna bağlı olarak kökteki su potansiyeli topraktakinden genellikle daha düşük olduğundan yapraklardaki terlemenin etkisiyle kök topraktan su almaktadır (Tyree, 1997).

Su ksilemde gerilim altında taşındığından, gerilimin etkisiyle, iletim borularının içine hava kabarcıklarının dolması olarak ifade edilen kavitasyon olayı meydana gelebilmektedir. Kavitasyon vakum etkisiyle hızlı bir şekilde genişlemekte ve iletim boruları içindeki boşlukları doldurmaktadır (Şekil 10). Sudaki gerilimin etkisiyle geçit zarından havanın girmesi (air-seeding) şeklinde oluşabildiği gibi ksilemdeki öz suyunun donması ve erimesi sonucunda da hava kabarcıkları oluşabilmektedir. İletim boruları hızlı bir şekilde bu hava kabarcıkları ve su buharı ile dolduğunda bir tıkanıklık (emboli) meydana gelmektedir.

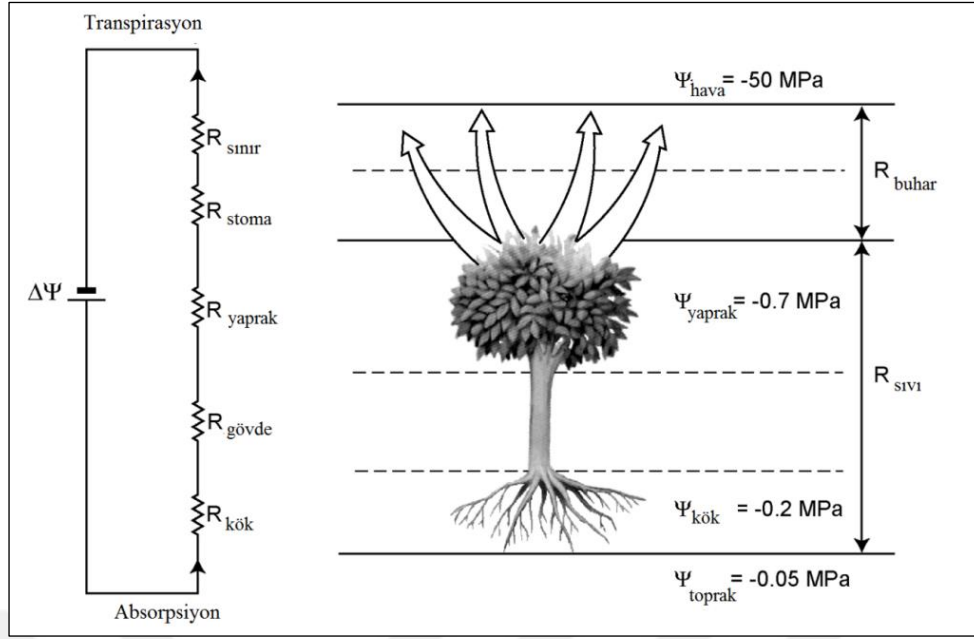
Emboli, hidrolik iletkenliği kısıtladığından ağaçlar için oldukça önemlidir (Meinzer vd., 2001).



Şekil 10: Trahe ve traheid hücrelerinde meydana gelmiş kavitasyon.

1.2.1.3 Ohm Kanunu

Kohezyon–gerilim teorisi 1948’de van den Honert tarafından Ohm kanunu benzerliği ile sayısalılaştırılmıştır. Van den Honert, bitki boyunca suyun hareketini bir zincir prosesi olarak ele almıştır. Bu zincir prosesinde her bir zincir elamanı kendi hidrolik iletkenliğine sahiptir ve toplam iletkenlik kök, gövde ve yapraklardaki iletkenlik göz önünde bulundurularak hesaplanabilir (Tyree, 1997) (Şekil 11).



Şekil 11: Suyun toprak, ağaç ve atmosfer boyunca hareketinin şematik görüntüsü (sağdaki şekil) ve Ohm kanunu ağaçtaki akışa uyarlanışının görüntüsü (soldaki şekil) (Steppe, 2004).

Ağaç boyunca suyun akışı toprak (Ψ_{toprak}) ve atmosfer (Ψ_{hava}) arasındaki su potansiyel farkı sayesinde gerçekleşir. Öz su akışı için sürükleyici kuvvet, su potansiyel gradientleri olduğundan su potansiyeli serideki iletim dokuları boyunca düşmek zorundadır.

1.2.1.4 Darcy Kanunu

Odun ve diğer gözenekli katılarda suyun akışı Darcy Kanunu ile açıklanmaktadır. Genel olarak Darcy kanunu;

İletkenlik= Akış / Gradient (Eğim) şeklinde ifade edilmektedir (Siau, 1984).

Sia (1984)'ya göre Darcy kanununun başlıca varsayımları şu şekildedir:

1. Akış viskoz ve doğrusaldır. Akışın doğrusal hızı ve hacimsel oranı uygulanan basınç farkları ile orantılıdır,
2. Sıvı homojendir ve sıkıştırılmaz,

3. Gözenekli ortam homojendir,
4. Geçirgenlik (permeabilite) akış yönünde parça uzunluğundan bağımsızdır.

Gözenekli ortamın homojen olması ve geçirgenliğin parça boyuna bağlı olmaması onun için açık bir şekilde doğru olmamakla birlikte Darcy kanunu, gözenekli ortamda akış oranı ve basınç gradienti arasındaki ilişkiyi göstermek için sıklıkla kullanılmaktadır. Sıvılar için Darcy kanunu Eşitlik 3 'de olduğu gibi formüle edilmektedir:

$$k = \frac{Q/A}{\Delta\Psi/L} = \frac{QL}{\Delta\Psi A} \quad (3)$$

Burada k iletkenlik, Q ise A (cm²) kesit alanındaki, L (cm) uzunluğundaki gözenekli ortam boyunca birim zamandaki akışı (cm³s⁻¹) göstermektedir. ΔΨ ise suyun potansiyel gradientidir.

1.2.1.5 Hagen–Poiseuille Eşitliği

19. yüzyılda Hagen ve Poiseuille dairesel bir tüp boyunca sıvıların akış hızı ve oranını tanımlamak için bir eşitlik ortaya koymuşlardır. Bu eşitlik tüpün merkezine doğru suyun akış hızının arttığını kenar noktalarına doğru ise durgunlaştığını göstermektedir (Roderick ve Berry, 2001). Belirli bir çapa sahip bir borudaki suyun akışı Eşitlik 4'deki gibi ifade edilmektedir.

$$k = \frac{\pi.r^4}{8.\eta} \quad (4)$$

Eşitlikte k: borunun hidrolik iletkenliği, r: borunun çapı ve η: sıvının viskozitesidir. Bu eşitlikte çap yerine yarıçap kullanılarak ve ağaç yüksekliğine bağlı bir basınç gradienti eklenerek Eşitlik 5 elde edilebilmektedir.

$$k = - \frac{\pi D^4}{128\eta} \frac{\Delta P}{\Delta x} \quad (5)$$

Eşitlikte D: dairesel boru çapı, η : suyun viskozitesi, $\Delta P / \Delta x$ de basınç gradientidir. Negatif işareti akışın yönünün düşük basınçtan yüksek basınca doğru olduğunu ifade etmektedir (Lewis ve Boose, 1995).

Kusursuz silindirik boru demetleri boyunca hidrolik iletkenlik;

$$k = \left(\frac{\pi p}{128 \eta} \right) \sum_{i=1}^n D_i^4 \quad (6)$$

Eşitlik 6 ile ksilem iletim boruları için teorik olarak hesaplanabilmektedir. Burada k; hidrolik iletkenlik, p ; sıvının yoğunluğu, η ; sıvının viskozitesi, D ; boru çapı ve n ; demetteki boru sayısıdır.

1.2.2 Hidrolik İletkenlik

Ağaçlar büyük ve hidrolik olarak karmaşık organizmalardır (Gonzalez-Benecke vd., 2010). Fonksiyonel bir organizma olarak ağaçların bütünü etkin bir şekilde inceleyebilmek için onların hidrolik yapısını incelemek gerekmektedir (Tyree ve Ewers, 1991). Hidrolik yapı hidrolik iletkenlik (k), hidrolik iletim (K_h), spesifik iletkenlik (K_s), yaprağın spesifik iletkenliği (K_l ya da LSC) gibi kavramlarla ifade edilmektedir.

Hidrolik iletkenlik (k ; $\text{kg s}^{-1} \text{MPa}^{-1}$), bitki veya bitki parçası boyunca suyun akış oranının (F-Debi; kg s^{-1}), akışa sebep olan basınç farkına (ΔP ; MPa) bölünmesiyle elde edilmektedir. Hidrolik iletkenlik direncin tersidir. Su, bitki parçası boyunca basınç farkı bilindiği sürece, basınçla, yerçekimi etkisiyle ya da benzer değerdeki vakum etkisiyle kök, gövde ve yaprak parçalarından geçirilebilir. Hidrolik iletkenlik incelenmekte olan tüm bitki parçasının iletkenliğini ifade etmektedir.

Hidrolik iletim (K_h ; $\text{kg s}^{-1} \text{MPa}^{-1} \text{m}$) akışa sebep olan basınç gradienti ($\Delta P / \Delta x$, MPa m^{-1}) ile kesilmiş bir örnek parçası boyunca suyun akış oranı (F, kg s^{-1}) arasındaki orantıdır. Büyük bir K_h , düşük direnç (R) anlamına gelmektedir (Cruiziat vd., 2002).

Spesifik iletkenlik (K_s , $\text{kg s}^{-1} \text{m}^{-1} \text{MPa}^{-1}$) (Diri odun alanı başına hidrolik iletim, K_h/S), diri odun enine kesit alanı başına düşen bir birim basınç potansiyel gradientinin (MPa m^{-1}) bir

dal ya gövde boyunca meydana getirdiği akış oranına (F , kg s^{-1}) bölünmesiyle elde edilmektedir. Spesifik iletkenlik çeşitli ksilem dokularının su taşıma kapasitelerini karşılaştırmaya olanak tanımaktadır (Pallardy, 2008).

Yaprağın spesifik iletkenliği (K_l , $\text{kg s}^{-1} \text{ m MPa}^{-1}$) birim yaprak alanına (m^2) ait birim basınç potansiyelindeki ($\text{MPa}^{-1} \text{ m}^{-1}$) değişimden kaynaklanan dal ya da gövdedeki su akış oranı (kg/s^{-1}) olarak tanımlanmaktadır. Yaprağın spesifik iletkenliği, türler ve büyüme formları arasında ve hatta bitkinin kendi içinde bile değişiklik gösteren ksilemin anatomik yapısından büyük oranda etkilenmektedir (Chiu vd., 1992; Zotz vd., 1994; Patiño vd., 1995).

Ağaç gibi çok yıllık vasküler bitkilerde suyun taşınmasını büyük ölçüde açıklayan hidrolik yapı (Zimmermann, 1978) iletim borularının (trahe ve traheidler) oluşturduğu iletim ağı ile yakından ilişkili olup suyun kökten yapraklara kadar taşınabilmesi iletim ağının etkinliğine bağlıdır (Jansen vd., 2011). İletim ağının hidrolik etkinliği de iletim borularının anatomik özellikleri ile belirlenmektedir. Özellikle iletim borularının sayısı, çapı ve uzunluğu önem taşımaktadır. Hagen-Poiseuille kanuna göre hidrolik iletkenlik, toplam iletim borularının çaplarının 4. kuvvetiyle ilişkilidir (Eşitlik 4,6). Ancak ksilem iletim borularının enine kesitte nadiren dairesel olmaları ve çap ölçümündeki ufak hataların toplam çapın 4. kuvvetinin alınmasıyla büyümesinden dolayı ölçülen iletkenlik değeri Poiseuille yasası ile teorik olarak tahmin edilen iletkenlikten daha düşük olmaktadır (Tyree ve Ewers, 1991).

Tek bir ağaç gövdesi boyunca iletim borularının yapısal özellikleri, farklı kısımlarda (diri odun-öz odun, ilkbahar odunu-yaz odunu, kök-gövde-taç vb) farklı özellikler göstermektedir. Buna bağlı olarak hidrolik özelliklerde de farklılıklar görülmektedir. Gartner (2002) öz ile kabuk arasındaki, ağacın dip kısmı ile tepe noktası arasındaki, ayrıca ilkbahar ve yaz odunu arasındaki odun özelliklerindeki farklılıkların *Pseudotsuga menziesii*'nin hidrolik özelliklerini etkilediğini belirtmiştir. Buna karşın odun özelliklerindeki değişikliklerin *Pinus ponderosa*'nın hidrolik özelliklerini *Pseudotsuga menziesii*'de olduğu kadar etkilemediği yine aynı çalışmada ortaya konulmuştur.

Bir ağacın hidrolik bütün parçaları tek bir iletim sistemiyle birbirine bağlı olmakla birlikte hidrolik özellikler kökten dallara kadar farklılıklar gösterir (McCulloh ve Sperry, 2005). İletim sistemi boyunca ksilemin anatomik ve hidrolik özelliklerinde meydana gelen

farklılıkların hidrolik etkinliği maksimize etmek ve enerji tüketimini en aza indirmek için olabileceği West vd. (1999) ile McCulloh ve Sperry (2005) tarafından ifade edilmiştir.

Ağaçların dip kısmındaki ksilem iletim boruları ağaçların tepe noktasından daha geniştir (Anfodillo vd., 2006; Woodruff vd., 2008). Zimmermann (1983)'e göre ağaçlardaki hidrolik yapının temel prensibi budur (Gebauer ve Volařík, 2013).

Ksilem iletim borularının boyuna yöndeki çeşitliliği ve iletim borularının ağacın dip kısmına doğru genişlemesi üzerine birçok araştırma yapılmıştır. Farklı boyuttaki ve türdeki ağaçlar benzer sonuçlar vermiştir (Leitch, 2001; Weitz vd., 2006; Coomes vd., 2007; Petit vd., 2008, 2009, 2010). Alder vd. (1996), Kavanaugh vd. (1999) ve Nardini ve Tyree (1999) iletim borularının çaplarına bağlı olarak hidrolik iletkenliğin köklerde gövdedekinden daha yüksek olduğunu belirtmektedir.

McElrone vd. (2004) *Juniperus ashei*, *Bumelia lanuginosa*, *Quercus fusiformis* ve *Quercus sinuata*'nın derin ve sığ kökleri ile gövdenin spesifik iletkenliğini (K_s) belirleyerek ksilemin anatomik özellikleriyle karşılaştırmıştır. Buna göre iletim borusu çaplarının ve spesifik iletkenliğin derin köklerde en fazla, sığ köklerde orta seviyede ve gövdede en az olduğu bildirilmiştir. Ayrıca derin köklerdeki ortalama trahe çapının gövdedekinden 2.1–4.2 kat ve spesifik iletkenliğin de derin köklerde 38 defa daha büyük olduğu ortaya konulmuştur.

Gonzalez-Benecke vd. (2010) *Pinus palustris* ile *Pinus elliottii*'nin kök, gövde ve dallarının hidrolik yapısını incelemişlerdir. Kök ksileminin spesifik iletkenliğinin daha fazla olduğu, *Pinus palustris*'in kök spesifik iletkenliğinin *Pinus elliottii*'nin kök spesifik iletkenliğinden belirgin bir şekilde fazla olduğu, bununla birlikte gövde ve dal spesifik iletkenliklerinin türler arasında bir fark yaratmadığı çalışma kapsamında ortaya konulmuştur.

James vd. (2003) *Anacardium excelsum*, *Ficus insipida*, *Schefflera morototoni* ve *Cordia alliodora* gölge ağaçlarında su depolama ve diri odunun anatomik özelliklerinin ekstenel ve radyal su iletimiyle olan ilişkisini incelemişlerdir. Odunun anatomik özellikleri ve radyal öz suyu akışı her bir ağacın kökünde, üst gövdesinde ve taç kısmında birbirini takip eden iki kurak mevsimde ölçülmüştür. Çalışma sonucunda trahe lümen çaplarının ve

yoğunluklarının kökten taç tabanına kadar tutarlı bir eğilim göstermediği buna karşın lümen çapının taç tabanından uç dallara doğru belirgin bir şekilde azaldığı belirtilmiştir.

Sellin vd. (2008) *Betula pendula* üzerinde yaptıkları çalışmalarında hidrolik trahe çapının ve ksilemin teorik spesifik iletkenliğinin (K_s) taç kısmı boyunca dikey bir eğilim göstermediğini, buna karşın yaprağın spesifik iletkenliğinin (K_l) aşağıdan yukarıya doğru azaldığını tespit etmişlerdir.

Dunham vd. (2007) Douglas Göknarı'nın anatomik ve hidrolik özelliklerindeki değişimi ve ikisi arasındaki ilişkiyi hiyerarşik ölçekte incelemiştir. Çalışmada gövde kambial yaşı (göğüs yüksekliği) 52, 25 ve 5, dal kambial yaşı 20 ve 7, kök kambial yaşı 42 ve 22 olan örnekler kullanılmıştır. İnceleme neticesinde traheid uzunluğunun, traheid çapının, hücre başına geçit sayısının, spesifik iletkenliğin (K_s) ve emboli hassasiyetinin kökten dallara kadar boyuna yönde azaldığı saptanmıştır.

Oliveras vd. (2003) *Pinus pinea*, *Pinus halepensis* ve *Tetraclinis articulata* üzerinde yaptıkları çalışmalarında her üç türün de kök spesifik iletkenliğinin dallardan daha yüksek olduğunu saptamışlardır. Bununla birlikte *P. pinea*'nın spesifik iletkenliğinin hem kökte hem de dallarda diğer iki türden daha yüksek olduğu ortaya konulmuştur.

Ağaçlarda radyal yöndeki iletkenlik üzerine yapılan çalışmalar spesifik iletkenliğin en dıştaki yıllık halkada maksimuma ulaştığını, diri odun-öz odun sınırına doğru azaldığını göstermiştir (Granier vd., 1994; Spicer ve Gartner, 2001).

Domec ve Gartner (2005) *Pinus ponderosa*'nın taç kısmındaki dış diri odunun spesifik iletkenliğinin iç diri odunun spesifik iletkenliğinden % 35-50 daha fazla olduğunu bildirmiştir.

Caesalpinia echinata Lam.'nın kök ve gövdesinin potansiyel hidrolik iletkenliği ve anatomik özellikleri arasındaki farklılıklar Longui vd. (2012) tarafından incelenmiştir. Yapılan çalışmada trahe çaplarının diri odunda daha geniş, öz odun ve kökte daha dar olduğu, trahe elemanlarının diri odunda daha uzun, öz odunda daha kısa olduğu ve diri odunun potansiyel hidrolik iletkenliğinin öz odundan ve kökten daha yüksek olduğu bulunmuştur.

Domec ve Gartner (2002) 21 yaşındaki *Pseudotsuga menziesii*'nin ilkbahar ve yaz odunu arasında su iletiminde meydana gelen farklılıkları incelemişler ve ilkbahar odununun spesifik iletkenliğinin yaz odunundan yaklaşık 11 kat daha fazla olduğunu gözlemlemişlerdir.

Mencuccini (1997) *Pinus sylvestris* L.'nin anatomik, hidrolik ve biyomekanik özelliklerinin gelişimini 7-59 yaş aralığındaki ağaç gövdelerinde incelemiş ve traheidlerin hidrolik çapını 15 yaşında, traheid uzunluğunun ise 35 yaşında maksimuma ulaştığını bildirmiştir. Birim diri odun alanındaki traheid sayısının ise yaşla birlikte azalarak minimum 500-600 traheid/mm² seviyesine kadar düştüğü ortaya konulmuştur. Ayrıca gövdelerin Young modülü ve spesifik hidrolik iletkenliğinin de anatomik özelliklerle bağlantılı olduğu bildirilmiştir.

Domec ve Gartner (2003) gövde kısmının ve ağaç yaşının spesifik iletkenliğe etkisini *Pseudotsuga menziesii* üzerinde incelemiştir. Buna göre bütün yaş gruplarında (yaşlı ağaç grubu 220±27 yaşında, olgun ağaç grubu 75±5 yaşında ve genç ağaç grubu 31±3 yaşında) dış diri odun kısmındaki spesifik iletkenliğin iç diri odun kısmından % 25-60 oranında daha fazla olduğu ortaya konulmuştur.

Zach vd. (2010) boyları 6,5 m ile 44 m arasında değişen ağaçların yaprak spesifik iletkenliklerini, odun anatomilerini (trahe çapı ve yoğunluğu) ve diri odun spesifik iletkenliklerini inceleyerek ağaç boyunun söz konusu özelliklere olan etkisini irdelemişlerdir. Çalışma sonunda yaprak spesifik iletkenliğinin, diri odun spesifik iletkenliğinin ve ortalama damar çaplarının ağaç boyunun artmasıyla belirgin şekilde artış gösterdiği tespit edilmiştir.

Patiño vd. (1995), Becker vd. (1999) ve Wang (2005) iğne yapraklı ağaçlarla yapraklı ağaçların hidrolik yapılarını karşılaştırmışlardır. Buna göre iğne yapraklı ağaçlar, traheidlerin trahelerden daha küçük ve daha az iletken olması nedeniyle yapraklı ağaçlara göre daha düşük iletkenliğe sahiptir.

1.3 Çalışmanın Amacı

Bu çalışmanın öncelikli amacı Uludağ Göknaı (*Abies bornmulleriana* Mattf.)'nın gövdesinden boyuna yönde belirli aralıklarla alınan örneklerin anatomik özelliklerinin ve hidrolik iletkenlik değeriinin belirlenmesidir. Yapılan inceleme ve ölçümlerle gövde boyunca meydana gelen değışimlerin saptanması, anatomik özellikler ile hidrolik iletkenlik arasındaki ilişkinin ortaya konulması hedeflenmektedir. Buna bağı olarak da Uludağ Göknaı (*Abies bornmulleriana* Mattf.)'na ait yapısal-fizyolojik ilişkinin ortaya çıkarılması amaçlanmaktadır.

Uludağ Göknaı (*Abies bornmulleriana* Mattf.)'ndaki mevcut iletim sisteminin anatomik özelliklerle karşılaştırmalı olarak analiz edilmesi ve iletim sisteminin çalışma prensiplerinin ortaya çıkarılması daha sonra yapılacak çalışmalar için bir temel oluşturacaktır. Ağaçlardaki mevcut iletim sisteminin anlaşılması, bu sistemin başka alanlarda (binalarda su iletimi, sulama sistemleri vb) değerlendirilmesi açısından önem taşımaktadır.

BÖLÜM 2

MATERYAL VE YÖNTEM

2.1 Materyal

Araştırma materyali olarak seçilen Uludağ Göknaı (*Abies bornmulleriana* Mattf.) odunu Bolu Orman Bölge Müdürlüğü, Kale İşletme Şefliğı'ne bağılı Yedigöller Mevkii'nden temin edilmiştir. 1236 m rakımdaki bölgeden seçilen düzgün gövdeli göknar ağacının yaşı 75, çapı 30 cm ve boyu da 25 m'dir. Çalışmada kullanılacak örnekler gövdeden yaklaşık 15 cm kalınlığında tekerler çıkarılmak suretiyle elde edilmiştir. Bu tekerler kökten itibaren 0.3 m, 1.3 m, 3.3 m, 5.3 m, 7.3 m, 9.3 m, 11.3 m, 13.3 m, 15.3 m, 17.3 m ve 19.3 m yükseklikten olmak üzere 2'şer metre arayla alınmıştır. Deney örnekleri gerekli numaralandırmalar yapılarak laboratuvar ortamına getirilmiş, ölçümler için uygun şekilde hazırlanmıştır. Şekil 12'de seçilen örnek ağaç görülmektedir.



Şekil 12: Araştırma materyali (Uludağ Göknaı-*Abies bornmulleriana* Mattf.).

2.2 Yöntem

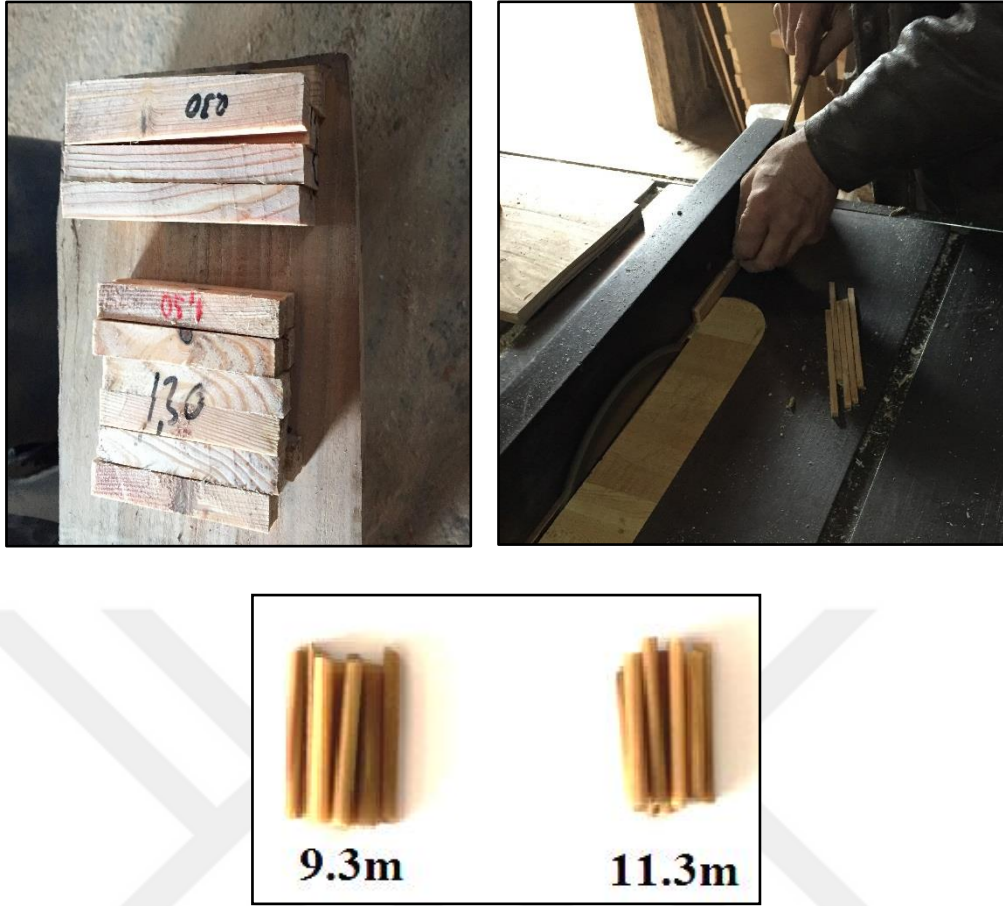
Bu çalışma, örnekler üzerinde iki farklı analizin yapılmasıyla gerçekleştirilmiştir. İlk olarak farklı gövde yüksekliklerinden alınan örneklerin hidrolik iletkenlik değerleri belirlenmiştir. Diğer analizde de aynı yüksekliklere ait örneklerin anatomik özellikleri ortaya konulmuştur. Her iki analiz için de uygulanan yöntemler aşağıda ayrı ayrı ele alınmıştır.

2.2.1 Hidrolik İletkenlik Ölçümleri

Uludağ Göknarı (*Abies bornmulleriana* Mattf.)'na ait farklı yüksekliklerden alınan gövde odunlarının boyuna yöndeki hidrolik iletkenliğinin belirlenmesi amacıyla uygulanan işlemler aşağıda verilmiştir.

2.2.1.1 Hidrolik İletkenlik Ölçümleri İçin Örneklerin Hazırlanması

Uludağ Göknarı (*Abies bornmulleriana* Mattf.) gövde odununun hidrolik iletkenlik değerlerinin belirlenebilmesi için öncelikle örneklerin uygun boyutlara getirilmesi gerekmiştir. Bu amaçla örneklerin kurumasına fırsat vermeden tekerler şeklinde alınan odun örneklerinin ölçümler için hazırlanması aşamasına geçilmiştir. Öncelikle kambiyumdan sonraki 7-13. yıllık halkaları kapsayacak şekilde boyuna yönde homojen parçalar çıkarılmıştır. Bu parçalar daha sonra ince çıtalar haline getirilmiştir. Sonrasında da çıtalar yaklaşık 4 mm çap elde edilene kadar yuvarlatılmış ve boyları da 3 cm olacak şekilde kesilmiştir (Şekil 13). Ölçümlere uygun hale getirilen odun örnekleri ölçüm yapılacak zamana kadar su içinde bekletilmiştir. Mantar oluşumunu önlemek için su içindeki örneklere bir kaç damla fenol damlatılmıştır.



Şekil 13: Hidrolik iletkenlik ölçümleri için örneklerin hazırlanma aşamaları.

2.2.2 Hidrolik İletkenlik Test Düzeneği ve Ölçüm Prosedürleri

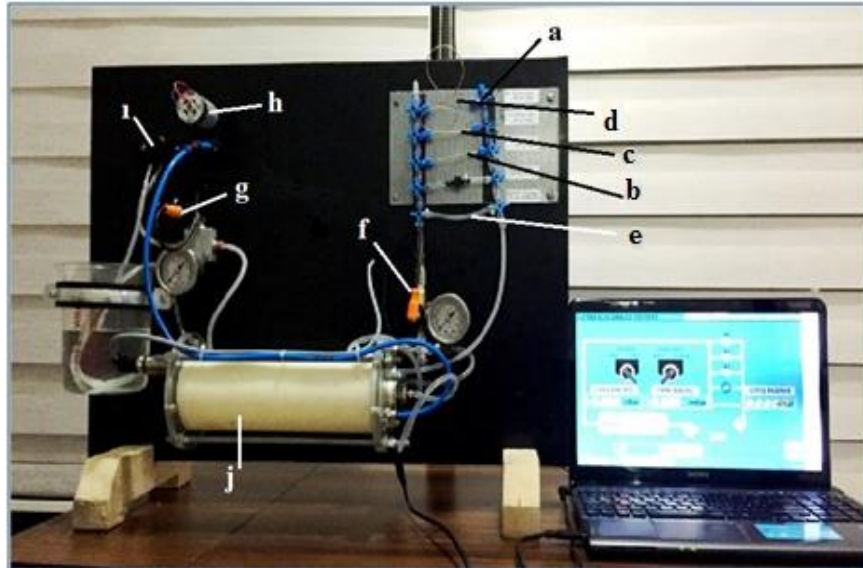
Hidrolik iletkenliğin ölçülmesi temel olarak, parçaların giriş ve çıkış noktaları arasındaki basınç farkı esasına dayanmaktadır. Bu esas dikkate alınarak şimdiye kadar birçok araştırmacı çeşitli aparatlar geliştirmiştir (Sperry vd., 1988; Kolb vd., 1996; Tyree vd., 2002). Bu çalışmada Pereira ve Mazzafera (2012) referans alınarak bir test düzeneği kurulmuştur. Bu düzeneğe ait bilgiler ve test prosedürleri aşağıda verilmiştir.

2.2.2.1 Hidrolik İletkenlik Test Düzeneğinin Elemanları

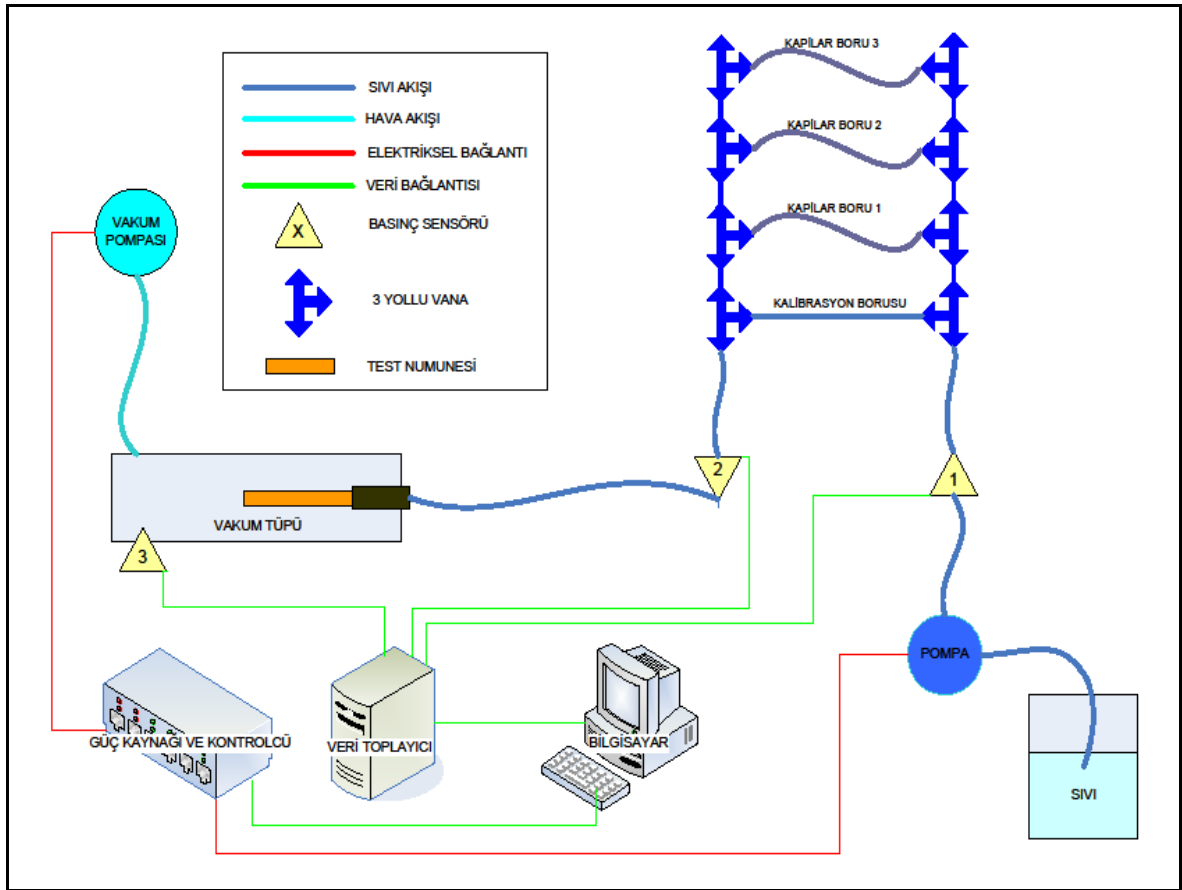
Test düzeneğini oluşturan elemanlar aşağıda maddelenmiş olup Şekil 14 ve Şekil 15'de gösterilmiştir.

- 1- *Peristaltik Sıvı Pompası*: Sisteme verilen sıvıyı basınçlandırmak için kullanılmaktadır. Bu düzenekte ADAFRUIT marka, 12 VDC, 200-300 mA ve 100 ml/dk debi özellikli pompa kullanılmıştır.
- 2- *Basınç Sensörü 1*: Sistemin giriş basıncını ölçmek için kullanılmaktadır. 0-1 bar aralığında ölçüm yapabilmekte ve bu bilgiyi veri toplama sistemine aktarabilmektedir. Düzenekte kullanılan ürün SICK marka basınç sensörüdür.
- 3- *3 Yollu Vana*: Sisteme verilen basınçlı sıvının yönlendirilmesi için kullanılmaktadır.
- 4- *Kapiler Boru 1*: İç çapı 0.17 mm ve 9.5 cm uzunluğundadır.
- 5- *Kapiler Boru 2*: İç çapı 0.17 mm ve 28 cm uzunluğundadır.
- 6- *Kapiler Boru 3*: İç çapı 0.13 mm ve 28 cm uzunluğundadır.
- 7- *Kalibrasyon Borusu*: 4.9 mm çapında, 9.5 cm uzunluğundadır. Sistemin iç dirençlerinin sebep olduğu basınç farkını bulmak için kullanılmaktadır. Bu değer tespit edilerek daha sonra yapılan ölçümlerde bu değer kadarlık basınç farkının sistem iç direncinden kaynaklandığı bilinmekte ve ölçümler bu değer üstüne konularak yapılmaktadır. Aynı zamanda odun örneklerindeki hava boşluklarını almak için yapılacak basınçlı su basma işleminde de bu hat kullanılacaktır.
- 8- *Basınç Sensörü 2*: Kapiler boruların çıkış basıncını ölçmek için kullanılmaktadır. Basınç Sensörü 1 ile aynı teknik özelliklere sahiptir.
- 9- *Vakum Tüpü*: Sızdırmaz olarak hazırlanan bu tüpün içinde vakum pompası aracılığıyla vakum oluşturulmaktadır. Odun örneği bu tüpün içerisine yerleştirilmektedir.

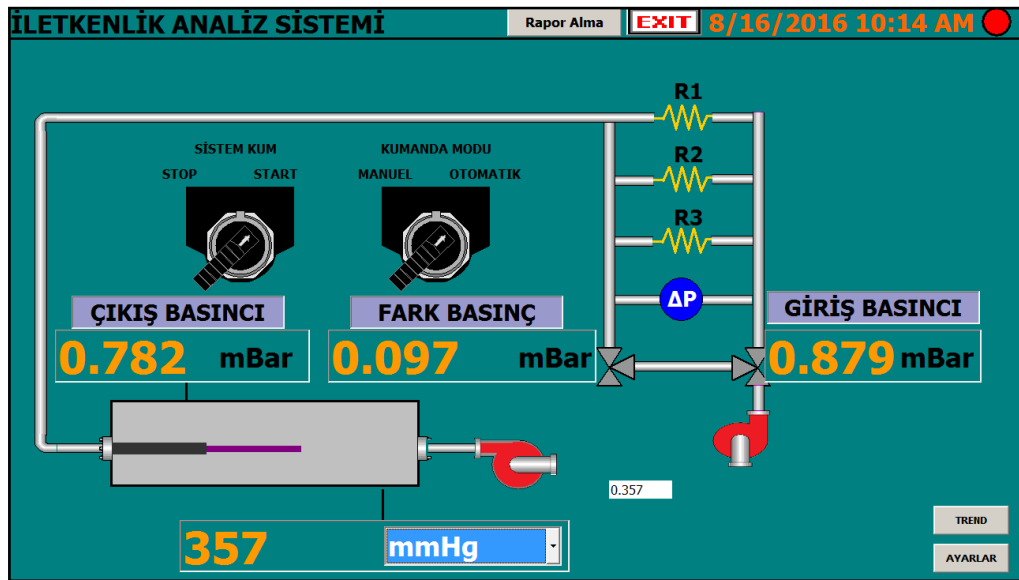
- 10- *Vakum Pompası*: Vakum tüpü içerisinde vakum basıncı oluşturmak için kullanılmaktadır. Bu düzenekte SPARKFUN marka, 12 V, 0-400 mmHg emiş gücü özellikli pompa kullanılmıştır.
- 11- *Basınç Sensörü 3*: Vakum tüpü içerisindeki vakum basıncını ölçmek için kullanılmaktadır. Bu düzenekte HUBA CONTROL marka, -1/0 bar aralığında çalışabilen sensör kullanılmıştır.
- 12- *Ölçekli Kap*: Kapiler boru kalibrasyonu yapılırken borulardan geçen sıvı miktarını ölçmek için kullanılmaktadır.
- 13- *Güç Kaynağı*: Düzenekte 2 adet güç kaynağı kullanılmıştır. Birincisi Lovato marka 12V ve 2 Amper özelliğinde iken diğeri Siemens marka 12 V ve 5 Amper özelliğindedir.
- 14- *Kontrolcü*: Siemens marka Step 7 CPU 315 modeldir.
- 15- *Kontrolcü Yazılımı*: Siemens marka Step 7 Versiyon 5.5 modeldir (Şekil 16).
- 16- *Veri Toplama Sistemi*: WinCC Flexible markadır.



Şekil 14: Hidrolik iletkenlik test düzeneği. a) Üç yollu vana, b) Kapiler boru 1, c) Kapiler boru 2, d) Kapiler boru 3, e) Kalibrasyon borusu, f) Basınç sensörü 1, g) Basınç sensörü 2, h) Vakum pompası, i) Peristaltik sıvı pompası, j) Vakum tüpü.



Şekil 15: Hidrolik iletkenlik test düzeneğinin şematik görüntüsü.



Şekil 16: Sistem yazılımının ara yüzü.

2.2.2.2 Hidrolik İletkenlik Test Düzeneginin Çalışma Prensibi

Odun parçalarının hidrolik iletkenliğini ölçmek için kullanılacak bu test düzenegi sıvı akışının basınç farkı ile olan doğrusal ilişkisine dayanmaktadır. Temel olarak test düzeneginde basınçlandırılmış sıvı, kapiler borulardan geçirilerek basınç değişimi ve debi ölçülmekte, bu sayede kapiler boruların basınç-debi ilişkileri elde edilmektedir. Daha sonra vakumlu tüp içinde bulunan odun örneği bu sistemin ucuna bağlanarak basınçlı sıvı sisteme verilmektedir. Sonrasında da kapiler borudaki basınç farkı ölçülüp daha önce tespit edilen basınç-debi ilişkisinden yararlanılarak belirli zamanda geçen sıvı miktarı belirlenmektedir. Bu ölçülen sıvı miktarı aynı zamanda odun örneğinden geçen sıvı miktarı olmaktadır. Odun örneğine verilen sıvı basıncı ve vakumlu tüp içerisindeki basınç ölçülerek bu değerlerin farkından örnek üzerindeki basınç farkı bulunmaktadır. Belirli zamanda geçen sıvı miktarı ve basınç farkının oranı da ağaç örneğinin hidrolik iletkenliğini vermektedir.

2.2.2.3 Hidrolik İletkenlik Test Düzeneginin Kalibrasyonu

Test düzeneginin kalibrasyonu, sistem ve kapiler boru kalibrasyonu olmak üzere iki aşamada gerçekleştirilecektir.

Sistem Kalibrasyonu:

Sistem kalibrasyonunda amaç; dirençsiz boru (kalibrasyon borusu) kullanıldığında sistemde oluşan basınç farkını kalibre etmektir. Bir başka deyişle sistemin iç dirençlerinden doğan basınç farkını bulmaktır. Çıkan basınç farkı baz alınarak test ölçümleri, bu değer üzerine eklenerek hesaplanacaktır. Eğer çıkan sonuç ihmal edilebilecek kadar küçük bir değerse, hesaplama katılmayacaktır. Sistem kalibrasyonu şematik olarak Şekil 17'de gösterilmiştir.

Ön Koşullar:

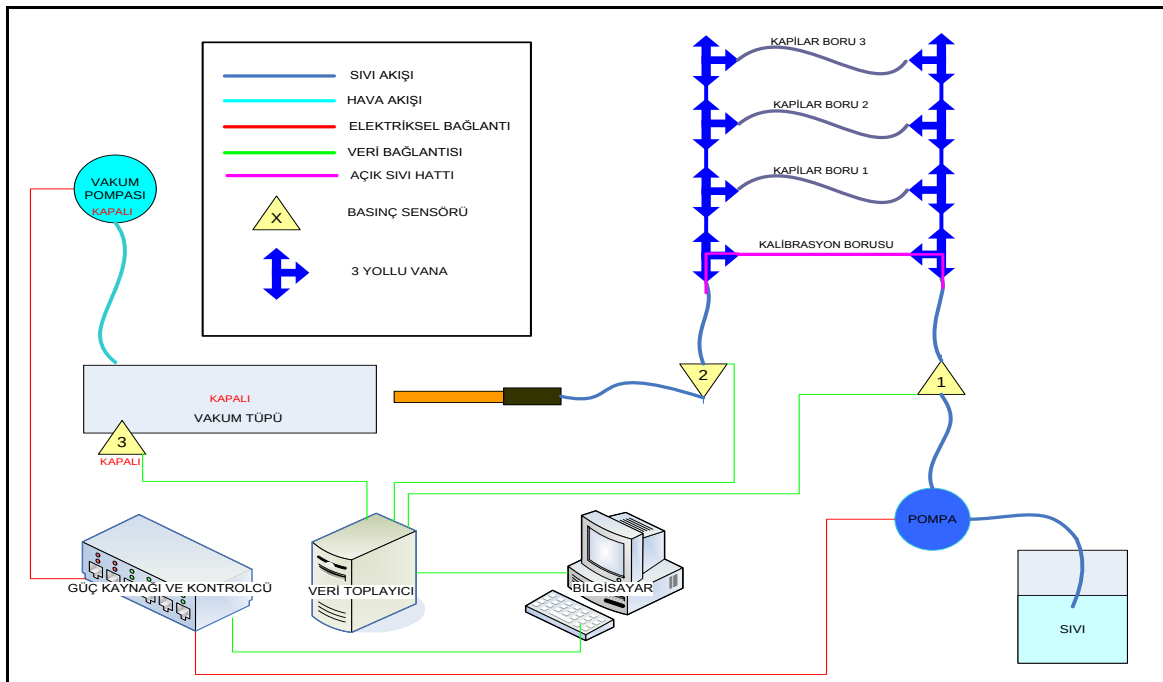
- 1- Vana konumu sıvının kalibrasyon borusundan geçeceği şekilde ayarlanır.
- 2- Sistemin sonuna basınç oluşabilmesi için bir adet odun örneği bağlanır.

Ardıl Koşullar:

- 1- Vakum Pompası kullanılmamaktadır.
- 2- Basınç Sensörü 3 kullanılmamaktadır.

Kalibrasyon adımları:

- 1- Sisteme 0.85-0.90 bar aralığında basınç verilir.
- 2- Sistem borularının sıvı dolması ve sistemin kararlı hale gelmesi beklenir.
- 3- 300 saniye boyunca Basınç Sensörü 1'den ve Basınç Sensörü 2'den ölçüm alınır.
- 4- Süre bitiminde sistem kapatılır.
- 5- Süre boyunca veri toplama sistemi vasıtasıyla ölçümü yapılan değerlerin farklarının ortalaması alınır ve not edilir.



Şekil 17: Sistem kalibrasyonu.

Kapiler boru kalibrasyonu:

Bu kalibrasyonda amaç kapiler boruların basınç-debi ilişkisini ortaya koymaktır. Bu ölçümler sonucunda çıkan grafikler odun örneklerinin sıvı iletimlerini ölçmek için kullanılacaktır. Sisteme 0-1 bar aralığında farklı basınçlar uygulanarak, akan sıvı miktarları ölçülecektir. Kapiler boru kalibrasyonu Şekil 18'de gösterilmiştir.

Ön Koşullar:

- 1- Sistemin sonu dış ortama açık bulunur.
- 2- Sistemin sonunda akan sıvının miktarının ölçülebilmesi için ölçekli kap bulundurulur.
- 3- Kalibrasyon boru vanası, bu borudan sıvı geçişine izin vermeyecek konumdadır.
- 4- Vana konumu sadece kalibrasyonu yapılacak borunun içinden sıvı geçmesine olanak verecek konumdadır.

Ardıl Koşullar:

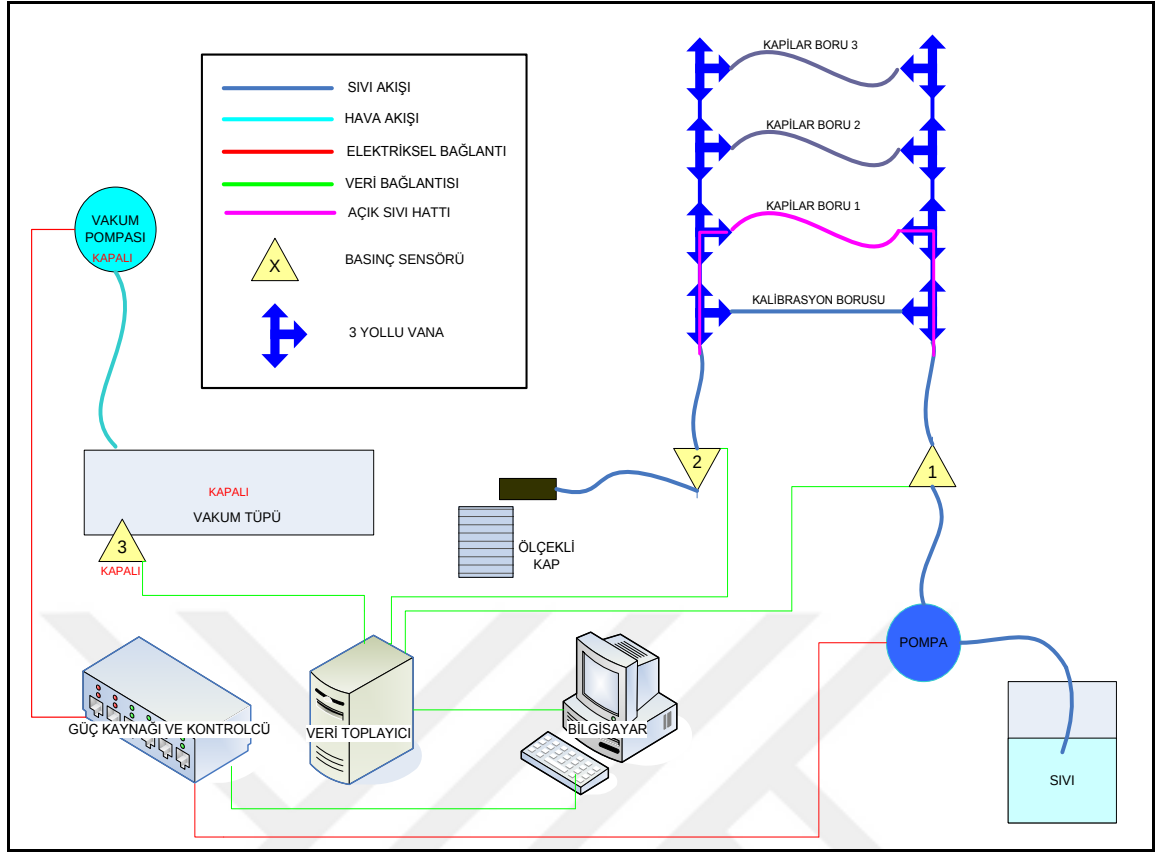
- 1- Vakum Pompası kullanılmamaktadır.
- 2- Basınç Sensörü 3 kullanılmamaktadır.

Kalibrasyon adımları:

- 1- Sisteme 0.50-0.55 bar aralığında basınç verilir.
- 2- Sistemin sıvı dolması için beklenilir.
- 3- Sistem dengeye ulaştığında ve sistem çıkışında sıvı görüldüğünde süre ölçümü başlatılır.

- 4- Ölçekli kapta belirli miktarda sıvı toplandığında sistem kapatılır.
- 5- Ölçekli kapta toplanan sıvı miktarı not edilir.
- 6- Geçen süre saniye cinsinden not edilir.
- 7- Veri toplama sistemi vasıtasıyla bu süre zarfında kaydedilen basınç farkı değerlerinin ortalaması alınarak not edilir.
- 8- Sisteme 0.55-0.60 bar aralığında basınç verilerek Adım 1-7 tekrar edilir.
- 9- Sisteme 0.60-0.65 bar aralığında basınç verilerek Adım 1-7 tekrar edilir.
- 10- Sisteme 0.65-0.70 bar aralığında basınç verilerek Adım 1-7 tekrar edilir.
- 11- Sisteme 0.70-0.75 bar aralığında basınç verilerek Adım 1-7 tekrar edilir.
- 12- Sisteme 0.75-0.80 bar aralığında basınç verilerek Adım 1-7 tekrar edilir.
- 13- Sisteme 0.80-0.85 bar aralığında basınç verilerek Adım 1-7 tekrar edilir.
- 14- Sisteme 0.85-0.90 bar aralığında basınç verilerek Adım 1-7 tekrar edilir.
- 15- Sisteme 0.90-0.95 bar aralığında basınç verilerek Adım 1-7 tekrar edilir.
- 16- Sisteme 0.95-1.00 bar aralığında basınç verilerek Adım 1-7 tekrar edilir.
- 17- Alınan sonuçlar değerlendirilir.

Bu kapiler boru test adımları bütün kapiler borular için ayrı ayrı yapılır.



Şekil 18: Kapiler boru kalibrasyonu.

2.2.2.4 Hidrolik İletkenliğin Ölçülmesi

Ön Hazırlık İşlemi;

Odun örnekleri üzerinde hidrolik iletkenliğin ölçülmesinden önce örnekler basınçlı su verilmesi gerekmektedir. Bu işlemin amacı, örnek içinde sıvı iletimini etkileyebilecek havanın ve küçük tortuların dışarı atılmasını sağlamaktır.

Ön Koşullar:

- 1- Vana konumları sıvının sadece kalibrasyon borusundan geçebileceği şekilde ayarlanır.
- 2- Sistemin ucuna, su verilecek örnek bağlanır.

- 3- Sıvının tüm parçaya nüfuz ettiğinin görülmesi için parça vakum tüpüne yerleştirilmemektedir.

Basınçlı su verme işlemi adımları:

- 1- Sisteme 0.95-1.00 bar aralığında basınç verilir.
- 2- Örnek tamamen ıslanana kadar beklenir.
- 3- Sistem kapatılır.
- 4- Basınç verileri takip edilerek işlem süresince doğru basıncın uygulandığı kontrol edilir.

Bu işlem iletkenlik ölçümü yapılacak her parça için testten hemen önce uygulanır.

Hidrolik İletkenlik Ölçümü;

Odun örnekleri ön hazırlık işleminden geçirildikten sonra kalibrasyonu yapılan sistemden yararlanılarak hidrolik iletkenlik değerleri ölçülecektir.

Ön Koşullar:

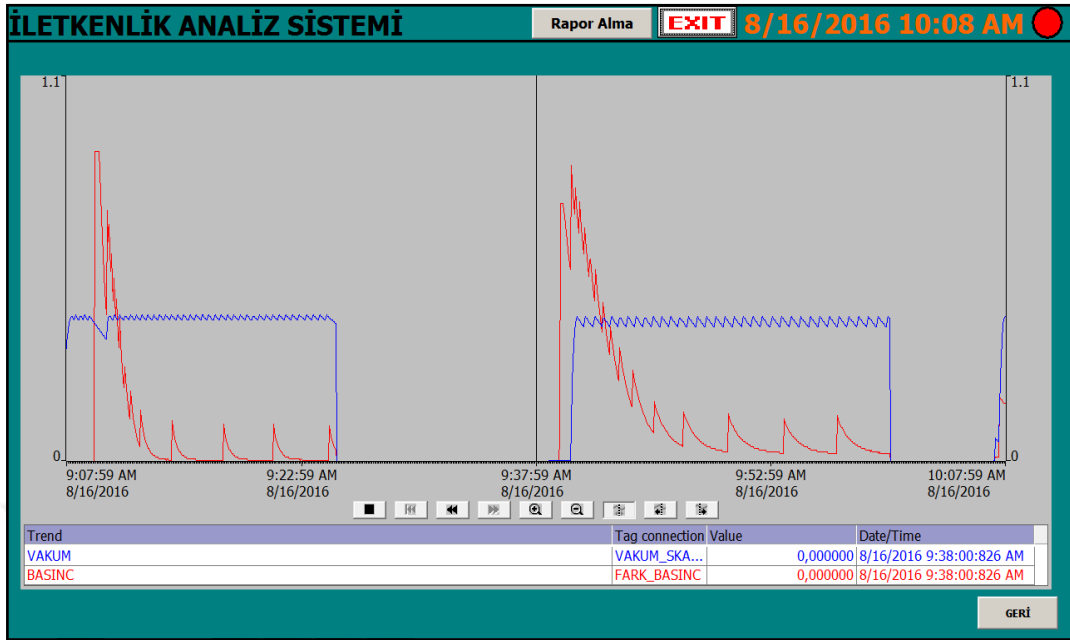
- 1- Kalibrasyon boru vanası bu borudan sıvı geçişi olmayacak şekilde ayarlanır.
- 2- Ağaç örneği basınçlı su verme işlemine tabidir.
- 3- Ağaç örneği vakum tüpü içerisine yerleştirilir.

Test Adımları:

- 1- Vana konumu sıvının sadece kapiler Boru 1'den geçişine izin verecek şekilde konumlandırılır.

- 2- Vakum pompası 400-415 mmHg basınç aralığında çalışacak şekilde ayarlanır.
- 3- Pompa basıncı 0.85-0.90 bar aralığında çalışacak şekilde ayarlanır.
- 4- Sistem kontrol yazılımı vasıtasıyla çalıştırılır.
- 5- Basınç Sensörü 2 değerlerinin dengeye gelmesi ve kararlı sonuçlar vermesi beklenir.
- 6- Kontrol Yazılımı vasıtasıyla Trend Eğrisi kontrol edilerek sistemin doyumluğa ulaştığı ve sıvı iletiminin düzgün olduğu zaman aralığı belirlenir (Şekil 19).
- 7- Sistem kapatılır.
- 8- Veri Toplama Sistemi vasıtasıyla alınan Basınç Fark değeri, Basınç Sensörü 1 (Çıkış basıncı) değeri ve Basınç Sensörü 3 (Vakum basıncı) değeri 6. adımda belirlenen zaman aralığında alınan değerlerin ortalaması olarak not edilir.
- 9- Vana konumu sıvının sadece kapiler Boru 2'den geçişine izin verecek şekilde konumlandırılarak Adım 2-8 tekrarlanır.
- 10- Vana konumu sıvının sadece kapiler Boru 3'den geçişine izin verecek şekilde konumlandırılarak Adım 2-8 tekrarlanır.
- 11- Kapiler boru kalibrasyonları sonrasında elde edilen eğrilerden basınç farkı değerleri kullanılarak sıvı iletimi miktarları belirlenir.
- 12- Sonuçlar değerlendirilir ve örneğin belirli süredeki sıvı iletimi belirlenir.
- 13- Basınç sensörü 2 ve Basınç sensörü 3 verileri kullanılarak parça üzerindeki basınç farkı belirlenir.

14- Sıvı iletimi ve basınç farkı oranlanarak örneğin hidrolik iletkenliği bulunur.



Şekil 19: Sistemin doygunluğa ulaştığını gösteren Trend Eğrileri.

Uludağ Göknaarı (*Abies bornmulleriana* Mattf.)'nın hidrolik iletkenliği, gövde boyunca farklı yüksekliklerden alınan örnekler üzerinde yukarıdaki test prosedürleri uygulanarak ölçülmüştür.

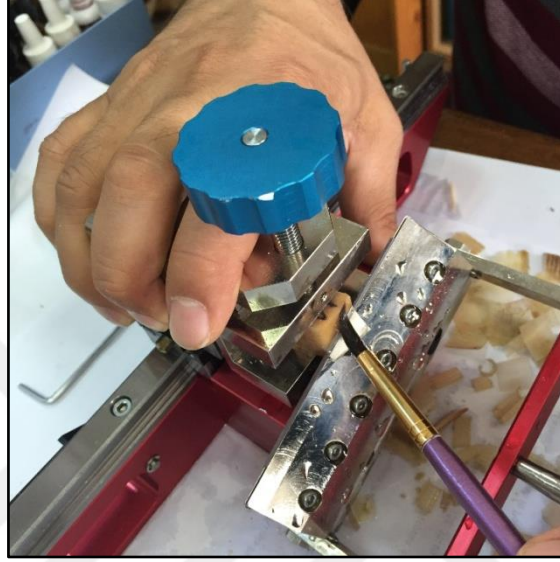
2.2.3 Anatmik Özelliklerin Belirlenmesi

Uludağ Göknaarı (*Abies bornmulleriana* Mattf.)'na ait farklı yüksekliklerden alınan odun örneklerinin mikroskobik özelliklerinin belirlenmesi ve değerlendirilmesi amacıyla yapılan işlemler aşağıda verilmiştir.

2.2.3.1 Kesit Alma ve Preparat Hazırlama

Ormandan kesilerek laboratuvar ortamına getirilen tekerler şeklindeki odun örnekleri üzerinde mikroskobik incelemelerin yapılması amacıyla kesitler alınarak preparatlar hazırlanmıştır. Bunun için öncelikle tekerler halindeki materyallerden 1.5x1.5x1.5 cm boyutlarında küp şeklindeki odun örnekleri her bir yükseklik kademesinden (0.3, 1.3.....19.3 m) ayrı ayrı kesilmiştir.

Küp şeklindeki örnekler, dokulardaki havanın dışarı çıkması ve yumuşatılarak kesit alımını kolaylaştırmak amacıyla destile su içerisinde dibe çökene kadar kaynatılmıştır. Daha sonra örnekler gliserin, etil alkol ve destile sudan (6:2:2 v/v) oluşan çözelti içerisinde 20 gün bekletilmiştir. Yumuşatma işleminin ardından mikrotom ile 15-20 mikron kalınlığında boyuna, teğet ve radyal olmak üzere kesitler alınmıştır (Şekil 20).



Şekil 20: Odun örneklerinden kesit alınması.

Alınan kesitler preparat haline getirilirken öncelikle sodyum hipoklorit ile şeffaflaştırılmış, destile su ile yıkanıp, alkol ile muamele edilmiştir. Daha sonra kesitler safranin ile boyanmıştır. Fazla boyanın giderilmesi için alkolle tekrar yıkanmıştır. Son olarak kesitler lam üzerine yerleştirilerek ölçümler için hazır hale getirilmiştir (Merev, 1998).

Kesitler üzerinde; ilkbahar ve yaz odunu traheid teğet ve radyal çapı, 1mm^2 'deki traheid sayısı, kenarlı geçit ve porus çapı ölçümleri yapılmıştır. Ölçümler oküler mikrometresi takılmış Olympus CX21 binoküler ışık mikroskobu kullanılarak x40 objektifte (1 taksimat= $2,5\text{ }\mu\text{m}$) yapılmıştır.

2.2.3.2 Maserasyon İşlemi

Traheid boyutlarının belirlenebilmesi amacıyla, odun elemanlarının serbest hale getirilmesi gerekmiş ve bu amaçla “Schultze Maserasyon Yöntemi” kullanılmıştır. Bunun için öncelikle odun örnekleri kibrit çöpü büyüklüğünde parçalara ayrılmıştır. Daha sonra

örnekler bir kap içerisine konulmuş ve üzerine derişik nitrik asit (NHO_3) ve potasyum klorat (KClO_3) eklenmiştir. Odun dokuları çözülmeye başlayıncaya kadar kaplar ısıtılmıştır (Aytuğ, 1959). Isıtıcıdan alınan örnekler bir süre beklendikten sonra manyetik karıştırıcıda ayrıştırılmıştır. Bunu takiben ayrıştırılan örnekler destile su ile yıkanmış ve alkol ile muamele edilmiştir. Son olarak örnekler içine süzgeç kağıdı koyulan buhner hunisinde süzülerek küçük bir şişede gliserin ile depo edilmiştir.

Ölçümler sırasında gliserin içindeki örneklerden bir damla alınarak lam-lamel arasına yerleştirilmiştir. Olympus CX21 binoküler ışık mikroskobu kullanılarak traheidlerin uzunlukları, genişlikleri, lümen genişlikleri ile çift çeper kalınlıkları incelenmiştir. Traheid uzunlukları için x10 objektif (1 taksimat=10 μm), diğer ölçümler için x40 objektif (1 taksimat=2,5 μm) kullanılmıştır.

2.2.3 İstatistiksel Değerlendirme

Yapılan mikroskobik inceleme ve hidrolik iletkenlik ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesinde SPSS paket programı kullanılmıştır. 11 farklı yükseklik noktasında yapılan tüm ölçümlerde, yüksekliğin etkisinin anlamlı olup olmadığını belirlemek için ANOVA (Repeated Measure ANOVA) testi uygulanmıştır.

BÖLÜM 3

BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1 Hidrolik İletkenlik Test Düzenine Ait Bulgular

Uludağ Göknarı (*Abies bornmulleriana* Mattf.)'na ait 0.3 m, 1.3 m, 3.3 m, 5.3 m, 7.3 m, 9.3 m, 11.3 m, 13.3 m, 15.3 m, 17.3 m ve 19.3 m gövde yüksekliğinden alınan odun örneklerinin hidrolik iletkenlik değerleri kurulan test düzeneği ile belirlenmiştir. Test düzeneğinin kalibrasyonuna ait bulgular ve ölçüm sonuçları aşağıda verilmiştir.

3.1.1 Kapiler Boru Kalibrasyonuna Ait Bulgular

Hidrolik iletkenlik test düzeneğinde kapiler boruların kalibrasyonu sonucunda elde edilen basınç farkı/debi eğrileri odun örneklerinin hidrolik iletkenliklerinin ölçümünde kullanılmıştır. Bu test düzeneğinde 3 farklı kapiler boru bulunmaktadır. Bu kapiler boruların kalibrasyonuna ait bulgular aşağıda yer almaktadır.

3.1.1.1 Kapiler Boru 1'in Kalibrasyonuna Ait Bulgular

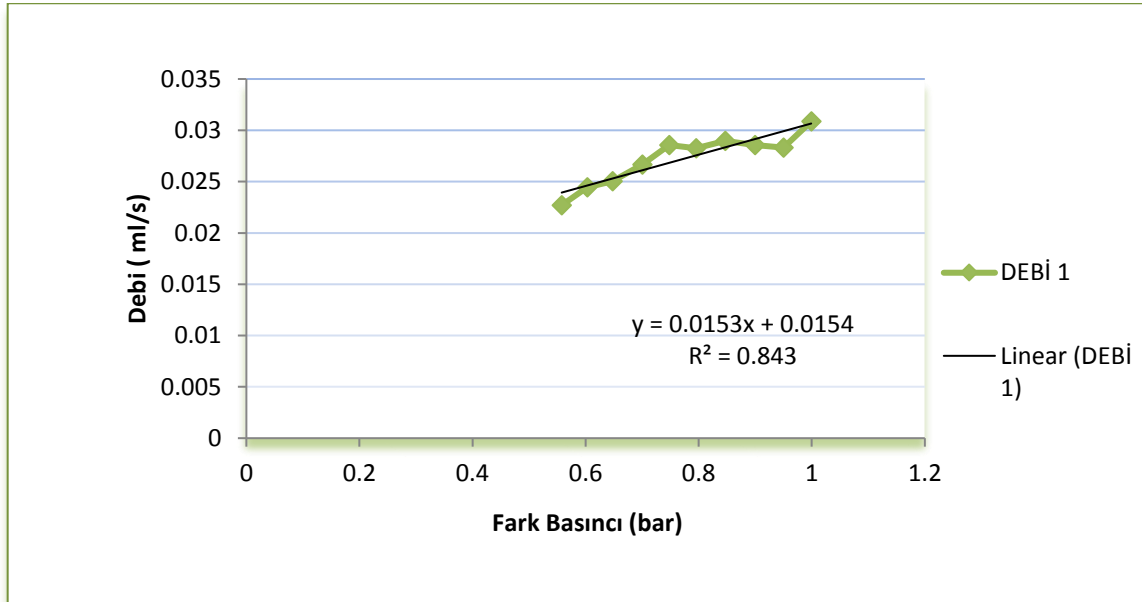
Kapiler Boru 1, 0.17 mm iç çapa ve 9.5 cm uzunluğa sahiptir. Kalibrasyon işlemi sırasında 0.50 ile 1 bar aralığından farklı basınçlar uygulanarak debi ölçülmüştür. Buna göre giriş basıncının artması ile debinin de artış gösterdiği tespit edilmiştir. Kalibrasyon sırasında kullanılan basınç set değerleri, ortalama fark basınçları ve debi değerleri Tablo 1'de, basınç farkı/debi doğrusal yaklaşım eğrisi ve denklemi de Şekil 21'de verilmiştir.

Tablo 1: Kapiler boru 1'e ait kalibrasyon ölçüm sonuçları.

ADIM NO	GİRİŞ SET BASINCI (bar)	ORTALAMA FARK BASINCI (bar)	SIVI MİKTARI (ml)	SÜRE (s)	DEBİ (ml/s)
1	0.50	0.55	0.56	20	881
2	0.55	0.60	0.60	12	491
3	0.60	0.65	0.64	12	479
4	0.65	0.70	0.70	10	375
5	0.70	0.75	0.74	10	350
6	0.75	0.80	0.79	10	354
7	0.80	0.85	0.84	12	414
8	0.85	0.90	0.89	10	350
9	0.90	0.95	0.94	10	353
10	0.95	1.00	0.99	20	648

Kurulan test düzeneğinde hassas ölçümlerin yapılabilmesi kalibrasyon sırasında sıvı miktarlarının doğru okunmasına, sürelerin doğru şekilde tespit edilmesine ve sensör hassasiyetine bağlı olduğundan işlemler sırasında gerekli titizlik gösterilmiştir.

Kapiler boruların çok küçük çaplı olması ve buna bağlı olarak sıvı sıcaklığının bile ölçümler üzerinde viskozite kaynaklı değişiklikler yaratabileceği göz önüne alınarak test süreleri uzun tutulmaya çalışılmıştır.



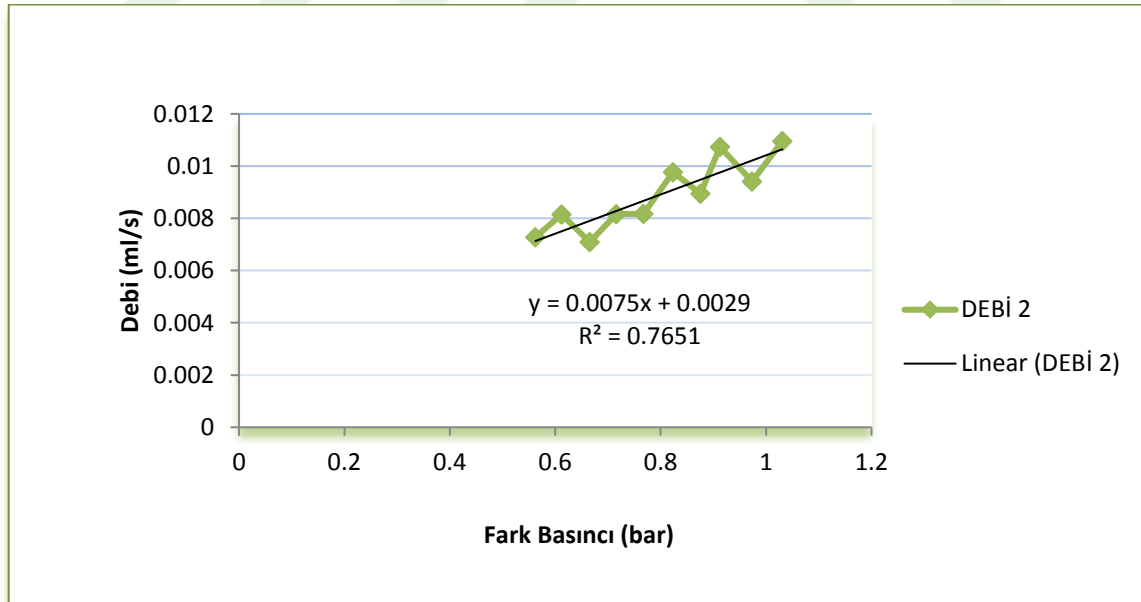
Şekil 21: Kapiler Boru 1 basınç farkı/debi doğrusal yaklaşım eğrisi ve denklemi.

3.1.1.2 Kapiler Boru 2'nin Kalibrasyonuna Ait Bulgular

Kapiler Boru 2, 0.17 mm iç çapa ve 28 cm uzunluğa sahiptir. Kalibrasyon sırasında kullanılan basınç set değerleri, ortalama fark basınçları ve debi değerleri Tablo 2'de, basınç farkı/debi doğrusal yaklaşım eğrisi ve denklemi de Şekil 22'de verilmiştir.

Tablo 2: Kapiler boru 2'ye ait kalibrasyon ölçüm sonuçları.

ADIM NO	GİRİŞ SET BASINCI (bar)		ORTALAMA FARK BASINCI (bar)	SIVI MİKTARI (ml)	SÜRE (s)	DEBİ (ml/s)
1	0.50	0.55	0.56	4	550	0.0072
2	0.55	0.60	0.61	4	491	0.0081
3	0.60	0.65	0.66	6	846	0.0070
4	0.65	0.70	0.71	10	1226	0.0081
5	0.70	0.75	0.76	10	1223	0.0081
6	0.75	0.80	0.82	8	819	0.0097
7	0.80	0.85	0.87	8	894	0.0089
8	0.85	0.90	0.91	8	745	0.0107
9	0.90	0.95	0.97	4	425	0.0094
10	0.95	1.00	1.03	8	730	0.0109



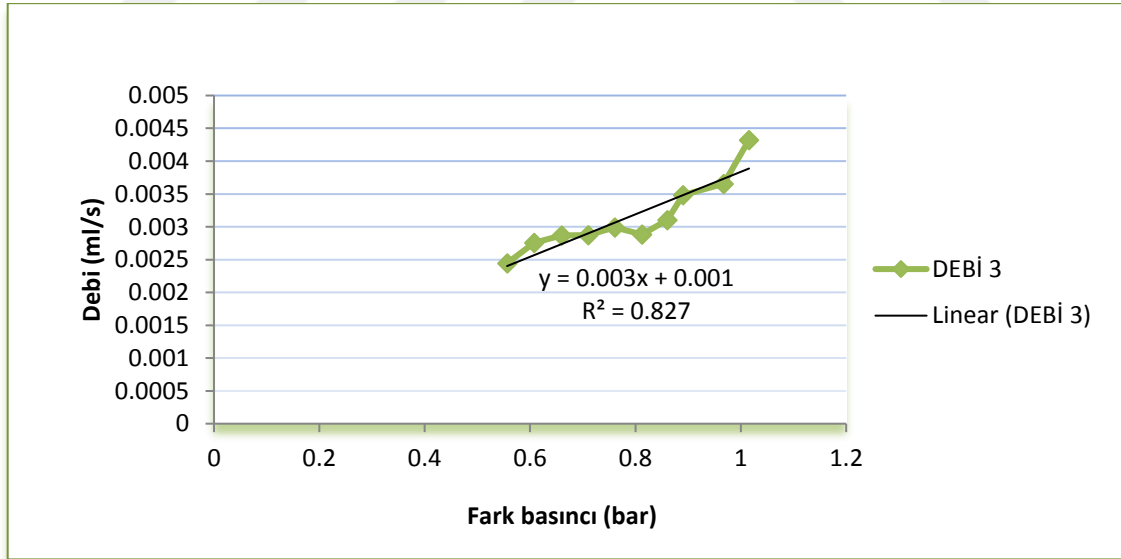
Şekil 22: Kapiler boru 2 basınç farkı/debi doğrusal yaklaşım eğrisi ve denklemi.

3.1.1.3 Kapiler Boru 3'ün Kalibrasyonuna Ait Bulgular

Kapiler Boru 3, 0.13 mm iç çapa ve 28 cm uzunluğa sahiptir. Kalibrasyon sırasında kullanılan basınç set değerleri, ortalama fark basınçları ve debi değerleri Tablo3'de basınç farkı/debi doğrusal yaklaşım eğrisi ve denklemi de Şekil 23'de verilmiştir.

Tablo 3: Kapiler boru 3'e ait kalibrasyon ölçüm sonuçları.

ADIM NO	GİRİŞ SET BASINCI (bar)	ORTALAMA FARK BASINCI (bar)	SIVI MİKTARI (ml)	SÜRE (s)	DEBİ (ml/s)
1	0.50	0.55	6	2454	0.0024
2	0.55	0.60	6	2177	0.0027
3	0.60	0.65	6.5	2265	0.0028
4	0.65	0.70	6.5	2261	0.0028
5	0.70	0.75	6	2007	0.0029
6	0.75	0.80	6	2081	0.0028
7	0.80	0.85	6	1934	0.0031
8	0.85	0.90	6	1722	0.0034
9	0.90	0.95	6.5	1778	0.0036
10	0.95	1.00	5.5	1272	0.0043



Şekil 23: Kapiler boru 3 basınç farkı/debi doğrusal yaklaşım eğrisi ve denklemi.

3.1.2 Hidrolik İletkenlik Ölçümlerine Ait Bulgular

Uludağ Göknaarı (*Abies bornmulleriana* Mattf.)'nın 0.3 m, 1.3 m, 3.3 m.....ve 19.3 m gövde yüksekliklerinden alınan örnekleri üzerinde 3 farklı kapiler boru ve 3 tekrar olmak üzere 9 ölçüm yapılmıştır. Ölçüm sonuçlarına ait veriler Tablo 4'de, ölçüm sonuçlarının ortalamaları, standart sapmaları, minimum ve maksimum değerleri de Tablo 5'de verilmiştir.

Tablo 4: Uludağ Göknaarı (*Abies bornmulleriana* Mattf.)'nın hidrolik iletkenlik değerleri.

Yükseklik (m)	Basınç Set Değeri (bar)	Ölçülen Ortalama Fark Basıncı (bar)	Kalibre Ortalama Fark Basıncı (bar)	Ortalama Çıkış Basıncı (bar)	Ortalama Vakum Tüpü Basıncı (bar)	Parça Üzerindeki Fark Basıncı (bar)	Hesaplanan Debi (ml/s)	Ortalama Hidrolik İletkenlik (ml s ⁻¹ MPa ⁻¹ x10 ⁻²)
0.3	0,85	0,90	0,045	0,055	0,826	0,500	0,001841	5,596
1.3	0,85	0,90	0,056	0,066	0,818	0,509	0,001891	6,082
3.3	0,85	0,90	0,051	0,061	0,804	0,507	0,001843	6,255
5.3	0,85	0,90	0,079	0,089	0,797	0,508	0,001986	7,019
7.3	0,85	0,90	0,087	0,089	0,782	0,513	0,001962	7,613
9.3	0,85	0,90	0,069	0,084	0,808	0,503	0,002135	7,121
11.3	0,85	0,90	0,100	0,097	0,779	0,498	0,002029	7,468
13.3	0,85	0,90	0,068	0,078	0,791	0,506	0,001920	6,862
15.3	0,85	0,90	0,076	0,086	0,789	0,511	0,001950	7,231
17.3	0,85	0,90	0,083	0,093	0,804	0,511	0,002000	6,879
19.3	0,85	0,90	0,060	0,070	0,815	0,511	0,001876	6,193

Tablo 5: Hidrolik iletkenlik ölçüm sonuçlarının ortalamaları, minimum ve maksimum değerleri ile standart sapmaları.

Yükseklik(m)	n	x (mls ⁻¹ MPa ⁻¹ x10 ⁻²)	Min. Değer (mls ⁻¹ MPa ⁻¹ x10 ⁻²)	Max. Değer (mls ⁻¹ MPa ⁻¹ x10 ⁻²)	s
0.3	9	5,596	4.439	7.045	1.033
1.3	9	6,082	5.242	7.349	0.886
3.3	9	6,255	5.061	8.028	1.183
5.3	9	7,019	5.131	8.752	1.223
7.3	9	7,613	4.888	9.872	1.616
9.3	9	7,121	5.716	9.586	1.319
11.3	9	7,468	5.274	8.946	1.428
13.3	9	6,862	5.368	8.375	1.199
15.3	9	7,231	5.241	8.699	1.432
17.3	9	6,879	5.716	9.031	1.268
19.3	9	6,193	5.065	7.628	0.969

n: Ölçüm sayısı, x: Aritmetik ortalama, s: Standart sapma

0.3 m yükseklikten itibaren farklı gövde yüksekliklerinden alınan örneklerin hidrolik iletkenlik değerleri arasında anlamlı farkların olup olmadığı analiz edilmiş ve analiz sonuçlarına ait ortalama farkları, standart hataları ve farkın % 95 güven aralığında önemli olup olmadığını gösteren önem düzeyleri Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6: Farklı gövde yüksekliklerinden alınan örneklere ait hidrolik iletkenlik değerlerinin karşılaştırmalı analiz sonuçları.

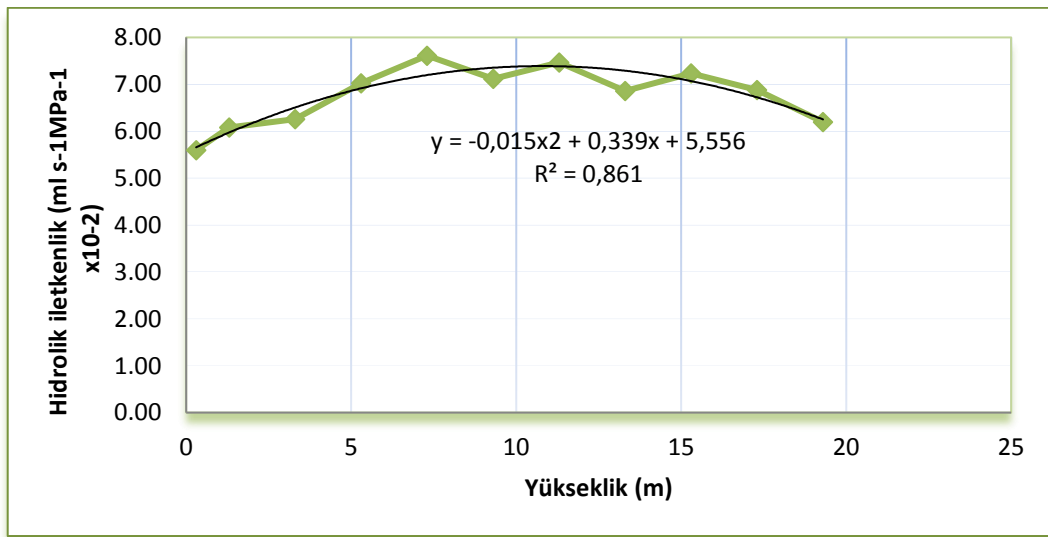
Yükseklik1 (Y1)(m)	Yükseklik2 (Y2)(m)	Ortalama Farkları (Y1-Y2)	Standart Hata	Önem Düzeyi(P<0,05)
0.3	1.3	-0,486	0,100	0,068
	3.3	-0,658	0,285	1,000
	5.3	-1,423	0,418	0,508
	7.3	-2,016	0,581	0,465
	9.3	-1,524	0,571	1,000
	11.3	-1,872	0,516	0,368
	13.3	-1,265	0,346	0,351
	15.3	-1,634	0,457	0,399
	17.3	-1,283	0,223	0,053
	19.3	-0,597	0,185	0,669
1.3	3.3	-0,172	0,237	1,000
	5.3	-0,937	0,330	1,000
	7.3	-1,530	0,502	0,871
	9.3	-1,038	0,505	1,000
	11.3	-1,385	0,459	0,909
	13.3	-0,779	0,285	1,000
	15.3	-1,148	0,395	1,000
	17.3	-0,797	0,181	0,126
	19.3	-0,110	0,121	1,000
3.3	5.3	-0,764	0,377	1,000
	7.3	-1,357	0,444	0,863
	9.3	-0,866	0,539	1,000
	11.3	-1,213	0,376	0,668
	13.3	-0,606	0,342	1,000
	15.3	-0,975	0,313	0,787
	17.3	-0,624	0,269	1,000
	19.3	0,061	0,206	1,000
5.3	7.3	-0,592	0,284	1,000
	9.3	-0,101	0,396	1,000
	11.3	-0,448	0,379	1,000
	13.3	0,158	0,242	1,000
	15.3	-0,210	0,311	1,000
	17.3	0,140	0,311	1,000
	19.3	0,826	0,274	0,912
7.3	9.3	0,491	0,422	1,000
	11.3	0,144	0,318	1,000
	13.3	0,751	0,361	1,000
	15.3	0,382	0,322	1,000
	17.3	0,733	0,475	1,000
	19.3	1,419	0,413	0,486

Tablo 6: devam ediyor.

9.3	11.3	-0,347	0,407	1,000
	13.3	0,259	0,303	1,000
	15.3	-0,109	0,414	1,000
	17.3	0,241	0,468	1,000
	19.3	0,927	0,456	1,000
11.3	13.3	0,606	0,315	1,000
	15.3	0,237	0,141	1,000
	17.3	0,588	0,435	1,000
	19.3	1,274	0,348	0,350
13.3	15.3	-0,369	0,256	1,000
	17.3	-0,017	0,195	1,000
	19.3	0,668	0,210	0,711
15.3	17.3	0,351	0,346	1,000
	19.3	1,037	0,285	0,361
17.3	19.3	0,686	0,166	0,178

0.3 m'den itibaren her bir yükseklik kademesinden alınan örneklerin hidrolik iletkenlik değerlerinin karşılaştırılması sonucunda önem düzeyinin 0,05'den büyük olması dolayısıyla yükseklik kademeleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark tespit edilmemiştir.

Yükseklığe bağlı olarak hidrolik iletkenlik değerlerinde meydana gelen değişimler Şekil 24'de görülmektedir. Buna göre en yüksek hidrolik iletkenlik değeri ($7.613 \text{ ml s}^{-1}\text{MPa}^{-1} \times 10^{-2}$) 7.3 m'de, en düşük hidrolik iletkenlik değeri ($5.596 \text{ ml s}^{-1}\text{MPa}^{-1} \times 10^{-2}$) ise 0.3 m'de tespit edilmiştir.



Şekil 24: Yüksekliğe bağlı hidrolik iletkenlik değişim eğrisi.

Yüksekliğe bağlı hidrolik iletkenlik değişim eğrisi incelendiğinde hidrolik iletkenliğin matematiksel olarak gövde ortasına doğru artış gösterdiği, daha sonra tekrar azaldığı tespit edilmiştir. Ancak istatistiksel değerlendirme sonucuna göre hidrolik iletkenliğin tüm gövde boyunca benzer sonuçlar verdiği saptanmıştır. Spicer ve Gartner (2001) *Pseudotsuga menziesii* var. *menziesii* (Mirb.) üzerinde yaptığı çalışmada diri odunun spesifik iletkenliğinin taç tabanında en yüksek değere ulaştığını, gövdenin tepe noktasına ve dip kısmına doğru azaldığını ifade etmiştir. *Picea abies*'in spesifik iletkenliğine ait benzer bir sonuç da Sellin (1993) tarafından bildirilmiştir. *Pinus banksiana* (Pothier vd., 1989a), *Picea sitchensis* ve *Pinus contorta* (Whitehead vd., 1984)'nın taç kısmında ölçülen spesifik iletkenlik değerleri, taç tabanından tepe noktasına kadar iletkenliğin benzer şekilde azaldığını göstermiştir.

3.2 Anatomik Ölçümlere Ait Bulgular

Uludağ Göknarı (*Abies bornmulleriana* Mattf.)'na ait farklı gövde yüksekliklerinden (0.3, 1.3, 3.3.....19.3 m) alınan odun örneklerinin traheid uzunluğu, traheid genişliği, lümen genişliği, çift çeper kalınlığı, ilkbahar odunu traheid teğet çapı, ilkbahar odunu traheid radyal çapı, yaz odunu traheid teğet çapı, yaz odunu traheid radyal çapı, kenarlı geçit çapı, porus çapı ve 1 mm²'deki traheid sayısı mikroskobik inceleme ile belirlenmiştir. İnceleme sonuçlarına ait tüm bilgiler aşağıda verilmiştir.

3.2.1 Traheid Uzunluğuna Ait Ölçümler

Uludağ Göknarı (*Abies bornmulleriana* Mattf.)'ın 0.3 m, 1.3 m, 3.3 m.....ve 19.3 m gövde yüksekliğinden alınan her bir örneği üzerinde 100'er adet traheid uzunluğu ölçülmüştür. Ölçüm sonuçlarının ortalamaları, standart sapmaları, minimum ve maksimum değerleri Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 7: Traheid uzunluğu ölçüm sonuçlarının ortalamaları, minimum ve maksimum değerleri ile standart sapmaları.

Yükseklik (m)	n	x (μm)	Min. Değer (μm)	Max. Değer (μm)	s
0.3	100	3212.3	900	4550	675.8
1.3	100	3362.9	790	4740	852.2
3.3	100	3391.3	1575	5625	694.1
5.3	100	3592.2	880	4970	945.6
7.3	100	3751.6	800	5850	994.9
9.3	100	3776.3	1850	5250	674.8
11.3	100	3448.8	1750	4875	690.8
13.3	100	3391.3	1575	5625	694.1
15.3	100	3146.5	1650	4650	626.8
17.3	100	2914.5	1325	4600	686.8
19.3	100	2820.3	1375	4375	509.6

n: Ölçüm sayısı, x: Aritmetik ortalama, s: Standart sapma

0.3 m yükseklikten itibaren farklı yüksekliklerden alınan örneklerin traheid uzunlukları arasında anlamlı farkların olup olmadığı analiz edilmiş ve analiz sonuçlarına ait ortalama farkları, standart hataları ve farkın % 95 güven aralığında önemli olup olmadığını gösteren önem düzeyleri Tablo 8'de verilmiştir.

Tablo 8: Farklı gövde yüksekliklerinden alınan örneklerle ait traheid uzunluklarının karşılaştırmalı analiz sonuçları.

Yükseklik1 (Y1)(m)	Yükseklik2 (Y2)(m)	Ortalama Farkları (Y1-Y2)	Standart Hata	Önem Düzeyi(P<0,05)
0.3	1.3	-150.600	105.510	1.000
	3.3	-179.000	100.840	1.000
	5.3	-379.900	119.010	0.104
	7.3	-539.300*	118.260	0.001
	9.3	-563.950*	92.600	0.000
	11.3	-236.450	96.180	0.863
	13.3	-179.000	100.840	1.000
	15.3	65.800	95.110	1.000
	17.3	297.800	99.490	0.192
	19.3	392.050*	92.250	0.003
1.3	3.3	-28.400	104.390	1.000
	5.3	-229.300	122.190	1.000
	7.3	-388.700	134.760	0.265
	9.3	-413.350*	108.140	0.013
	11.3	-85.850	96.290	1.000
	13.3	-28.400	104.390	1.000
	15.3	216.400	98.750	1.000
	17.3	448.400*	110.010	0.005
	19.3	542.650*	103.550	0.000

Tablo 8: devam ediyor.

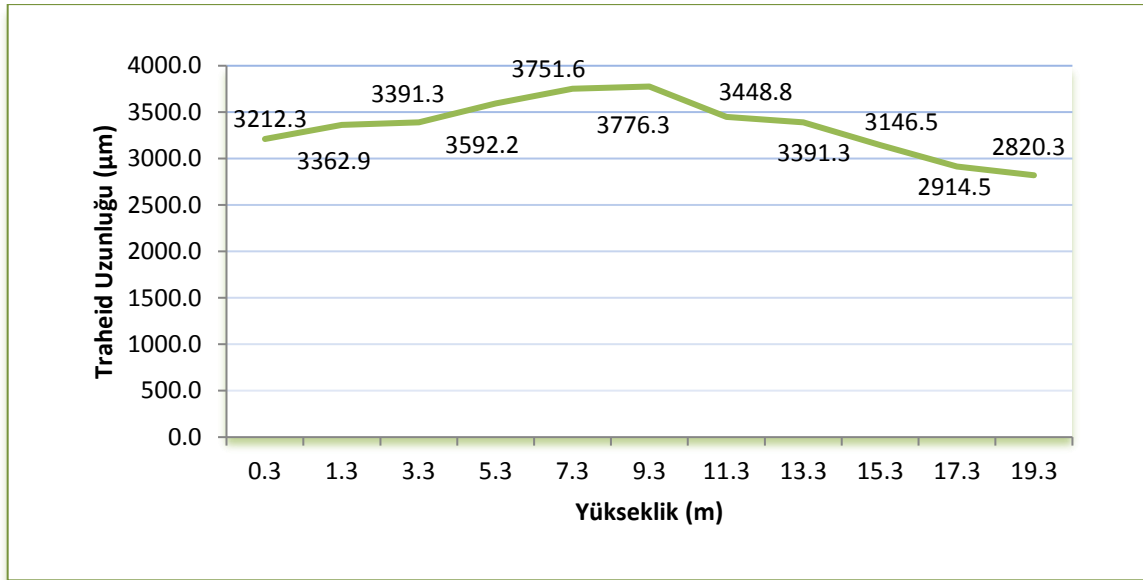
5.3	7.3	-159.400	120.910	1.000
	9.3	-184.050	124.670	1.000
	11.3	143.450	114.400	1.000
	13.3	200.900	129.280	1.000
	15.3	445.700*	115.200	0.011
	17.3	677.700*	115.260	0.000
	19.3	771.950*	104.580	0.000
7.3	9.3	-24.650	116.900	1.000
	11.3	302.850	121.530	0.790
	13.3	360.300	120.290	0.191
	15.3	605.100*	120.010	0.000
	17.3	837.100*	118.040	0.000
	19.3	931.350*	103.330	0.000
9.3	11.3	327.500	98.310	0.067
	13.3	384.950*	93.160	0.004
	15.3	629.750*	94.560	0.000
	17.3	861.750*	101.720	0.000
	19.3	956.000*	80.940	0.000
11.3	13.3	57.450	99.950	1.000
	15.3	302.250	91.690	0.075
	17.3	534.250*	98.980	0.000
	19.3	628.500*	87.190	0.000
13.3	15.3	244.800	78.790	0.136
	17.3	476.800*	91.820	0.000
	19.3	571.050*	83.890	0.000
15.3	17.3	232.000	90.400	0.648
	19.3	326.250*	80.480	0.006
17.3	19.3	94.250	92.110	1.000

0.3 m yükseklikten alınan örneklerin traheid uzunluklarının, 7.3 m, 9.3 m ve 19.3 m'deki traheid uzunlukları ile 0.05 önem düzeyine göre istatistiksel bir fark oluşturduğu tespit edilmiştir. Ölçüm sonuçlarına göre 0.3 m'den alınan traheid uzunluklarının 7.3 m'den alınan traheid uzunluklarına göre yaklaşık % 14 ve 9.3 m'den alınan traheid uzunluklarının göre yaklaşık % 15 daha kısa olduğu, 19.3 m'den alınan örneklerin traheid uzunluklarına göre ise yaklaşık % 14 daha uzun olduğu bulunmuştur.

1.3 m ve 3.3 m'deki traheidlerin 9.3 m'deki traheidlerden daha kısa, 17.3 ve 19.3 m'deki traheidlerden daha uzun olduğu saptanmıştır. 5.3 m'deki traheidlerin 15.3, 17.3 ve 19.3 m'deki traheidlerden daha kısa ve 7.3 m'deki traheidlerin de 0.3, 15.3, 17.3 ve 19.3 m'deki traheidlere göre daha uzun olduğu ortaya konmuştur. Ağaç gövdesi boyunca ortalama en uzun traheid boyu 9.3 m'de ölçülmüş olup, diğer yüksekliklerle arasındaki fark 0.3, 1.3, 3.3, 13.3, 15.3, 17.3 ve 19.3 m'de istatistiksel olarak anlamlı kabul edilmiştir. Ayrıca 17.3

ve 19.3 m’de traheid uzunluklarının 11.3 ve 13.3 m’deki traheid uzunluklarından da kısa olduğu bulunmuştur.

Yüksekliğe bağlı olarak traheid uzunluklarında meydana gelen değişimler Şekil 25’de görülmektedir. Buna göre traheid uzunluklarının 0.3 m’den 9.3 m’ye kadar arttığı ve 9.3 m’de en fazla uzunluğa (3776.3 μm) ulaştığı, bu noktadan sonra traheid boylarının tekrar kısaldığı bulunmuştur. En kısa traheid uzunluğu (2820.3 μm) 19.3 m’de ölçülmüştür. Keskinol (1996) da yaptığı çalışmasında *Picea orientalis* (L). Link gövdesinde 2 m, 7 m ve 12 m’deki traheid uzunluklarını ölçmüş ve 7. metrede traheid uzunluklarının maksimuma ulaştığını 12. metreye doğru tekrar azalmaya başladığını belirtmiştir.



Şekil 25: Yüksekliğe bağlı olarak traheid uzunluklarında meydana gelen değişimler.

Bouslimi vd. (2014) *Thuja occidentalis* L.’nin gövdesinden 0.5, 1.3, 3 m’den itibaren ağacın tepesine kadar 2 şer metre arayla aldıkları örnekler üzerinde boyuna ve radyal yönde yıllık halka genişliği, yoğunluk, traheid uzunluğu ve genişliği gibi bazı anatomik özellikleri tespit etmişlerdir. Buna göre traheid uzunluğu ve genişliği radyal yönde özden kabuğa doğru düzenli bir artış göstermiştir. Ayrıca traheid uzunluğu boyuna yönde 5. metreye kadar önce artmış sonra tekrar azalmıştır. Traheid genişliği de yine 3. metreye kadar artıp sonra tekrar azalmıştır.

3.2.2 Traheid Genişliğine Ait Ölçümler

Odun örnekleri üzerinde her bir yükseklik kademesinde ayrı ayrı olmak üzere 50'şer adet traheid genişliği ölçülmüştür. Ölçüm sonuçlarına ait ortalama, minimum ve maksimum değerler ile standart sapma Tablo 9'da verilmiştir.

Tablo 9: Traheid genişliği ölçüm sonuçlarının ortalamaları, minimum ve maksimum değerleri ile standart sapmaları.

Yükseklik (m)	n	x (μm)	Min. Değer (μm)	Max. Değer (μm)	s
0.3	50	34.15	12.5	55.0	10.17
1.3	50	36.90	12.5	65.0	11.66
3.3	50	42.10	25.0	60.0	9.10
5.3	50	42.40	20.0	57.5	9.49
7.3	50	41.45	22.5	62.5	9.79
9.3	50	40.50	20.0	55.0	9.93
11.3	50	38.30	20.0	57.5	8.90
13.3	50	37.85	20.0	65.0	9.54
15.3	50	36.35	15.0	62.5	9.95
17.3	50	34.65	17.5	62.5	9.18
19.3	50	28.15	12.5	42.5	5.93

n: Ölçüm sayısı, x: Aritmetik ortalama, s: Standart sapma

0.3 m yükseklikten itibaren farklı yüksekliklerden alınan örneklerinin traheid genişlikleri arasında anlamlı farkların olup olmadığı analiz edilmiş ve analiz sonuçlarına ait ortalama farkları, standart hataları ve farkın % 95 güven aralığında önemli olup olmadığını gösteren önem düzeyleri Tablo 10'da verilmiştir.

Tablo 10: Farklı gövde yüksekliklerinden alınan örneklere ait traheid genişliklerinin karşılaştırmalı analiz sonuçları.

Yükseklik1 (Y1)	Yükseklik2 (Y2)	Ortalama Farkları (Y1-Y2)	Standart Hata	Önem Düzeyi(P<0,05)
0.3	1.3	-2.750	1.980	1.000
	3.3	-7.950*	1.930	0.008
	5.3	-8.250*	1.980	0.007
	7.3	-7.300*	2.070	0.050
	9.3	-6.350	1.860	1.000
	11.3	-3.150	1.810	1.000
	13.3	-3.700	1.820	1.000
	15.3	-2.200	2.050	1.000
	17.3	-0.500	1.850	1.000
	19.3	6.000	1.720	0.057
1.3	3.3	-5.200	2.110	0.951
	5.3	-5.500	2.080	0.606
	7.3	-4.550	1.830	0.893
	9.3	-3.600	1.900	1.000
	11.3	-0.400	1.880	1.000
	13.3	-0.950	1.950	1.000
	15.3	0.550	2.230	1.000
	17.3	2.250	2.220	1.000
	19.3	8.750*	1.940	0.002
3.3	5.3	-0.300	1.630	1.000
	7.3	0.650	1.940	1.000
	9.3	1.600	1.750	0.895
	11.3	4.800	1.990	1.000
	13.3	4.250	1.930	1.000
	15.3	5.750	1.930	0.243
	17.3	7.450*	1.970	0.023
	19.3	13.950*	1.970	0.000
5.3	7.3	0.950	1.910	1.000
	9.3	1.900	1.950	1.000
	11.3	5.100	2.090	1.000
	13.3	4.550	2.050	1.000
	15.3	6.050*	1.680	0.041
	17.3	7.750*	1.950	0.013
	19.3	14.250*	1.370	0.000
7.3	9.3	0.950	1.860	1.000
	11.3	3.150	1.800	1.000
	13.3	3.600	1.920	1.000
	15.3	5.100	2.080	0.966
	17.3	6.800	2.030	0.086
	19.3	13.300*	1.560	0.000
9.3	11.3	2.200	1.780	1.000
	13.3	2.650	1.790	1.000
	15.3	4.150	2.200	1.000
	17.3	5.850	1.900	1.000
	19.3	12.350*	1.720	0.000

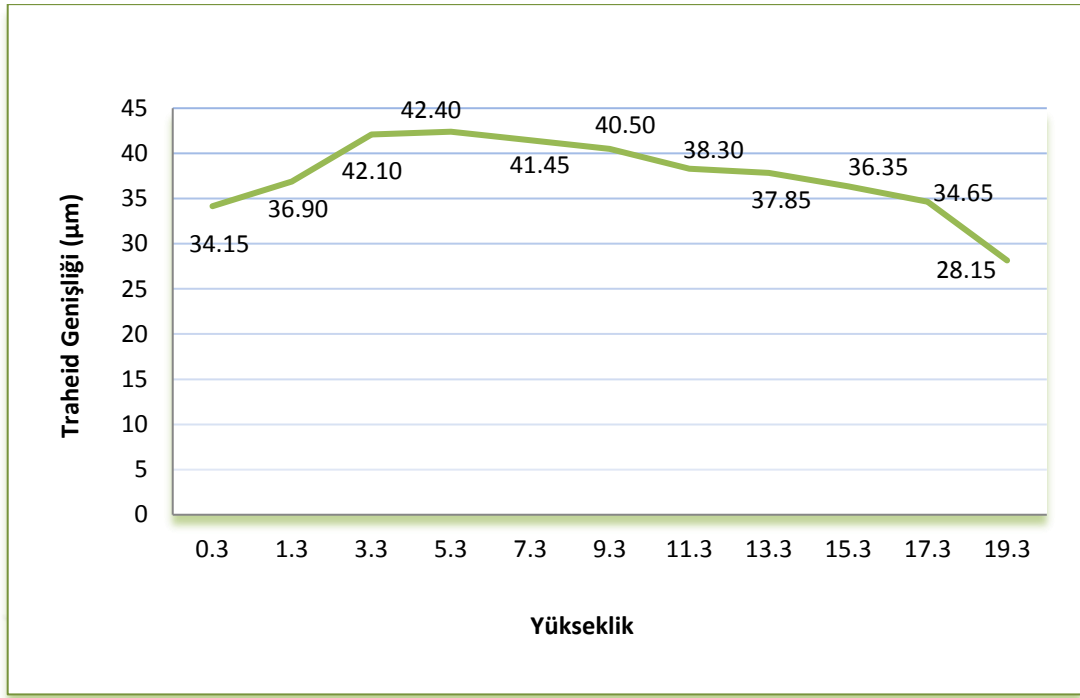
Tablo 10: devam ediyor.

11.3	13.3	-1.550	1.830	1.000
	15.3	1.950	2.060	1.000
	17.3	3.650	1.840	1.000
	19.3	10.150*	1.670	0.000
13.3	15.3	1.500	1.880	1.000
	17.3	3.200	1.750	1.000
	19.3	9.700*	1.600	0.000
15.3	17.3	1.700	1.940	1.000
	19.3	8.200*	1.370	0.000
17.3	19.3	6.500*	1.650	0.014

Ortalamalar dikkate alındığında 0.3 m'deki traheidlerin 19.3 m'deki traheidlerden daha geniş olduğu görülmektedir. Ancak bu iki uç nokta arasındaki fark önem düzeyinin 0,05'den büyük olması dolayısıyla istatistiksel olarak bir anlam ifade etmemektedir. Buna karşın 19.3 m'deki traheidlerin 1.3 m'den sonraki bütün yükseklik kademelerindeki traheidlerden daha dar olduğu tespit edilmiştir.

0.3 m'de ölçüm sonuçları, 3.3, 5.3 ve 7.3 m ile, 3.3 m'de ölçüm sonuçları 17.3 ve 19.3 m ile, 5.3 m'de ölçüm sonuçları ise 15.3, 17.3 ve 19.3 m'deki sonuçlar ile istatistiksel olarak anlamlı farklar ortaya koymuşlardır.

Yükseklığe bağlı olarak traheid genişliklerinde meydana gelen değişimler Şekil 26 'da görülmektedir. Buna göre traheid genişlikleri 0.3 m'den itibaren artmaya başlamış ve 5.3 m'de en yüksek değer (42.4 μm)'e ulaşmıştır. 3.3 m'den 15.3 m'ye kadar traheid genişliklerinin birbirine yakın olduğu tespit edilmiştir. 15.3 m'den sonra azalmaya başlayan traheid genişlikleri 19.3 m'de en küçük değer (28.15 μm)'e ulaşmıştır. Traheid uzunluklarında olduğu gibi traheid genişlikleri de ağaç gövdesi boyunca dipten orta kısımlara doğru artış göstermekte daha sonra tekrar azalışa geçmektedir.



Şekil 26: Yüksekliğe bağlı olarak traheid genişliklerinde meydana gelen değişimler.

3.2.3 Traheid Lümen Genişliğine Ait Ölçümler

Odun örnekleri üzerinde her bir yükseklik kademesinde ayrı ayrı olmak üzere 50'şer adet traheid lümen genişliği ölçülmüştür. Ölçüm sonuçlarına ait ortalama, minimum ve maksimum değerler ile standart sapma Tablo 11'de verilmiştir.

Tablo 11: Traheid lümen genişliği ölçüm sonuçlarının ortalamaları, minimum ve maksimum değerleri ile standart sapmaları.

Yükseklik (m)	n	x (µm)	Min. Değer (µm)	Max. Değer (µm)	s
0.3	50	24.10	2.50	45.00	10.41
1.3	50	26.20	2.50	60.00	13.97
3.3	50	31.20	10.00	50.00	10.79
5.3	50	32.05	2.50	52.50	11.74
7.3	50	31.25	12.50	50.00	10.56
9.3	50	29.25	10.00	45.00	11.93
11.3	50	28.70	7.50	52.50	10.73
13.3	50	28.55	7.50	60.00	12.61
15.3	50	26.75	5.00	57.50	11.69
17.3	50	25.75	2.50	57.50	11.83
19.3	50	20.55	2.50	37.50	7.15

n: Ölçüm sayısı, x: Aritmetik ortalama, s: Standart sapma

Farklı gövde yüksekliklerinden alınan örneklerin traheid lümen genişlikleri arasında anlamlı farkların olup olmadığı analiz edilmiş ve analiz sonuçlarına ait ortalama farkları, standart hataları ve farkın % 95 güven aralığında önemli olup olmadığını gösteren önem düzeyleri Tablo 12'de verilmiştir.

Tablo 12: Farklı gövde yüksekliklerinden alınan örneklere ait traheid lümen genişliklerinin karşılaştırmalı analiz sonuçları.

Yükseklik1 (Y1)	Yükseklik2 (Y2)	Ortalama Farkları (Y1-Y2)	Standart Hata	Önem Düzeyi(P<0,05)
0.3	1.3	-2.100	2.330	1.000
	3.3	-7.100	2.260	0.155
	5.3	-7.950	2.260	0.052
	7.3	-7.150	2.200	0.113
	9.3	-5.150	2.350	1.000
	11.3	-4.600	2.220	1.000
	13.3	-4.450	2.140	1.000
	15.3	-2.650	2.170	1.000
	17.3	-1.650	2.110	1.000
	19.3	3.550	1.900	1.000
1.3	3.3	-5.000	2.500	1.000
	5.3	-5.850	2.500	1.000
	7.3	-5.050	2.020	0.872
	9.3	-3.050	2.700	1.000
	11.3	-2.500	2.240	1.000
	13.3	-2.350	2.410	1.000
	15.3	-0.550	2.670	1.000
	17.3	0.450	2.610	1.000
3.3	5.3	-0.850	2.010	1.000
	7.3	-0.050	2.090	1.000
	9.3	1.950	1.920	1.000
	11.3	2.500	2.340	1.000
	13.3	2.650	2.410	1.000
	15.3	4.450	2.220	1.000
	17.3	5.450	2.380	1.000
	19.3	10.650*	1.720	0.000
5.3	7.3	0.800	2.250	1.000
	9.3	2.800	2.460	1.000
	11.3	3.350	2.570	1.000
	13.3	3.500	2.620	1.000
	15.3	5.300	1.960	0.508
	17.3	6.300	2.520	0.860
	19.3	11.500*	1.770	0.000

Tablo 12: devam ediyor.

7.3	9.3	2.000	2.300	1.000
	11.3	2.550	2.120	1.000
	13.3	2.700	2.390	1.000
	15.3	4.500	2.380	1.000
	17.3	5.500	2.280	1.000
	19.3	10.700*	1.880	0.000
9.3	11.3	0.550	2.170	1.000
	13.3	0.700	2.240	1.000
	15.3	2.500	2.390	1.000
	17.3	3.500	2.210	1.000
	19.3	8.700*	1.990	0.003
11.3	13.3	0.150	2.390	1.000
	15.3	1.950	2.430	1.000
	17.3	2.950	2.260	1.000
	19.3	8.150*	2.060	0.013
13.3	15.3	1.800	2.250	1.000
	17.3	2.800	2.260	1.000
	19.3	8.000*	1.960	0.009
15.3	17.3	1.000	2.370	1.000
	19.3	6.200*	1.740	0.045
17.3	19.3	5.200	2.070	0.847

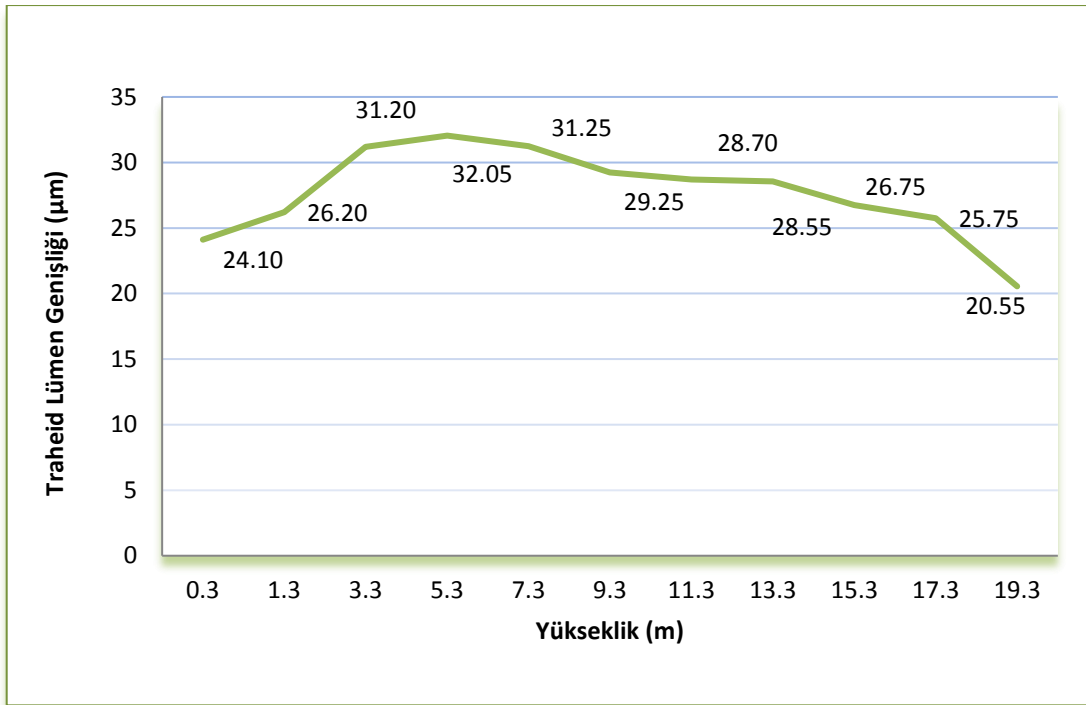
Ölçüm sonuçlarına göre traheid lümen genişlikleri sadece 19.3 m'de azalma göstermiştir. 19.3 m ile 17.3 m arasındaki fark ise istatistiksel olarak önemsiz kabul edilmiştir. Bununla birlikte diğer yükseklik kademelerindeki ölçüm sonuçları arasında belirgin bir fark tespit edilmemiştir.

Anfodillo vd. (2012) de *Picea abies* üzerinde yaptığı çalışmasında yerden itibaren gövdenin 1. metresi ile 9. metresi arasında traheid lümen çapını ve hücre çeper kalınlığını ölçmüş ve benzer bir sonuç elde etmiştir. Çalışmaya göre lümen çapı gövde boyunca farklılıklar göstermiş ve en küçük değer 9. metrede tespit edilmiştir. Dipten itibaren 3. ve 4. metrede lümen çapı artış göstermesine rağmen, 1. ve 2. metre arasında ufak bir farklılık gözlemlenmiştir.

Fan vd. (2009) da 6 yapraklı ağaç türünün (*Castanopsis wattii*, *Lithocarpus chintungensis*, *Lithocarpus xylocarpus*, *Cyclobalanopsis (Quercus) stewardiana*, *Schima noronhae*, *Hartia sinensis*) 14 farklı ağacı (15-25 m uzunluğunda) ve 3 iğne yapraklı ağaç türünün *Picea brachytyla*, *Larix potaninii*, *Abies georgei*) 7 farklı ağacı (16-45 m) üzerinde ağacın dip kısmı ile tepe kısmı arasında iletim borularının lümen çaplarını incelemiştir. Çalışma

sonucundan 6 ağacın lümen çaplarında ağaç gövdesinin tepesinden tabanına doğru doğrusal bir artış tespit edilmiştir. Bununla birlikte 15 ağaçtan biri hariç diğerlerinde lümen çapının ağacın tepesinden taç tabanına kadar arttığı, fakat taç kısmından sonra lümen çapının sabit kaldığı ya da yavaş bir artışın olduğu bildirilmiştir.

Yükseklığe bağlı olarak traheid lümen genişliğinde meydana gelen değişimler Şekil 27 'de görülmektedir. Buna göre traheid genişliğine ait en yüksek değerler 3.3, 5.3 ve 7.3 m 'de ölçülmüştür.



Şekil 27: Yüksekliğe bağlı olarak traheid lümen genişliklerinde meydana gelen değişimler.

3.2.4 Traheid Çift Çeper Kalınlığına Ait Ölçümler

Odun örnekleri üzerinde her bir yükseklik kademesinde ayrı ayrı olmak üzere 50'şer adet çift çeper kalınlığı ölçülmüştür. Ölçüm sonuçlarına ait ortalama, minimum ve maksimum değerler ile standart sapma Tablo 13'de verilmiştir.

Tablo 13: Çift çeper kalınlığı ölçüm sonuçlarının ortalamaları, minimum ve maksimum değerleri ile standart sapmaları.

Yükseklik (m)	n	x (μm)	Min. Değer (μm)	Max. Değer (μm)	s
0.3	50	5.15	2.5	10.0	2.33
1.3	50	5.20	2.5	10.0	2.16
3.3	50	5.10	2.5	12.5	1.95
5.3	50	5.05	2.5	10.0	2.39
7.3	50	4.75	2.5	7.50	1.90
9.3	50	4.80	2.5	10.0	2.16
11.3	50	4.75	2.5	7.50	1.97
13.3	50	4.65	2.5	10.0	2.28
15.3	50	4.50	2.5	7.50	1.94
17.3	50	4.45	2.5	10.0	2.10
19.3	50	3.80	2.5	7.50	1.61

n: Ölçüm sayısı, x: Aritmetik ortalama, s: Standart sapma

Farklı gövde yüksekliklerinden alınan örneklerin çift çeper kalınlıkları arasında anlamlı farkların olup olmadığı analiz edilmiş ve analiz sonuçlarına ait ortalama farkları, standart hataları ve farkın % 95 güven aralığında önemli olup olmadığını gösteren önem düzeyleri Tablo 14'de verilmiştir.

Tablo 14: Farklı gövde yüksekliklerinden alınan örneklere ait çift çeper kalınlıklarının karşılaştırmalı analiz sonuçları.

Yükseklik1 (Y1)	Yükseklik2 (Y2)	Ortalama Farkları (Y1-Y2)	Standart Hata	Önem Düzeyi(P<0,05)
0.3	1.3	-0.050	0.460	1.000
	3.3	0.050	0.420	1.000
	5.3	0.100	0.440	1.000
	7.3	0.400	0.410	1.000
	9.3	0.350	0.470	1.000
	11.3	0.400	0.470	1.000
	13.3	0.050	0.430	1.000
	15.3	0.650	0.450	1.000
	17.3	0.700	0.460	1.000
	19.3	1.350	0.420	0.121
1.3	3.3	0.1	0.420	1.000
	5.3	0.15	0.400	1.000
	7.3	0.45	0.380	1.000
	9.3	0.40	0.450	1.000
	11.3	0.45	0.390	1.000
	13.3	0.55	0.430	1.000
	15.3	0.60	0.370	1.000
	17.3	0.75	0.420	0.681
	19.3	1.400*	0.390	0.003

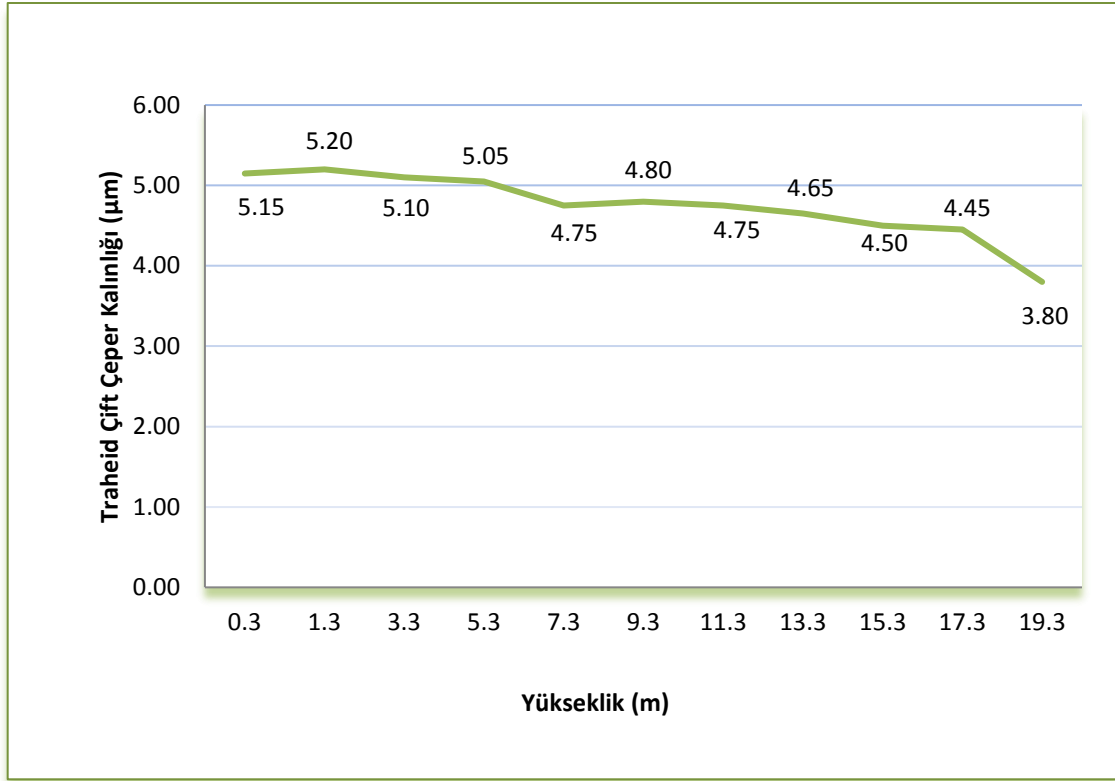
Tablo 14: devam ediyor.

3.3	5.3	0.050	0.430	1.000
	7.3	0.350	0.450	1.000
	9.3	0.300	0.420	1.000
	11.3	0.350	0.380	1.000
	13.3	0.450	0.450	1.000
	15.3	0.600	0.340	1.000
	17.3	0.650	0.370	1.000
	19.3	1.300*	0.360	0.038
5.3	7.3	0.300	0.430	1.000
	9.3	0.350	0.470	1.000
	11.3	0.300	0.500	1.000
	13.3	0.000	0.500	1.000
	15.3	0.250	0.370	1.000
	17.3	0.600	0.480	1.000
	19.3	1.250	0.410	0.211
7.3	9.3	-0.050	0.470	1.000
	11.3	0.000	0.390	1.000
	13.3	0.100	0.420	1.000
	15.3	0.250	0.430	1.000
	17.3	0.300	0.460	1.000
	19.3	0.950	0.360	0.570
9.3	11.3	0.050	0.420	1.000
	13.3	0.150	0.400	1.000
	15.3	0.300	0.410	1.000
	17.3	0.350	0.420	1.000
	19.3	0.980	0.420	1.000
11.3	13.3	-0.300	0.460	1.000
	15.3	-0.050	0.350	1.000
	17.3	0.300	0.400	1.000
	19.3	1.000	0.330	0.358
13.3	15.3	0.150	0.370	1.000
	17.3	0.200	0.450	1.000
	19.3	0.850	0.360	0.058
15.3	17.3	0.050	0.410	1.000
	19.3	0.700	0.350	0.344
17.3	19.3	0.650	0.400	1.000

Çift çeper kalınlıkları yüksekliğe bağlı olarak önemli bir farklılık göstermemiştir. Sadece 19.3 m'deki ölçüm sonuçları ile 1.3 ve 3.3 m'deki ölçüm sonuçları arasındaki farkın, önem düzeyinin 0.05'den küçük olması dolayısıyla önemli olduğu tespit edilmiştir.

Yüksekliğe bağlı olarak çift çeper kalınlıklarında meydana gelen değişimler Şekil 28 'de görülmektedir. Buna göre çift çeper kalınlıkları 19.3 m'ye kadar birbirleri ile benzer sonuçlar vermiştir. Hücre çeper kalınlığını ortalama 2.5-3 µm olarak ölçen Anfodillo vd. (2012) de gövde boyunca çeper kalınlıklarında meydana gelen değişimlerin istatistiksel

olarak önemli olmadığını (ANOVA, $F=0.74$, $P > 0.05$) belirtmiştir.



Şekil 28: Yüksekliğe bağlı olarak traheid çift çeper kalınlıklarında meydana gelen değişimler.

3.2.5 İlkbahar Odunu Traheid Teğet Çapına Ait Ölçümler

Odun örnekleri üzerinde her bir yükseklik kademesinde ayrı ayrı olmak üzere 50'şer adet ilkbahar odunu traheid teğet çapı ölçülmüştür. Ölçüm sonuçlarına ait ortalama, minimum ve maksimum değerler ile standart sapma Tablo 15'de verilmiştir.

Tablo 15: İlkbahar odunu traheid teğet çapı ölçüm sonuçlarının ortalamaları, minimum ve maksimum değerleri ile standart sapmaları.

Yükseklik (m)	n	x (μm)	Min. Değer (μm)	Max. Değer (μm)	s
0.3	50	40.95	25.0	57.5	6.59
1.3	50	41.75	30.0	67.5	6.08
3.3	50	40.90	27.5	60.0	6.47
5.3	50	41.00	25.0	60.0	7.38
7.3	50	41.80	30.0	57.5	7.28
9.3	50	38.85	25.0	60.0	6.96
11.3	50	39.75	22.5	65.0	6.06
13.3	50	38.45	25.0	50.0	8.29
15.3	50	37.50	25.0	52.5	6.67
17.3	50	32.95	20.0	50.0	7.29
19.3	50	26.60	15.0	40.0	6.52

n: Ölçüm sayısı, x: Aritmetik ortalama, s: Standart sapma

Farklı gövde yüksekliklerinden alınan örneklerin ilkbahar odunu traheid teğet çapları arasında anlamlı farkların olup olmadığı analiz edilmiş ve analiz sonuçlarına ait ortalama farkları, standart hataları ve farkın % 95 güven aralığında önemli olup olmadığını gösteren önem düzeyleri Tablo 16'da verilmiştir.

Tablo 16: Farklı gövde yüksekliklerinden alınan örneklere ait ilkbahar odunu traheid teğet çaplarının karşılaştırmalı analiz sonuçları.

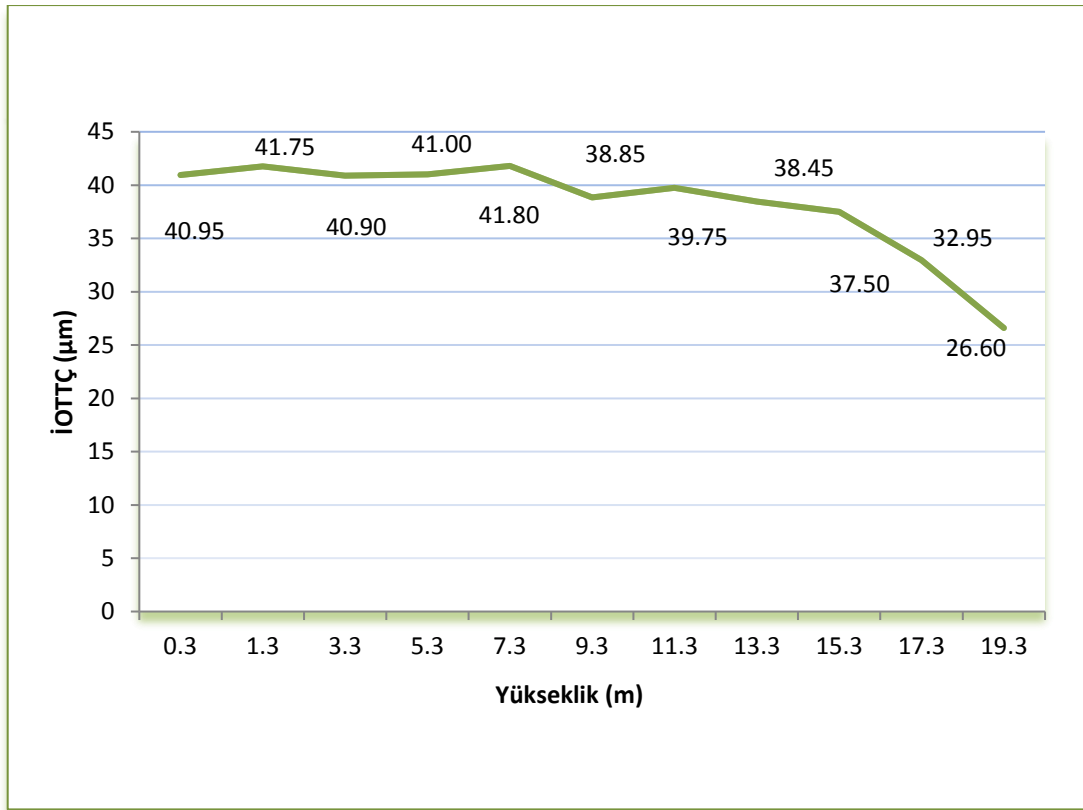
Yükseklik1 (Y1)	Yükseklik2 (Y2)	Ortalama Farkları (Y1-Y2)	Standart Hata	Önem Düzeyi(P<0,05)
0.3	1.3	-0.800	1.480	1.000
	3.3	0.050	1.380	1.000
	5.3	-0.050	1.360	1.000
	7.3	-0.850	1.590	1.000
	9.3	2.100	1.420	1.000
	11.3	1.200	1.630	1.000
	13.3	2.500	1.240	1.000
	15.3	3.450	1.500	1.000
	17.3	8.000*	1.370	0.000
	19.3	14.350*	1.280	0.000

Tablo 16: devam ediyor.

1.3	3.3	0.850	1.205	1.000
	5.3	0.750	1.490	1.000
	7.3	-0.050	1.430	1.000
	9.3	2.900	1.600	1.000
	11.3	2.000	1.400	1.000
	13.3	3.300	1.270	0.674
	15.3	4.250	1.510	0.380
	17.3	8.800*	1.380	0.000
	19.3	15.150*	1.520	0.000
3.3	5.3	-0.100	1.510	1.000
	7.3	-0.900	1.550	1.000
	9.3	2.050	1.720	1.000
	11.3	1.150	1.520	1.000
	13.3	2.450	1.180	1.000
	15.3	3.400	1.700	1.000
	17.3	7.950*	1.570	0.000
	19.3	14.300*	1.560	0.000
5.3	7.3	-0.800	1.470	1.000
	9.3	2.150	1.450	1.000
	11.3	1.250	1.660	1.000
	13.3	2.550	1.480	1.000
	15.3	3.500	1.490	1.000
	17.3	8.050*	1.430	0.000
	19.3	14.400*	1.290	0.000
7.3	9.3	2.950	1.640	1.000
	11.3	2.050	1.510	1.000
	13.3	3.350	1.330	0.837
	15.3	4.300	1.390	0.184
	17.3	8.850*	1.490	0.000
	19.3	15.200*	1.470	0.000
9.3	11.3	-0.900	1.540	1.000
	13.3	0.400	1.430	1.000
	15.3	1.350	1.600	1.000
	17.3	5.900*	1.510	0.015
	19.3	12.250*	1.310	0.000
11.3	13.3	1.300	1.480	1.000
	15.3	2.250	1.490	1.000
	17.3	6.800*	1.500	0.002
	19.3	13.150*	1.470	0.000
13.3	15.3	0.950	1.430	1.000
	17.3	5.500*	1.270	0.004
	19.3	11.850*	1.220	0.000
15.3	17.3	4.550	1.330	0.069
	19.3	10.900*	1.500	0.000
17.3	19.3	6.350*	1.320	0.001

Gövde boyunca ölçülen ilkbahar odunu traheid teğet çapları 17.3 ve 19.3 m'ye kadar değişim göstermemiş, 17.3 ve 19.3 m'de azalmıştır. Ayrıca 17.3 m ile 19.3 m'de ölçülen değerler arasındaki fark da önem düzeyinin 0.05'den küçük olması dolayısıyla istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur.

Yükseklığe bağlı olarak ilkbahar odunu traheid teğet çaplarında meydana gelen değişimler Şekil 29 'da görülmektedir. En geniş ilkbahar odunu traheid çapı (41.8 μm) 7.3 m'de, en dar ilkbahar odunu traheid çapı (26.6 μm) ise 19.3 m'de ölçülmüştür.



Şekil 29: Yüksekliğe bağlı olarak ilkbahar odunu traheid teğet çapları (İOTTÇ)'nda meydana gelen değişimler.

3.2.6 İlkbahar Odunu Traheid Radyal Çapına Ait Ölçümler

Odun örnekleri üzerinde her bir yükseklik kademesinde ayrı ayrı olmak üzere 50'şer adet ilkbahar odunu traheid radyal çapı ölçülmüştür. Ölçüm sonuçlarına ait ortalama, minimum ve maksimum değerler ile standart sapma Tablo 17'de verilmiştir.

Tablo 17: İlkbahar odunu traheid radyal çapı ölçüm sonuçlarının ortalamaları, minimum ve maksimum değerleri ile standart sapmaları.

Yükseklik (m)	n	x (μm)	Min. Değer (μm)	Max. Değer (μm)	s
0.30	50	38.75	22.50	50.00	6.59
1.30	50	39.80	22.50	50.00	6.08
3.30	50	39.05	22.50	50.00	6.47
5.30	50	41.25	22.50	55.00	7.38
7.30	50	42.05	22.50	60.00	8.29
9.30	50	41.10	22.50	60.00	6.96
11.30	50	39.50	22.50	52.50	6.06
13.30	50	40.30	22.50	55.00	7.28
15.30	50	36.40	22.50	50.00	6.67
17.30	50	34.95	22.50	47.50	7.29
19.30	50	27.45	22.50	37.50	6.52

n: Ölçüm sayısı, x: Aritmetik ortalama, s: Standart sapma

Farklı gövde yüksekliklerinden alınan örneklerin ilkbahar odunu traheid radyal çapları arasında anlamlı farkların olup olmadığı analiz edilmiş ve analiz sonuçlarına ait ortalama farkları, standart hataları ve farkın % 95 güven aralığında önemli olup olmadığını gösteren önem düzeyleri Tablo 18'de verilmiştir.

Tablo 18: Farklı gövde yüksekliklerinden alınan örneklere ait ilkbahar odunu traheid radyal çaplarının karşılaştırmalı analiz sonuçları.

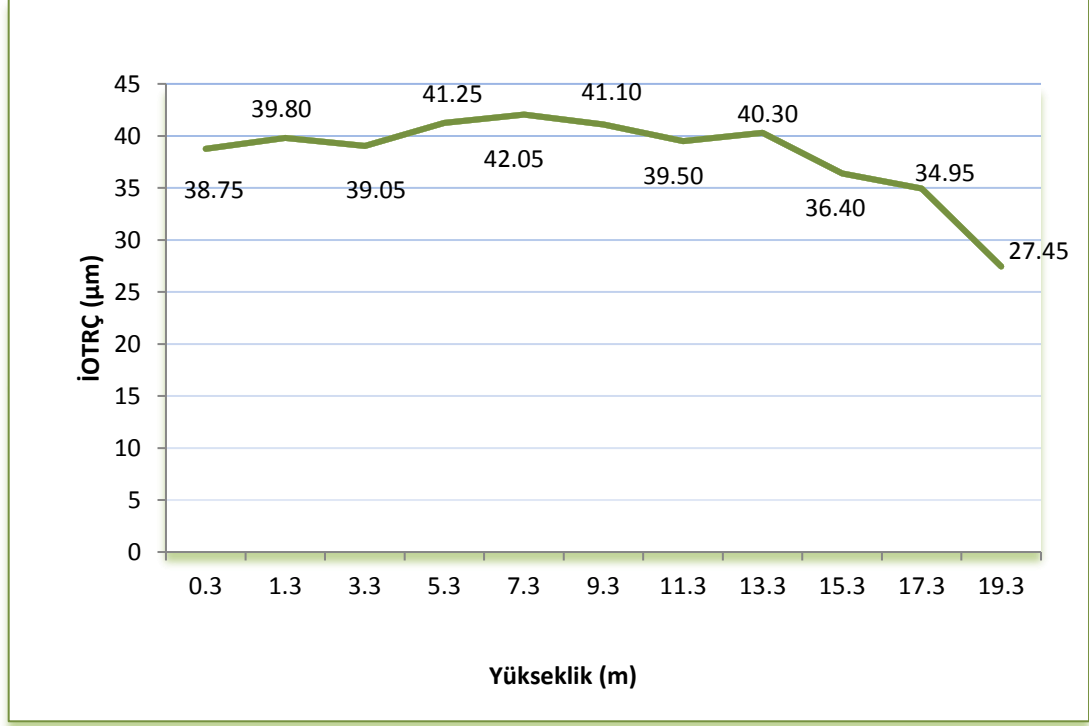
Yükseklik1 (Y1)	Yükseklik2 (Y2)	Ortalama Farkları (Y1-Y2)	Standart Hata	Önem Düzeyi(P<0,05)
0.3	1.3	-1.500	1.230	0.353
	3.3	-0.300	1.280	1.000
	5.3	-2.500	1.360	0.057
	7.3	-3.300	1.620	0.067
	9.3	-2.350	1.340	0.054
	11.3	-0.750	1.290	0.929
	13.3	-1.550	1.460	0.479
	15.3	2.350	1.250	1.000
	17.3	3.800	1.440	1.000
	19.3	11.300*	1.390	0.000

Tablo 18: devam ediyor.

1.3	3.3	0.750	1.270	1.000
	5.3	-1.450	1.460	1.000
	7.3	-2.250	1.500	1.000
	9.3	-1.300	1.280	1.000
	11.3	0.300	1.340	1.000
	13.3	-0.500	1.300	1.000
	15.3	3.400	1.310	0.673
	17.3	4.850*	1.240	0.016
	19.3	12.350*	1.310	0.000
3.3	5.3	-2.200	1.440	1.000
	7.3	-3.000	1.600	1.000
	9.3	-2.050	1.390	1.000
	11.3	-0.450	1.360	1.000
	13.3	-1.250	1.280	1.000
	15.3	2.650	1.400	1.000
	17.3	4.100	1.500	0.481
	19.3	11.600*	1.240	0.000
5.3	7.3	-0.800	1.610	1.000
	9.3	0.150	1.290	1.000
	11.3	1.750	1.420	1.000
	13.3	0.950	1.540	1.000
	15.3	4.850	1.280	0.062
	17.3	6.300*	1.660	0.022
	19.3	13.800*	1.330	0.000
7.3	9.3	0.950	1.290	1.000
	11.3	2.550	1.290	1.000
	13.3	1.750	1.640	1.000
	15.3	5.650	1.530	0.776
	17.3	7.100*	1.470	0.036
	19.3	14.600*	1.530	0.000
9.3	11.3	1.600	1.340	1.000
	13.3	0.800	1.490	1.000
	15.3	4.700	1.280	0.062
	17.3	6.150*	1.560	0.014
	19.3	13.650*	1.230	0.000
11.3	13.3	-0.800	1.300	1.000
	15.3	3.100	1.360	1.000
	17.3	4.550	1.380	0.100
	19.3	12.050*	1.210	0.000
13.3	15.3	3.900	1.500	0.025
	17.3	5.350*	1.530	0.002
	19.3	12.850*	1.390	0.000
15.3	17.3	1.450	1.340	1.000
	19.3	8.950*	1.340	0.000
17.3	19.3	7.500*	1.420	0.000

İlkbahar odunu traheid radyal çapı ölçümleri de 0.3 m'den 17.3 m'ye kadar birbirine benzer sonuçlar vermiş, 17.3 ve 19.3 m'de azalmıştır.

Yükseklığe bağılı olarak ilkbahar odunu traheid radyal çaplarında meydana gelen değişimler Şekil 30 'da görülmektedir. En yüksek değer (42.05 μm) 7.3 m'de, en düşük değer (27.45 μm) de 19.3 m'de ölçülmüştür.



Şekil 30: Yüksekliğe bağılı olarak ilkbahar odunu traheid radyal çapları (İOTRÇ)'nda meydana gelen değişimler.

3.2.7 Yaz Odunu Traheid Teğet Çapına Ait Ölçümler

Odun örnekleri üzerinde her bir yükseklik kademesinde ayrı ayrı olmak üzere 50'şer adet yaz odunu traheid teğet çapı ölçülmüştür. Ölçüm sonuçlarına ait ortalama, minimum ve maksimum değerler ile standart sapma Tablo 19'da verilmiştir.

Tablo 19: Yaz odunu traheid teğet çapı ölçüm sonuçlarının ortalamaları, minimum ve maksimum değerleri ile standart sapmaları.

Yükseklik (m)	n	x (μm)	Min. Değer (μm)	Max. Değer (μm)	s
0.30	50	25.05	17.50	32.50	4.02
1.30	50	26.80	20.00	35.00	4.38
3.30	50	25.20	17.50	37.50	4.22
5.30	50	27.00	15.00	35.00	4.26
7.30	50	26.65	20.00	35.00	4.42
9.30	50	27.35	20.00	35.00	3.96
11.30	50	25.00	17.50	35.00	3.91
13.30	50	26.70	17.50	35.00	4.47
15.30	50	26.45	17.50	40.00	7.66
17.30	50	23.70	12.50	35.00	5.11
19.30	50	19.60	10.00	32.50	4.47

n: Ölçüm sayısı, x: Aritmetik ortalama, s: Standart sapma

Farklı gövde yüksekliklerinden alınan örneklerin yaz odunu traheid teğet çapları arasında anlamlı farkların olup olmadığı analiz edilmiş ve analiz sonuçlarına ait ortalama farkları, standart hataları ve farkın % 95 güven aralığında önemli olup olmadığını gösteren önem düzeyleri Tablo 20'de verilmiştir.

Tablo 20: Farklı gövde yüksekliklerinden alınan örneklere ait yaz odunu traheid teğet çaplarının karşılaştırmalı analiz sonuçları.

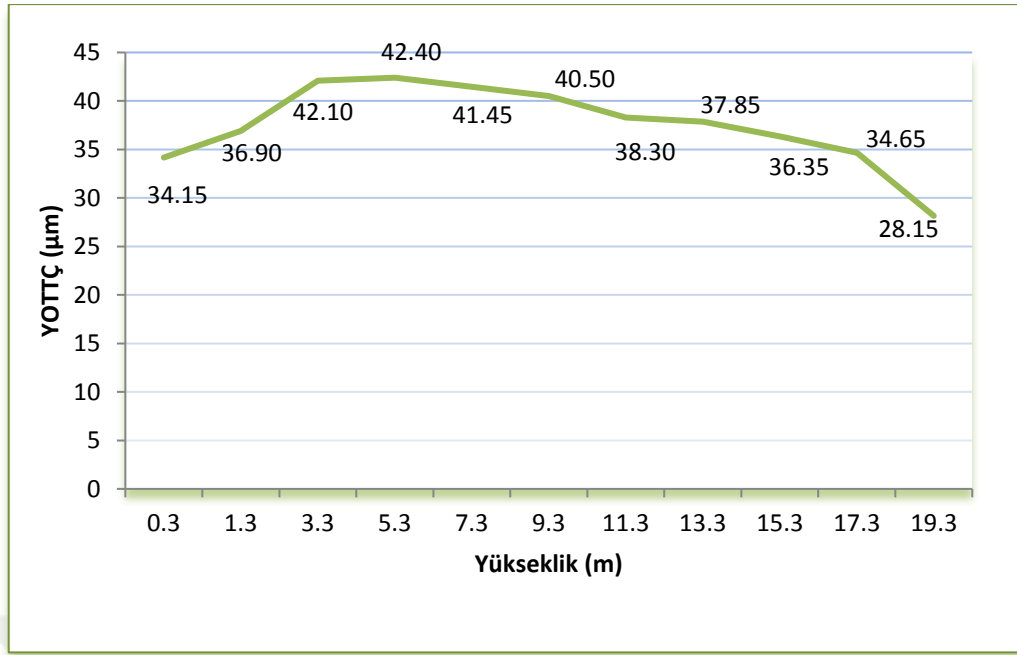
Yükseklik1 (Y1)(m)	Yükseklik2 (Y2)(m)	Ortalama Farkları (Y1-Y2)	Standart Hata	Önem Düzeyi(P<0,05)
0.3	1.3	-1.750	0.780	1.000
	3.3	-0.150	0.810	1.000
	5.3	-1.950	0.910	1.000
	7.3	-1.600	0.770	1.000
	9.3	-2.300	0.830	0.443
	11.3	0.050	0.830	1.000
	13.3	-1.650	0.890	1.000
	15.3	-1.400	1.230	1.000
	17.3	1.350	0.910	1.000
	19.3	5.450*	0.810	0.000
1.3	3.3	1.600	0.880	1.000
	5.3	-0.200	0.830	1.000
	7.3	0.150	0.780	1.000
	9.3	-0.550	0.870	1.000
	11.3	1.800	0.960	1.000
	13.3	0.100	0.910	1.000
	15.3	0.350	1.240	1.000
	17.3	3.100	1.000	0.175
	19.3	7.200*	0.920	0.000

Tablo 20: devam ediyor.

3.3	5.3	-1.800	0.850	1.000
	7.3	-1.450	0.880	1.000
	9.3	-2.150	0.890	1.000
	11.3	0.200	0.820	1.000
	13.3	-1.500	0.890	1.000
	15.3	-1.250	1.220	1.000
	17.3	1.500	0.990	1.000
	19.3	5.600*	0.830	0.000
5.3	7.3	0.350	0.790	1.000
	9.3	-0.350	0.830	1.000
	11.3	2.000	0.880	1.000
	13.3	0.300	0.930	1.000
	15.3	0.550	1.080	1.000
	17.3	3.300*	0.930	0.047
	19.3	7.400*	1.020	0.000
7.3	9.3	-0.700	0.770	1.000
	11.3	1.650	0.830	1.000
	13.3	-0.050	0.950	1.000
	15.3	0.200	1.140	1.000
	17.3	2.950	1.000	0.260
	19.3	7.050*	0.840	0.000
9.3	11.3	2.350	0.790	0.251
	13.3	0.650	0.880	1.000
	15.3	0.900	1.260	1.000
	17.3	3.650*	0.950	0.020
	19.3	7.750*	0.920	0.000
11.3	13.3	-1.700	0.810	1.000
	15.3	-1.450	1.140	1.000
	17.3	1.300	1.020	1.000
	19.3	5.400*	0.830	0.000
13.3	15.3	0.250	1.250	1.000
	17.3	3.000	0.990	0.218
	19.3	7.100*	0.740	0.000
15.3	17.3	2.750	1.370	1.000
	19.3	6.850*	1.280	0.000
17.3	19.3	4.100*	0.980	0.007

Yaz odunu traheid teğet çapları 17.3 ve 19.3 m'de diğer yükseklik kademelerindeki ölçümlere göre fark göstermişlerdir. En belirgin fark 19.3 m'de tespit edilmiş olup yaz odunu traheid çapları bu yükseklik kademesinde azalış göstermiştir.

Yüksekliğe bağlı olarak yaz odunu traheid teğet çaplarında meydana gelen değişimler Şekil 31 'de görülmektedir. 5.3 m'de en yüksek değer (42.4 µm) ve 19.3 m'de en düşük değer (28.15 µm) ölçülmüştür.



Şekil 31: Yüksekliğe bağlı olarak yaz odunu traheid teğet çapları (YOTTÇ)'nda meydana gelen değişimler.

3.2.8 Yaz Odunu Traheid Radyal Çapına Ait Ölçümler

Odun örnekleri üzerinde her bir yükseklik kademesinde ayrı ayrı olmak üzere 50'şer adet yaz odunu traheid radyal çapı ölçülmüştür. Ölçüm sonuçlarına ait ortalama, minimum ve maksimum değerler ile standart sapma Tablo 21'de verilmiştir.

Tablo 21: Yaz odunu traheid radyal çapı ölçüm sonuçlarının ortalamaları, minimum ve maksimum değerleri ile standart sapmaları.

Yükseklik(m)	n	x (μm)	Min. Değer (μm)	Max. Değer (μm)	s
0.30	50	34.10	20.00	42.50	4.43
1.30	50	36.90	25.00	47.50	4.86
3.30	50	36.75	25.00	50.00	5.74
5.30	50	38.70	22.50	50.00	6.41
7.30	50	38.10	25.00	50.00	6.63
9.30	50	37.00	20.00	47.50	6.31
11.30	50	36.00	22.50	45.00	5.85
13.30	50	35.90	17.50	45.00	5.88
15.30	50	33.70	17.50	50.00	7.34
17.30	50	33.35	17.50	45.00	7.79
19.30	50	30.85	17.50	37.50	4.67

n: Ölçüm sayısı, x: Aritmetik ortalama, s: Standart sapma

Farklı gövde yüksekliklerinden alınan örneklerin yaz odunu traheid radyal çapları arasında anlamlı farkların olup olmadığı analiz edilmiş ve analiz sonuçlarına ait ortalama farkları, standart hataları ve farkın % 95 güven aralığında önemli olup olmadığını gösteren önem düzeyleri Tablo 22'de verilmiştir.

Tablo 22: Farklı gövde yüksekliklerinden alınan örneklere ait yaz odunu traheid radyal çaplarının karşılaştırmalı analiz sonuçları.

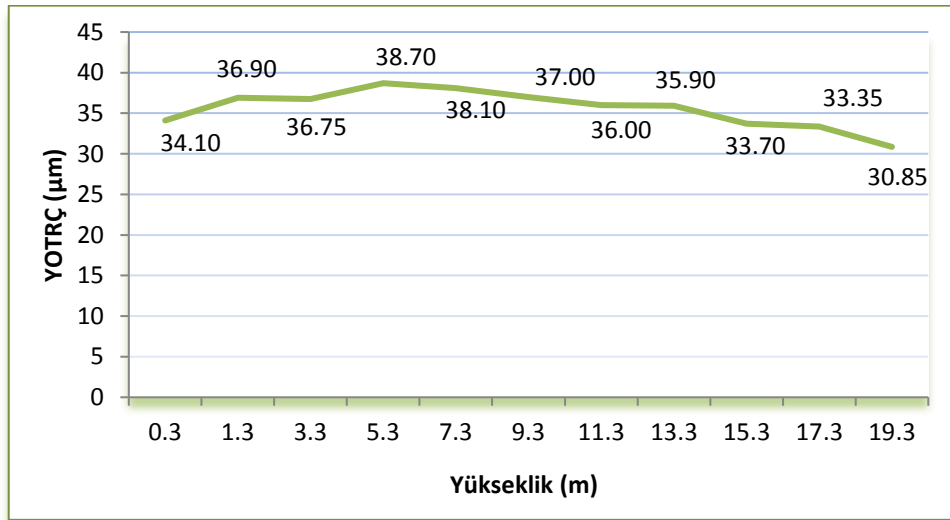
Yükseklik1 (Y1)(m)	Yükseklik2 (Y2)(m)	Ortalama Farkları (Y1-Y2)	Standart Hata	Önem Düzeyi(P<0,05)
0.3	1.3	-2.800	0.910	0.195
	3.3	-2.650	0.990	0.568
	5.3	-4.600	1.080	0.006
	7.3	-4.000	1.150	0.059
	9.3	-2.900	1.090	0.583
	11.3	-1.900	1.060	1.000
	13.3	-1.800	1.010	1.000
	15.3	0.400	1.140	1.000
	17.3	0.750	1.250	1.000
	19.3	3.250	0.960	0.079
1.3	3.3	0.150	1.040	1.000
	5.3	-1.800	1.080	1.000
	7.3	-1.200	1.220	1.000
	9.3	-0.100	1.100	1.000
	11.3	0.900	0.920	1.000
	13.3	1.000	1.020	1.000
	15.3	3.200	1.310	1.000
	17.3	3.550	1.160	0.198
3.3	19.3	6.050*	0.900	0.000
	5.3	-1.950	1.290	1.000
	7.3	-1.350	1.300	1.000
	9.3	-0.250	1.230	1.000
	11.3	0.750	1.190	1.000
	13.3	0.850	1.210	1.000
	15.3	3.050	1.210	0.829
	17.3	3.400	1.300	0.647
5.3	19.3	5.900*	0.880	0.000
	7.3	0.600	1.360	1.000
	9.3	1.700	1.330	1.000
	11.3	2.700	1.240	1.000
	13.3	2.800	1.180	1.000
	15.3	5.000*	1.260	0.012
	17.3	5.350*	1.360	0.014
	19.3	7.850*	1.220	0.000
7.3	9.3	1.100	1.110	1.000
	11.3	2.100	1.240	1.000
	13.3	2.200	1.360	1.000
	15.3	4.400	1.250	0.050
	17.3	4.750	1.480	0.125
	19.3	7.250*	1.080	0.000

Tablo 22: devam ediyor.

9.3	11.3	1.000	1.170	1.000
	13.3	1.100	1.340	1.000
	15.3	3.300	1.390	1.000
	17.3	3.650	1.330	0.462
	19.3	6.150*	1.190	0.000
11.3	13.3	0.100	1.120	1.000
	15.3	2.300	1.400	1.000
	17.3	2.650	1.370	1.000
	19.3	5.150*	1.080	0.001
13.3	15.3	2.200	1.300	1.000
	17.3	2.550	1.240	1.000
	19.3	5.050*	0.990	0.000
15.3	17.3	-0.350	1.500	1.000
	19.3	2.500	1.340	1.000
17.3	19.3	2.500	1.340	1.000

1.3 m'den sonraki her bir yükseklik kademesinde ölçülen yaz odunu traheid radyal çapları 19.3 m'deki ölçüm sonuçlarıyla istatistiksel olarak anlamlı farklar göstermiştir. Ayrıca 5.3 m'deki yaz odunu traheid çaplarının 15.3 ve 17.3 m'deki traheid çaplarından daha geniş olduğu saptanmıştır. 15.3, 17.3 ve 19.3 m'deki ölçümler birbirine benzer sonuçlar vermiştir.

Yüksekliğe bağlı olarak yaz odunu traheid radyal çaplarında meydana gelen değişimler Şekil 32'de görülmektedir. Yaz odunu traheid çapları en fazla (38.7 μm) 5.3 m'de, en az (30.85 μm) 19.3 m'de ölçülmüştür.



Şekil 32: Yüksekliğe bağlı olarak yaz odunu traheid radyal çapları (YOTRÇ)'nda meydana gelen değişimler.

3.2.9 Kenarlı Geçit Çapına Ait Ölçümler

Odun örnekleri üzerinde her bir yükseklik kademesinde ayrı ayrı olmak üzere 50'şer adet kenarlı geçit çapı ölçülmüştür. Ölçüm sonuçlarına ait ortalama, minimum ve maksimum değerler ile standart sapma Tablo 23'de verilmiştir.

Tablo 23: Kenarlı geçit çapı ölçüm sonuçlarının ortalamaları, minimum ve maksimum değerleri ile standart sapmaları.

Yükseklik (m)	n	x (μm)	Min. Değer (μm)	Max. Değer (μm)	s
0.30	50	18.90	12.50	25.00	2.63
1.30	50	18.30	12.50	22.50	2.39
3.30	50	17.95	12.50	22.50	2.35
5.30	50	18.10	12.50	22.50	1.93
7.30	50	17.70	15.00	22.50	1.88
9.30	50	17.80	15.00	22.50	1.87
11.30	50	17.50	15.00	20.00	1.68
13.30	50	16.45	10.00	20.00	2.26
15.30	50	15.90	10.00	20.00	2.25
17.30	50	15.45	12.50	20.00	1.80
19.30	50	13.50	7.50	17.50	2.53

n: Ölçüm sayısı, x: Aritmetik ortalama, s: Standart sapma

Farklı gövde yüksekliklerinden alınan örneklerin kenarlı geçit çapları arasında anlamlı farkların olup olmadığı analiz edilmiş ve analiz sonuçlarına ait ortalama farkları, standart hataları ve farkın % 95 güven aralığında önemli olup olmadığını gösteren önem düzeyleri Tablo 24'de verilmiştir.

Tablo 24: Farklı gövde yüksekliklerinden alınan örneklere ait kenarlı geçit çaplarının karşılaştırmalı analiz sonuçları.

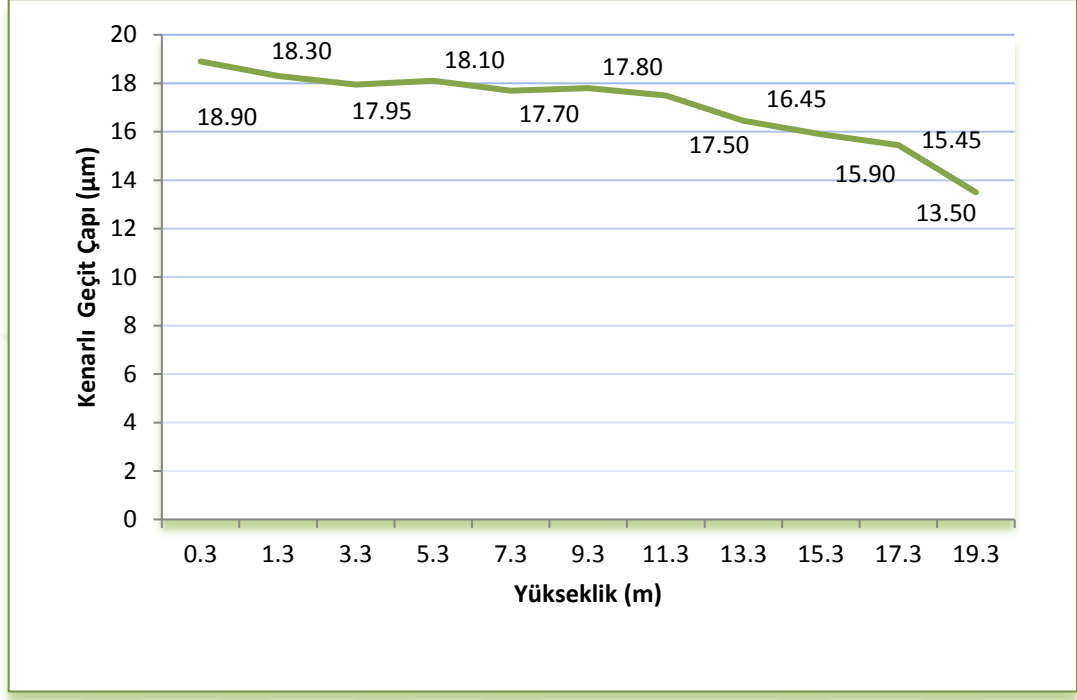
Yükseklik1 (Y1)	Yükseklik2 (Y2)	Ortalama Farkları (Y1-Y2)	Standart Hata	Önem Düzeyi(P<0,05)
0.3	1.3	0.600	0.400	1.000
	3.3	0.950	0.510	1.000
	5.3	0.800	0.470	1.000
	7.3	1.200	0.490	0.936
	9.3	1.100	0.410	0.558
	11.3	1.400	0.430	0.112
	13.3	2.450*	0.490	0.000
	15.3	3.000*	0.460	0.000
	17.3	3.450*	0.390	0.000
	19.3	5.400*	0.440	0.000

Tablo 24: devam ediyor.

1.3	3.3	0.350	0.510	1.000
	5.3	0.200	0.460	1.000
	7.3	0.600	0.460	1.000
	9.3	0.500	0.410	1.000
	11.3	0.800	0.440	1.000
	13.3	1.850*	0.510	0.037
	15.3	2.400*	0.450	0.000
	17.3	2.850*	0.390	0.000
	19.3	4.800*	0.440	0.000
3.3	5.3	-0.150	0.410	1.000
	7.3	0.250	0.420	1.000
	9.3	0.150	0.480	1.000
	11.3	0.450	0.390	1.000
	13.3	1.500	0.430	0.063
	15.3	2.050*	0.440	0.001
	17.3	2.500*	0.400	0.000
	19.3	4.450*	0.470	0.000
5.3	7.3	0.400	0.370	1.000
	9.3	0.300	0.380	1.000
	11.3	0.600	0.390	1.000
	13.3	1.650*	0.450	0.033
	15.3	2.200*	0.420	0.000
	17.3	2.650*	0.340	0.000
	19.3	4.600*	0.450	0.000
7.3	9.3	-0.100	0.410	1.000
	11.3	0.200	0.360	1.000
	13.3	1.250	0.450	0.448
	15.3	1.800*	0.420	0.004
	17.3	2.250*	0.390	0.000
	19.3	4.200*	0.470	0.000
9.3	11.3	0.300	0.320	1.000
	13.3	1.350	0.420	0.121
	15.3	1.900*	0.460	0.008
	17.3	2.350*	0.360	0.000
	19.3	4.300*	0.440	0.000
11.3	13.3	1.050	0.360	0.279
	15.3	1.600*	0.400	0.010
	17.3	2.050*	0.360	0.000
	19.3	4.000*	0.470	0.000
13.3	15.3	0.550	0.490	1.000
	17.3	1.000	0.430	1.000
	19.3	2.950*	0.410	0.000
15.3	17.3	0.450	0.400	1.000
	19.3	2.400*	0.450	0.000
17.3	19.3	1.950*	0.450	0.004

Kenarlı geçit çapında, diğer yükseklik kademeleriyle kıyaslandığında 13.3 ve 15.3 m'den sonra azalmalar başlamış ve 19.3 m'de belirgin bir azalma gözlenmiştir.

Yükseklığe bağlı olarak kenarlı geçit çaplarında meydana gelen değişimler Şekil 33'de görülmektedir. En geniş kenarlı geçitler 0.3 m'de 18.9 μm olarak, en dar kenarlı geçitler ise 19.3 m'de 13.5 μm olarak ölçülmüştür. Buna göre iki uç nokta arasında yaklaşık % 25'lik bir azalma tespit edilmiştir.



Şekil 33: Yüksekliğe bağlı olarak kenarlı geçit çaplarında meydana gelen değişimler.

3.2.10 Porus Çapına Ait Ölçümler

Odun örnekleri üzerinde her bir yükseklik kademesinde ayrı ayrı olmak üzere 50'şer adet porus çapı ölçülmüştür. Ölçüm sonuçlarına ait ortalama, minimum ve maksimum değerler ile standart sapma Tablo 25'de verilmiştir.

Tablo 25: Porus çapı ölçüm sonuçlarının ortalamaları, minimum ve maksimum değerleri ile standart sapmaları.

Yükseklik (m)	n	x (μm)	Min.Değer (μm)	Max.Değer (μm)	s
0.3	50	5.40	5.00	7.50	0.82
1.3	50	5.25	2.50	7.50	0.94
3.3	50	5.35	2.50	7.50	1.24
5.3	50	5.40	5.00	7.50	0.93
7.3	50	5.30	5.00	7.50	1.21
9.3	50	5.20	2.50	7.50	0.99
11.3	50	4.90	2.50	7.50	0.71
13.3	50	4.70	2.50	5.00	0.82
15.3	50	4.65	2.50	7.50	0.62
17.3	50	4.70	2.50	5.00	0.82
19.3	50	4.30	2.50	5.00	1.13

n: Ölçüm sayısı, x: Aritmetik ortalama, s: Standart sapma

Farklı gövde yüksekliklerinden alınan örneklerin porus çapları arasında anlamlı farkların olup olmadığı analiz edilmiş ve analiz sonuçlarına ait ortalama farkları, standart hataları ve farkın % 95 güven aralığında önemli olup olmadığını gösteren önem düzeyleri Tablo 26'da verilmiştir.

Tablo 26: Farklı gövde yüksekliklerinden alınan örneklerle ait porus çaplarının karşılaştırmalı analiz sonuçları.

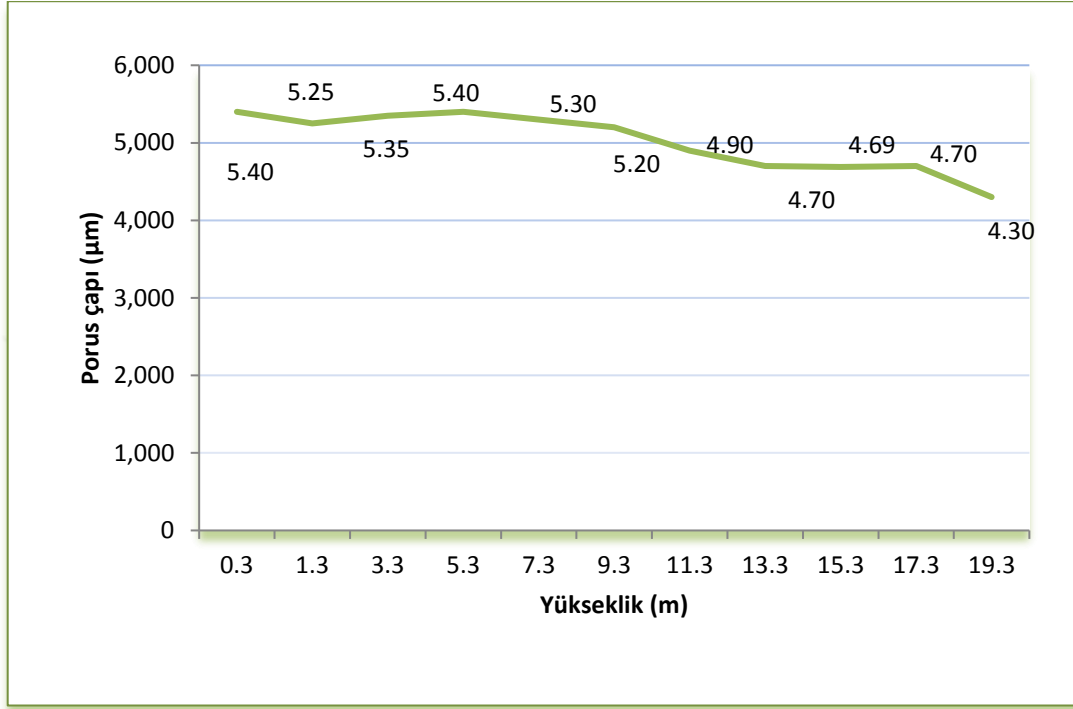
Yükseklik1 (Y1)	Yükseklik2 (Y2)	Ortalama Farkları (Y1-Y2)	Standart Hata	Önem Düzeyi(P<0,05)
0.3	1.3	0.150	0.160	1.000
	3.3	-0.050	0.220	1.000
	5.3	0.000	0.160	1.000
	7.3	0.100	0.220	0.500
	9.3	0.200	0.190	1.000
	11.3	0.400	0.150	0.547
	13.3	0.500	0.170	0.060
	15.3	0.710*	0.140	0.045
	17.3	0.700*	0.170	0.046
	19.3	1.100*	0.200	0.001

Tablo 26: devam ediyor.

1.3	3.3	-0.100	0.220	1.000
	5.3	-0.150	0.190	1.000
	7.3	-0.050	0.220	0.500
	9.3	0.050	0.180	1.000
	11.3	0.350	0.170	1.000
	13.3	0.550	0.190	1.000
	15.3	0.560	0.140	1.000
	17.3	0.550	0.190	1.000
	19.3	0.950*	0.210	0.034
3.3	5.3	-0.050	0.240	1.000
	7.3	0.050	0.220	1.000
	9.3	0.150	0.480	1.000
	11.3	0.450	0.390	1.000
	13.3	0.650*	0.430	0.063
	15.3	0.660*	0.440	0.001
	17.3	0.650*	0.400	0.000
	19.3	1.050*	0.470	0.000
5.3	7.3	0.100	0.370	1.000
	9.3	0.200	0.380	1.000
	11.3	0.500	0.390	1.000
	13.3	0.700*	0.450	0.033
	15.3	0.700*	0.420	0.000
	17.3	0.710*	0.340	0.000
	19.3	1.100*	0.450	0.000
7.3	9.3	0.100	0.410	1.000
	11.3	0.400	0.360	1.000
	13.3	0.600	0.450	0.448
	15.3	0.610	0.420	0.004
	17.3	0.600	0.390	0.000
	19.3	1.000*	0.470	0.000
9.3	11.3	0.300	0.320	1.000
	13.3	0.500	0.420	0.121
	15.3	0.250	0.460	0.008
	17.3	0.500	0.360	0.000
	19.3	0.900*	0.440	0.000
11.3	13.3	0.200	0.360	0.279
	15.3	0.210	0.400	0.010
	17.3	0.200	0.360	0.000
	19.3	0.600	0.470	0.000
13.3	15.3	-0.250	0.490	1.000
	17.3	0.000	0.430	1.000
	19.3	0.400	0.410	0.000
15.3	17.3	0.010	0.400	1.000
	19.3	0.390	0.450	0.000
17.3	19.3	0.400	0.450	0.004

Porus çaplarına ait ölçümler 0.3 m'den 13.3 m ve 15.3 m'ye kadar birbirine yakın sonuçlar vermişken, 13.3 ve 15.3 m'den sonra önceki yükseklik kademelerine göre azalma tespit edilmiştir. 11.3 ve 19.3 m arasındaki ölçüm sonuçları da benzerlik göstermiştir.

Yükseklığe bağılı olarak porus çaplarında meydana gelen değişimler Şekil 34 'de görülmektedir. En yüksek porus çapı (5.40 μm) 5.3 m'de, en düşük porus çapı (4.30 μm) ise 19.3 m'de ölçülmüştür.



Şekil 34: Yüksekliğe bağılı olarak porus çaplarında meydana gelen değişimler.

3.2.10 1 mm²'deki Traheid Sayısına Ait Ölçümler

Odun örnekleri üzerinde her bir yükseklik kademesinde ayrı ayrı olmak üzere 50'şer adet 1 mm²'deki traheid sayısı belirlenmiştir. Sonuçların ortalamaları, minimum ve maksimum değerleri ile standart sapmaları Tablo 27'de verilmiştir.

Tablo 27: 1 mm²'deki traheid sayısı ölçüm sonuçlarının ortalamaları, minimum ve maksimum değerleri ile standart sapmaları.

Yükseklik (m)	n	x (µm)	Min.Değer (µm)	Max.Değer (µm)	s
0.3	50	799.00	690	899	50.90
1.3	50	760.00	594	945	79.92
3.3	50	726.00	576	899	62.67
5.3	50	724.00	572	812	70.49
7.3	50	731.00	560	924	82.88
9.3	50	740.00	600	930	83.83
11.3	50	809.00	621	961	78.09
13.3	50	800.00	648	961	80.29
15.3	50	902.00	624	1224	120.52
17.3	50	920.00	728	1122	92.78
19.3	50	1260.00	961	1716	199.62

n: Ölçüm sayısı, x: Aritmetik ortalama, s: Standart sapma

Farklı gövde yüksekliklerinden alınan örneklerin 1 mm²'deki sayıları arasında anlamlı farkların olup olmadığı analiz edilmiş ve analiz sonuçlarına ait ortalama farkları, standart hataları ve farkın % 95 güven aralığında önemli olup olmadığını gösteren önem düzeyleri Tablo 28'de verilmiştir.

Tablo 28: Farklı gövde yüksekliklerinden alınan örneklere ait 1 mm²'deki traheid sayılarının karşılaştırmalı analiz sonuçları.

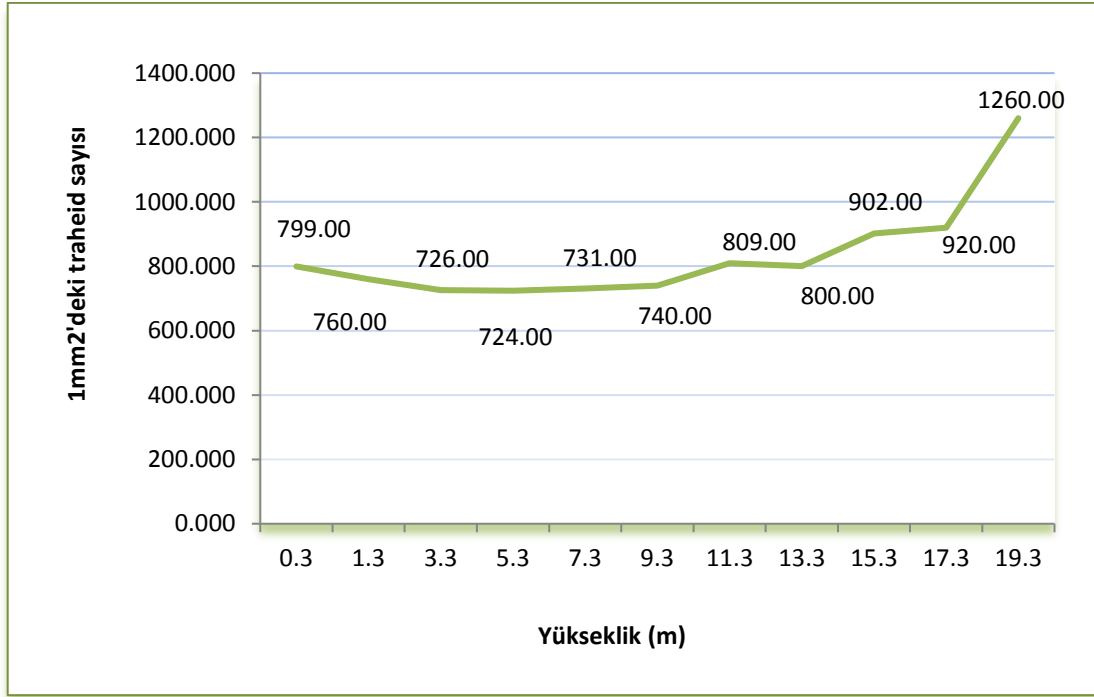
Yükseklik1 (Y1)	Yükseklik2 (Y2)	Ortalama Farkları (Y1-Y2)	Standart Hata	Önem Düzeyi(P<0,05)
0.3	1.3	39,560	12,780	0,179
	3.3	73,360*	11,889	0,000
	5.3	103,800*	10,555	0,000
	7.3	68,800*	12,017	0,000
	9.3	58,960*	14,199	0,007
	11.3	-9,880	12,549	1,000
	13.3	-0,240	13,199	1,000
	15.3	-121,060*	14,231	0,000
	17.3	-102,360*	17,969	0,000
	19.3	-660,700*	28,359	0,000

Tablo 28: devam ediyor.

1.3	3.3	33,800	12,395	0,487
	5.3	64,240*	15,950	0,011
	7.3	29,240	16,024	1,000
	9.3	19,400	18,023	1,000
	11.3	-49,440	16,453	0,230
	13.3	-39,800	15,317	0,679
	15.3	-160,620*	17,098	0,000
	17.3	-141,920*	18,540	0,000
	19.3	-700,260*	31,712	0,000
3.3	5.3	30,440	14,086	1,000
	7.3	-4,560	14,580	1,000
	9.3	-14,400	16,568	1,000
	11.3	-83,240*	15,502	0,000
	13.3	-73,600*	12,866	0,000
	15.3	-194,420*	17,417	0,000
	17.3	-175,720*	19,265	0,000
	19.3	-734,060*	29,895	0,000
5.3	7.3	-35,000	15,529	1,000
	9.3	-44,840	16,527	0,504
	11.3	-113,680*	13,588	0,000
	13.3	-104,040*	13,328	0,000
	15.3	-224,860*	15,715	0,000
	17.3	-206,160*	20,121	0,000
	19.3	-764,500*	29,984	0,000
7.3	9.3	-9,840	16,550	1,000
	11.3	-78,680*	17,289	0,002
	13.3	-69,040*	14,694	0,001
	15.3	-189,860*	17,308	0,000
	17.3	-171,160*	19,547	0,000
	19.3	-729,500*	29,797	0,000
9.3	11.3	-68,840*	13,991	0,001
	13.3	-59,200*	15,026	0,014
	15.3	-180,020*	17,075	0,000
	17.3	-161,320*	20,606	0,000
	19.3	-719,660*	28,859	0,000
11.3	13.3	9,640	17,882	1,000
	15.3	-111,180*	14,598	0,000
	17.3	-92,480*	22,787	0,010
	19.3	-650,820*	29,492	0,000
13.3	15.3	-120,820*	17,046	0,000
	17.3	-102,120*	20,898	0,001
	19.3	-660,460*	28,955	0,000
15.3	17.3	18,700	23,755	1,000
	19.3	-539,640*	32,136	0,000
17.3	19.3	-558,340*	35,850	0,000

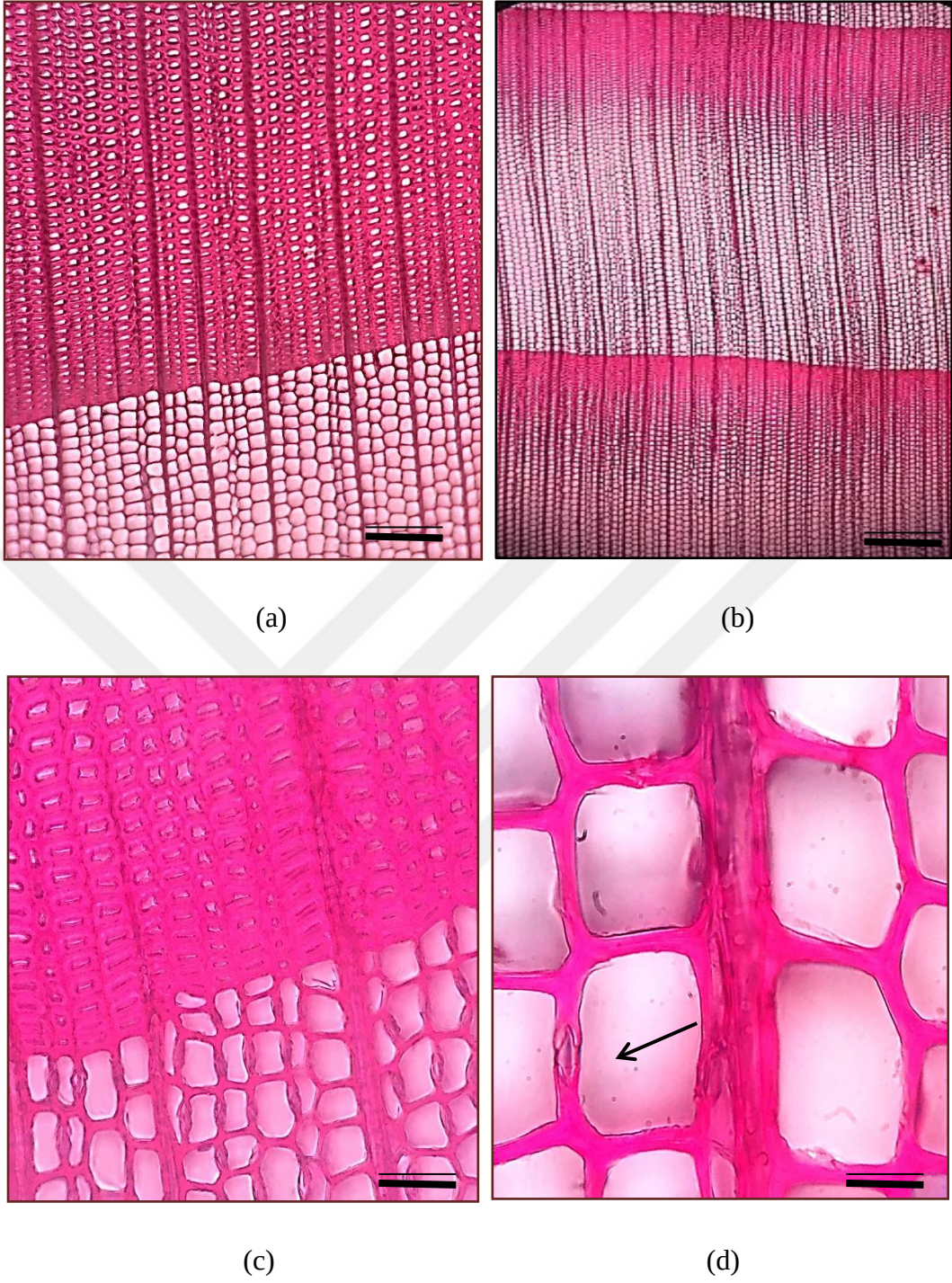
Farklı yükseklikler boyunca belirlenen 1 mm²'deki traheid sayıları 0.3 m'den sonra 9.3 m'ye kadar azalmış, 9.3 m'den sonra artarak 19.3 m'de en yüksek değere ulaşmıştır.

Yükseklığe bağlı olarak 1 mm²'deki traheid sayılarında meydana gelen değişimler Şekil 35'de görülmektedir. 1 mm²'de en az trahe (724.00 adet) 5.3 m'de saptanmıştır. 1 mm²'deki traheid sayıları traheid uzunlukları ile ters bir sonuç vermiştir. Buna göre 1 mm²'deki traheid sayıları gövde ortasına doğru azalmakta ve tepe noktasına doğru tekrar artmaktadır.

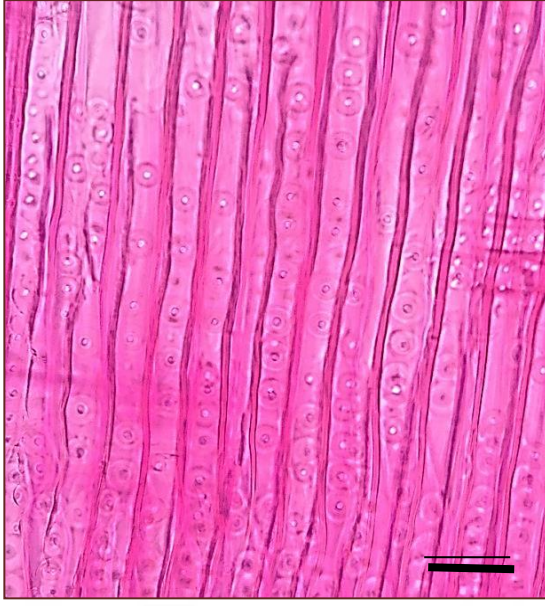


Şekil 35: Yüksekliğe bağlı olarak 1 mm²'deki traheid sayılarında meydana gelen değişimler.

Uludağ Göknarı (*Abies bornmulleriana* Mattf.)'nın anatomik incelemeleri sonucunda elde edilen görüntüler Şekil 36'da verilmiştir.



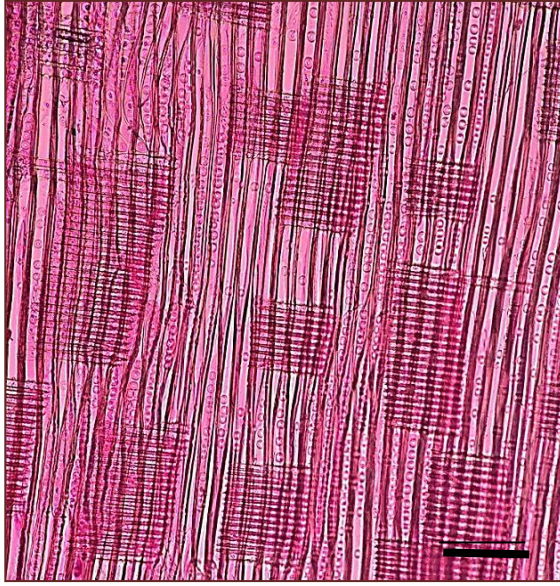
Şekil 36: Çeşitli yükseklik kademelerine ait örneklerin mikroskopik görüntüleri. a) 19.3 m'den alınan örneğin enine kesitinin görünümü, ölçek 40 μm , b) 9.3 m'den alınan örneğin enine kesitinin görünümü, ölçek 100 μm , c) 13.3 m'den alınan örneğin enine kesitinin görünümü, ölçek 40 μm , d) 17.3 m'den alınan örneğin enine kesitinde kenarlı geçitin görünümü (ok), ölçek 40 μm .



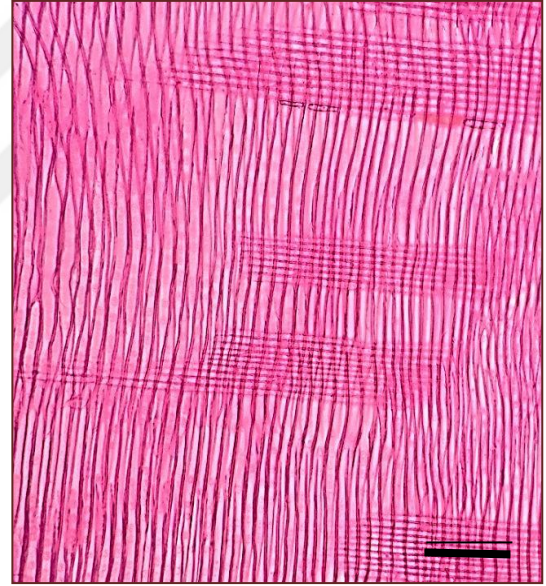
(a)



(b)

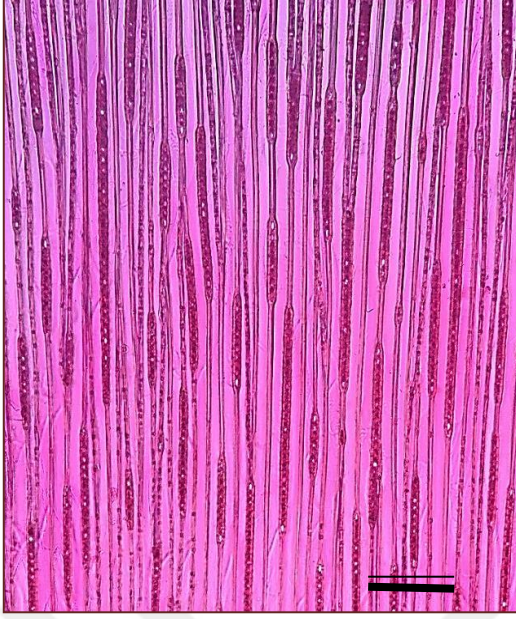


(c)



(d)

Şekil 37: a) 11.3 m'den alınan örneğin radyal kesitinin görünümü, ölçek 40 μm , b) 19.3 m'den alınan örneğin radyal kesitinde kenarlı geçitlerin görünümü, ölçek 40 μm , c) 5.3 m ve d) 1.3 m'den alınan örneklerin radyal kesitinin görünümü, ölçek 100 μm .



(1)



(i)

Şekil 38: a) 3.3 m'den ve b) 0.3 m'den alınan örneklerin teğet kesitinde öz ışınlarının görünümü, ölçek sırasıyla 100 μm ve 40 μm .

BÖLÜM 5

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

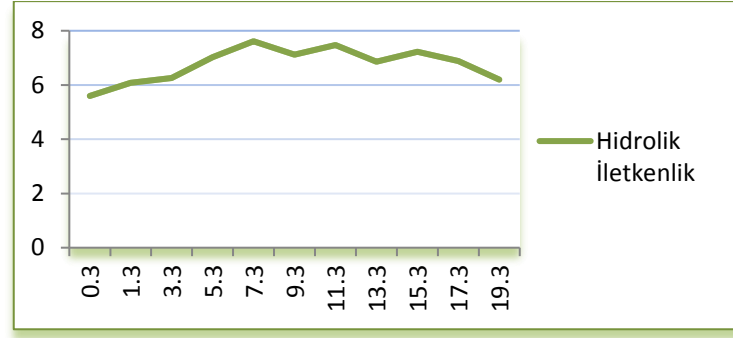
Bu çalışmada Uludağ Gökarnı (*Abies bornmulleriana* Mattf.)'nın 0.3 m-1.3 m'den 19.3 m'ye kadar 2'şer metre aralıklarla alınan örnekleri üzerinde hidrolik iletkenlik değeri belirlenmiştir. Bu değeri belirlenebilmesi için de hidrolik iletkenlik test düzeneği kurulmuş, kalibrasyonu yapılarak doğru ölçümleri yapılması sağlanmıştır.

Çalışma kapsamında aynı yükseklik kademlerindeki örnekleri anatmik özellikleri de ortaya konulmuştur. Buna bağı olarak da hidrolik iletkenlik değeri ile anatmik özellikleri arasındaki ilişki tespit edilmiştir. Anatmik özelliklere ve hidrolik iletkenliğe ait ortalama değeri Tablo 29'da görölmektedir.

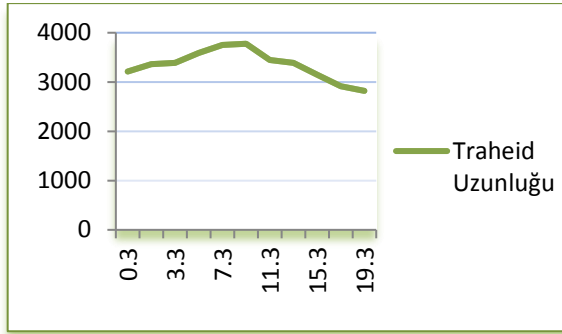
Yapılan ölçümleri sonucunda hidrolik iletkenlik değeri 0.3 m'den 7.3 m'ye kadar artış gösterdiği saptanmıştır. 7.3 m'den sonra 19.3 m'ye kadar ise yeniden bir azalış tespit edilmiştir.

Anatmik incelemeleri sonucunda da traheid uzunluklarının 0.3 m'den 9.3 m'ye kadar artış gösterdiği, daha sonra azalarak 19.3 m'de en düşük değeri ulaştığı saptanmıştır. Buna göre gövde boyunca en uzun traheidleri gövde ortasında, en kısa traheidleri ise tepe noktasında bulunmaktadır. 1 mm²'deki traheid sayıları ise gövde boyunca tepe noktasına doğru artmaktadır. 19.3 m'de diğer yükseklik kademelerine göre daha kısa ancak daha fazla sayıda traheid bulunmaktadır.

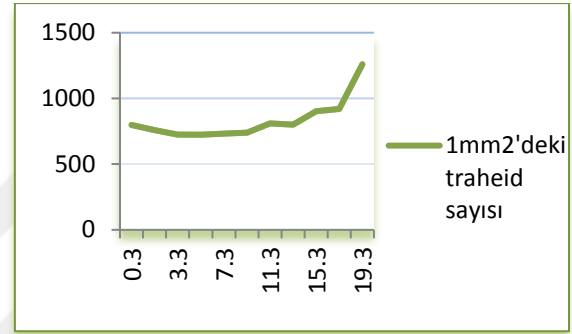
Hidrolik iletkenlik ile traheid uzunluğu ve 1 mm²'deki traheid sayısı kıyaslandığında traheid uzunluğu ile hidrolik iletkenlik değeri arasında benzer bir ilişkinin olduğu, buna karşın 1 mm²'deki traheid sayısının her iki ölçüm ile de farklı bir sonuç verdiği tespit edilmiştir (Şekil 37). Traheid uzunluğunun artmasına bağı olarak hidrolik iletkenliğin artması, traheidleri uç çeper geçişlerinin yani kenarlı geçit sayısının azalmasıyla açıklanabilmektedir. Çünkü kenarlı geçit sayılarının azalması direncin azalmasına yol açacaktır.



(a)



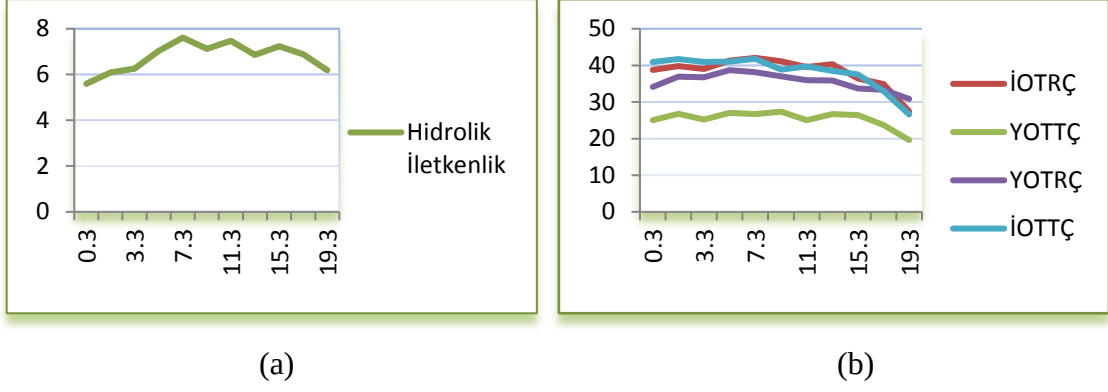
(b)



(c)

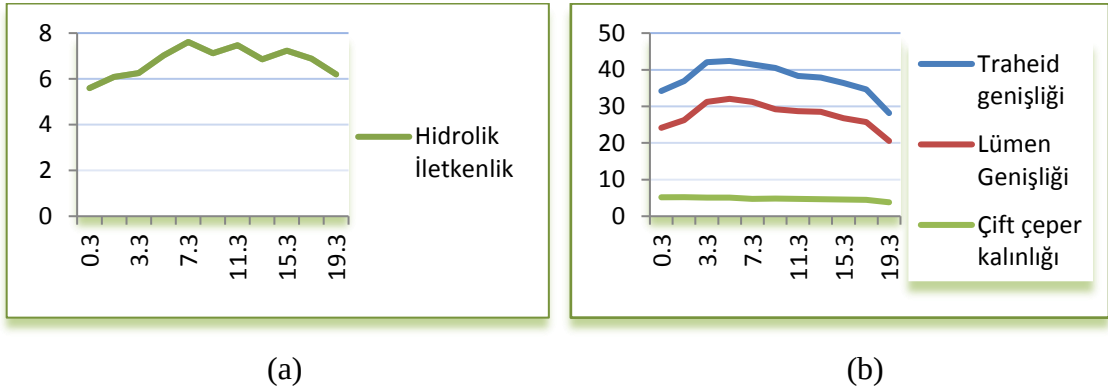
Şekil 39: Hidrolik iletkenlik (a), traheid uzunluğu (b) ve 1mm²'deki traheid sayısı (c)'na ait grafiksel karşılaştırma.

İlkbahar odunu traheid teğet ve radyal çapı ile yaz odunu traheid teğet ve radyal çapı ölçüm sonuçları 19.3 m'ye kadar benzer sonuçlar vermiş, 19.3 m'de azalma göstermiştir. Traheid çaplarının kendi aralarındaki karşılaştırması ve hidrolik iletkenlikle olan kıyaslaması Şekil 38'de görülmektedir. Buna göre tepe noktasına doğru bir azalmanın olması traheid çapları ile hidrolik iletkenliğin benzer bir eğilimde olduğunu göstermektedir.



Şekil 40: Hidrolik iletkenlik (a) ile ilkbahar odunu traheid teğet çapı (İOTTÇ), ilkbahar odunu traheid radyal çapı (İOTRÇ), yaz odunu traheid teğet çapı (YOTTÇ) ve yaz odunu traheid radyal çapı (YOTRÇ) (b)'nin grafiksel karşılaştırması.

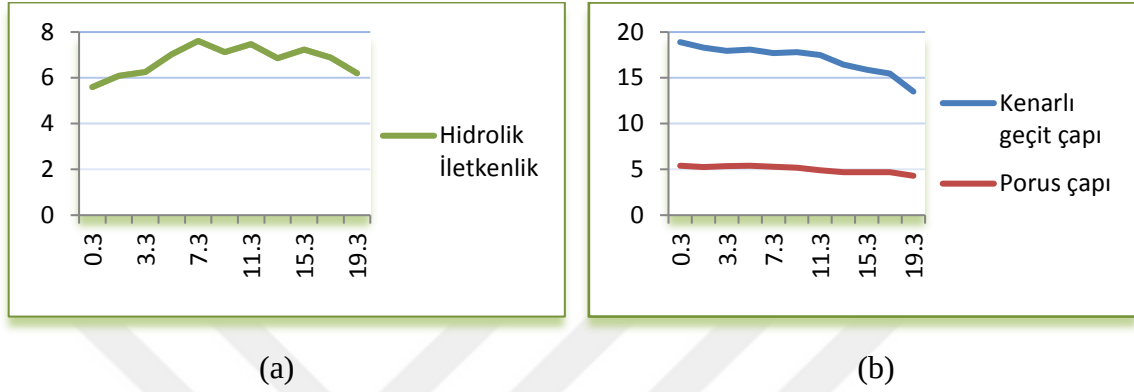
Traheid ve lümen genişliğinin 0.3 m'den 7.3 m'ye kadar artış gösterdiği, 7.3 m'den sonra azaldığı belirlenmiştir. Traheid ve lümen genişlikleri 17.3 ve 19.3 m'de gövdenin alt kısmında ölçülen değerlere göre oldukça dardır. Çift çeper kalınlıklarında yüksekliğe bağlı olarak çok büyük farklılıklar saptanmamıştır. Traheid genişliği, lümen genişliği ve çift çeper kalınlığı Şekil 39'da hidrolik iletkenlik ile karşılaştırılmıştır. Buna göre traheid ve lümen genişlikleri ile hidrolik iletkenliğin benzer şekilde 7.3 m'ye kadar artış gösterdiği ve sonra tekrar azaldığı görülmektedir. Çift çeper kalınlığı ile hidrolik iletkenlik arasında ise herhangi bir benzerlik bulunmamaktadır.



Şekil 41: Hidrolik iletkenlik (a) ile traheid genişliği, lümen genişliği ve çift çeper kalınlığı (b)'nin grafiksel karşılaştırması.

Kenarlı geçit çaplarının yükseklik arttıkça azalma gösterdiği tespit edilmiştir. Porus çaplarında ise gövdenin tepesine doğru daha hafif azalmalar gözlenmiştir. Kenarlı geçit ve porus çapları hidrolik iletkenlik ile kıyaslandığında (Şekil 40) yine gövdenin ortasından sonra azalmanın olması açısından benzerlik görülmüştür. Kenarlı geçit çapları hidrolik

iletkenliğin aksine dip kısımlarda tepe noktasına göre daha büyük bulunmakla birlikte ölçülen değerlerin gövde ortasına doğru çok büyük farklılıklar yaratmadığı tespit edilmiştir. İğne yapraklı ağaçlarda ilettime en fazla direnç gösteren noktaların kenarlı geçit çiftleri olduğu düşünüldüğünde kenarlı geçit çaplarının azalmasıyla hidrolik iletkenliğin de azalması beklenen bir durumdur.



Şekil 42: Hidrolik iletkenlik (a) ile Kenarlı geçit ve porus çaplarının (b) karşılaştırmalı grafiksel karşılaştırması.

Uludağ Gökarnı (*Abies bornmulleriana* Mattf.)'nın farklı gövde yüksekliklerindeki hidrolik iletkenliği anatomik özelliklerle kıyaslandığında genel olarak benzer değişimlerin olduğu tespit edilmiştir. Buna göre anatomik özellikler ve buna bağlı olarak hidrolik iletkenlik, gövdenin dip kısmından gövde ortasına doğru bir artış göstermekte ve daha sonra tepe noktasına doğru yeniden azalmaktadır. Yapılan çalışmada hidrolik iletkenlik 0.3 m ile 19.3 m arasında ölçülmüştür. Hidrolik iletkenliğin 19.3 m'den sonra da azalmaya devam edeceği ve dip kısımdan daha az iletkenlik değerine sahip olacağı tahmin edilmektedir.

Hidrolik iletkenlik ile anatomik özellikler arasındaki ilişkiyi belirlemek amacıyla yapılan bu çalışmada Uludağ Gökarnı (*Abies bornmulleriana* Mattf.)'nın hidrolik iletkenliği ve anatomik özellikleri ortaya konulmuş ve literatürle uyumlu sonuçlar elde edilmiştir. Ağaçlardaki iletim sistemini anlayabilmemiz için temel niteliğinde olan bu çalışma, ülkemizde daha önce ele alınmamış olması açısından önem taşımaktadır. Uludağ Gökarnı (*Abies bornmulleriana* Mattf.)'na ilave olarak başka ağaç türleri üzerinde daha detaylı yapılacak incelemelerle çalışma genişletilebilecektir. Farklı ağaçların da incelenmesiyle elde edilecek bulgular ağaçlardaki iletim sistemini çözmemize yardımcı olacaktır.

Ağaçlardaki hidrolik iletkenliği ve buna bağı olarak tüm iletim sistemini anlamak, bu sistemi modern hayata uyarlamak açısından önem taşımaktadır. Günümüzde daha az enerji tüketen, doğayla dost ürünler önem kazanmaktadır. Bu amaçla da doğaya benzetim yoluyla yeni ürünler tasarlanmaktadır. Bu çalışmayla birlikte yapılacak olan başka çalışmalarla ağaçlardaki hidrolik iletkenlik prensipleri ve iletim sistemi anlaşılabilirdiğinde herhangi bir pompa kullanmadan, sadece basınç farkı esasına dayanan su taşıma sistemlerinin, bitki sulama sistemlerinin vb olabilirliği değerlendirilebilecektir. Bu sayede daha az enerji tüketimiyle su taşınması mümkün olabilecektir.



Tablo 29: Uludağ Göknaı (*Abies bornmulleriana* Mattf.)'nın farklı gövde yüksekliklerine ait odun örneklerinin anatomik özellikleri ve hidrolik iletkenlik değeri.

	Traheid Uzunluğu (μm)	Traheid Genişliği (μm)	Traheid Lümen Genişliği (μm)	Traheid Çift Çeper Kalınlığı (μm)	İOTTÇ (μm)	İOTRÇ (μm)	YOTTÇ (μm)	YOTRÇ (μm)	Kenarlı Geçit Çapı (μm)	Porus Çapı (μm)	1mm ² 'deki Traheid Sayısı	Hidrolik İletkenlik (ml s ⁻¹ MPa ⁻¹ x10 ⁻²)
0.3	3212.3	34.15	24.10	5.15	40.95	38.75	25.05	34.10	18.90	5.40	799.00	5.596
1.3	3362.9	36.90	26.20	5.20	41.75	39.8	26.80	36.90	18.30	5.25	760.00	6.082
3.3	3391.3	42.10	31.20	5.10	40.90	39.05	25.20	36.75	17.95	5.35	726.00	6.255
5.3	3592.2	42.40	32.05	5.05	41.00	41.25	27.00	38.70	18.10	5.40	724.00	7.019
7.3	3751.6	41.45	31.25	4.75	41.80	42.05	26.65	38.10	17.70	5.30	731.00	7.673
9.3	3776.3	40.50	29.25	4.78	38.85	41.1	27.35	37.00	17.80	5.20	740.00	7.151
11.3	3448.8	38.30	28.70	4.75	39.75	39.5	25.00	36.00	17.50	4.90	809.00	7.406
13.3	3391.3	37.85	28.55	4.62	38.45	40.3	26.70	35.90	16.45	4.70	800.00	6.862
15.3	3146.5	36.35	26.75	4.54	37.50	36.4	26.45	33.70	15.90	4.69	902.00	7.231
17.3	2914.5	34.65	25.75	4.45	32.95	34.95	23.70	33.35	15.45	4.70	920.00	6.879
19.3	2820.3	28.15	20.55	3.80	26.60	27.45	19.60	30.85	13.50	4.30	1260.00	6.193

İOTTÇ: İlkbahar odunu traheid teğet çapı, İOTRÇ: İlkbahar odunu traheid radyal çapı, YOTTÇ: Yaz odunu traheid teğet çapı, YOTRÇ: Yaz odunu traheid radyal çapı.

KAYNAKLAR

- Alder, N. N., Sperry, J. S., Pockman, W. T. (1996). Root and stem xylem embolism, stomatal conductance, and leaf turgor in *Acer grandidentatum* populations along a soil moisture gradient. *Oecologia*, 105: 293–301.
- Anfodillo, T., Carraro, V., Carrer, M., Fior, C., Rossi, S. (2006) Convergent tapering of xylem conduits in different woody species. *New Phytology*, 169: 279–290.
- Anfodillo, T., Deslauriers, A. ve Menardi, R. (2012). Widening of xylem conduits in a conifer tree depends on the longer time of cell expansion downwards along the stem. *Journal of Experimental Botany*, 63: 837–845.
- Aytuğ, B. (1959). Türkiye Gökmar (Abies Tourn.) Türleri Üzerinde Morfolojik Esaslar ve Anatomik Araştırmalar -özet- İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi. Cilt IX. Seri A. Sayı 2. sa. 165–217.
- Becker, P., Tyree, M. T. ve Tsuda, M. (1999). Hydraulic conductances of angiosperms versus conifers: similar transport sufficiency at the whole-plant level. *Tree Physiology*, 19: 445–452.
- Berkel, A. (1970). Ağaç Malzeme Teknolojisi (Cilt I). İ.U. Orman Fakültesi Yayını. Yayın No:147.
- Bouslimi, B., Koubaa, A. ve Bergeron, Y. (2014). Anatomical properties in *Thuja occidentalis*: Variation and relationship to biological processes. *IAWA Journal*, 35 (4): 363–384.
- Bozcuk, S. (2013). *Genel Botanik*, Hatipoğlu Yayınları, Yükseköğretim Dizisi:22, Ankara.
- Bozkurt, Y. ve Göker, Y. (1996). *Fiziksel ve Mekaniksel Ağaç Teknolojisi*. İstanbul Üniversitesi Yayınları:Yayın no: 3944.
- Bozkurt, Y. ve Erdin, N. (2000). *Odun Anatomisi*. İstanbul Üniversitesi Yayınları: Yayın no: 466.
- Bostwick, D. E., Dannenhoffer, J. M., Skaggs, M.I., Lister, R. M., Larkins, B. A. ve Thompson, G. A. (1992). *Cucurbita* phloem lectin genes are specifically expressed in companion cells. *Plant Cell*, 4: 1539–1548.
- Brooker, R. E. (1989). "An Explanation for the Characteristic Appearance of Aspirated Pits". Second Pacific Regional Wood Anatomy Conference. October. 15-21. IAWA-Bulletin. 10(3): 335.
- Chiu, S. T. ve Ewers, F. W. (1992). Xylem structure and water transport in a twiner, a scrambler and a shrub of *Lonicera* (Caprifoliaceae). *Trees: Structure and Function*. 6: 216–224.

- Chiu, S. T., Anton, L. H., Ewers, F. W., Hammerschmidt, R. ve Pregitzer, K. S. (1992). Effects of fertilization on epicuticular wax morphology of needle leaves of Douglas-fir. *Pseudotsuga menziesii* (Pinaceae). [*American Journal of Botany*](#).79: 149–154.
- Coomes, D. A., Jenkins, K. L., Cole, L. E. S. (2007). Scaling of tree vascular transport system along gradients of nutrient supply and altitude. *Biology Letters*, 3: 86–89.
- Comstock., J. P. ve Sperry, J. S. (2000). Theoretical considerations for optimal conduit length for water transport in vascular plants. *New Phytologist*. 148: 195–218.
- Cruiziat, P., Cochard, H. ve Améglio, T. (2002). Hydraulic architecture of trees: main concepts and results. [*Annals of Forest Science*](#). 59: 723–752
- Dahle, A. D. (2009). *How the hydraulic and mechanical properties of wood influence branch from Norway Maple (Acer Platanoides L.)*.Phd dissertation in The State University of New Jersey.
- Dickison, W. (2000). *Integrative Plant Anatomy*. Academic Press, London.
- Domec, J. C. ve Gartner, B. L. (2002). How do water transport and water storage differ in coniferous earlywood and latewood? *Journal of Experimental Botany*, 53(379): 2369–2379.
- Domec, J. C. ve Gartner, B. L. (2003). Relationship between growth rates and xylem hydraulic characteristics in young, mature and old-growth ponderosapine trees, *Plant, Cell and Environment*, 26: 471–483.
- Domec, J. C. ve Gartner, B. L. (2005). Axial and radial profiles in conductivities, water storage and native embolism in trunks of young and old-growth ponderosa pine trees. *Plant, Cell and Environment*, 28: 1103–1113.
- Dunham, S. M., Lachenbruch, B. ve Ganio, L. M. (2007). Bayesian analysis of Douglas-fir hydraulic architecture at multiple scales. *Trees*, 21: 65–78.
- Ellison, A. M., Niklas, K. J. ve Shumway, S. (1993). Xylem vascular anatomy and water transport of *Salicornia europae*. *Aquatic Botany*, 45: 325–339.
- Fan, Z., Cao, K. ve Becker, P. (2009). Axial and radial variations in xylem anatomy of angiosperm and conifer trees in Yunnan, China. *IAWA Journal*, 30(1): 1–13.
- Gartner, B. L. (2002). Structure and Hydraulic Function of Xylem in Two Tree Species with Contrasting Amounts of Sapwood, *Pseudotsuga menziesii* and *Pinus ponderosa*. A Dissertation, Oregon State University.
- Gartner, B. L., Roy, J. ve Huc, R. (2003). Effects of tension wood on specific conductivity and vulnerability to embolism of *Quercus ilex* seedlings grown at two atmospheric CO₂ concentrations. *Tree Physiology*. 23: 387–395.

- Gebauer, R. ve Volařík, D. (2013). Root hydraulic conductivity and vessel structure modification with increasing soil depth of two oak species: *Quercus pubescens* and *Quercus robur*. *Trees*, 27: 523–531.
- Gonzalez-Benecke, C. A., Martin, T. A. ve Peter, G. F. (2010). Hydraulic architecture and tracheid allometry in mature *Pinus palustris* and *Pinus elliottii* trees. *Tree Physiology*. 30: 361–375.
- Granier, A., Anfodillo, T., Sabatti, M., Cochard, H., Dreyer, E., Tomasi, M., Valentini, R. ve Bréda, N. (1994). Axial and radial water flow in the trunks of oak trees: a quantitative and qualitative analysis. *Tree Physiology*, 14: 1383–1396.
- Hacke, U. G., Sperry, J. S. ve Pittermann, J. (2004). Analysis of circular bordered pit function II. Gymnosperm tracheids with torus-margo pit membranes. *American Journal of Botany*. 91: 386–400.
- Harbusch, M. (2014). The effect of climate variables on sapwood anatomy of Eucalyptus, Dissertation Thesis, The University of Sydney, Faculty of Agriculture and Environment, New South Wales, Australia.
- James, S. A., Meinzer, F. C., Goldstein, G., Woodruff, D., Jones, T., Restom, T., Mejia, M., Clearwater, M., ve Campanello, P. (2003). Axial and radial water transport and internal water storage in tropical forest canopy trees. *Oecologia*, 134: 37–45.
- Jansen, S., Gortan, E., Lens, F., Lo Gullo, M. A., Salleo, S., Scholz, A., Stein, A., Trifilò, P. ve Nardini, A. (2011). Do quantitative vessel and pit characters account for ion-mediated changes in the hydraulic conductance of angiosperm xylem? *New Phytologist*. 189: 218–228.
- Kacar, B., Katkat, V. ve Öztürk, Ş. (2002). *Bitki Fizyolojisi*. Nobel Akademik Yayıncılık. Ankara.
- Kacar, B. (2015). *Genel Bitki Fizyolojisi*, Nobel Akademik Yayıncılık. Ankara.
- Kavanaugh, K. L., Bond, B. J., Aitken, S. N., Gartner, B. L., Knowe, S. (1999). Shoot and root vulnerability to xylem cavitation in four populations of Douglas-fir seedlings. *Tree Physiology*, 19: 31–37.
- Keskinkol, M. (1996). Rutubet Oranı ve Bazı Organik Çözücülerin Doğu Ladini (*Picea orientalis* (L.) Link) Odunu Gaz Permeabilitesi Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi. Doktora Tezi. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Kitin, P.B., Fujii, T., Abe, H. ve Funada, R. (2004). Anatomy of the vessel network within and between tree rings of *Fraxinus lanuginosa* (Oleaceae). *American Journal of Botany*, 91: 779–788.
- Kolb, K.J., Sperry, J.S. ve Lamont, B. B. A. (1996). Method for measuring xylem hydraulic conductance and embolism in entire root and shoot systems. *Journal of Experimental Botany*, 47: 1805–1810.

- Leitch, M. A. (2001). Vessel-element dimensions and frequency within the most current growth increment along the length of *Eucalyptus globulus* stems. *Trees*, 15: 353–357.
- Lewis, A.M. ve Boose, E.R. (1995). Estimating volume flow rates through xylem conduits. *American Journal of Botany*. 82: 1112–1116.
- Longui, E. L., Romeiro, D. ve Alves, E. S. (2012). Differences in anatomy and potential hydraulic conductivity between root and stem of *Caesalpinia echinata* Lam. (Fabaceae). *Hoehnea*, 39(4): 649–655.
- McCulloh, K., Sperry, J. S. (2005). Patterns in hydraulic architecture and their implications for transport efficiency. *Tree Physiology*, 25: 257–267.
- McElrone, A. J., Pockman W. T., Martínez-Vilalta J. ve Jackson. R. B. (2004). Variation in xylem structure and function in stems and roots to 20 m depth. *New Phytologist*, 163: 507–517.
- Meinzer, F. C., Clearwater, M. J. ve Goldstein, G. (2001). Water transport in trees: current perspectives, new insights and some controversies. *Environmental and Experimental Botany*, 45: 239–262.
- Melcher, P. J., Holbrook, K. N. M., Burns, M. J., Zwieniecki, M. A., Cobb, A. R., Brodribb, T. J., Choat, B. ve Sack, L. (2012). Measurements of stem xylem hydraulic conductivity in the laboratory and field. *Methods in Ecology and Evolution*, 3: 685–694.
- Mencuccini, M. J., Grace, P. G. ve Fioranvanti, M. (1997). Biomechanical and hydraulic determinants of tree structure in Scots pine: anatomical characteristics. *Tree Physiology*, 17: 105–113.
- Merev, N. (1998). *Odun Anatomisi*. Karadeniz Teknik Üniversitesi. Orman Fakültesi Yayın No: 189/27. Trabzon.
- Nardini, A. ve Tyree, M. T. (1999). Root and shoot hydraulic conductance of seven *Quercus* species. *Annals of Forest Science*, 56: 371–377.
- Nijse, J., Heijden van der, G. W. A. M., Leperen van, W., Keijzer, C. J. ve Meeteren van, U. (2001). Xylem hydraulic conductivity related to conduit dimension along chrysanthemum stems. *Journal of Experimental Botany*, 52: 319–327.
- Niklas, K. J. (1992). *Plant biomechanics: an engineering approach to plant form and function*. University of Chicago Press. Chicago IL.
- Nobel, P. (2009). *Physicochemical and environmental plant physiology*. 4th ed. Academic press. San Diego.
- Oliveras, I., Martínez-Vilalta, J., Jimenez-Ortiz, T., Lledó, M. J., Escarré, A. ve Piñol, J. (2003). Hydraulic properties of *Pinus halepensis*, *Pinus pinea* and *Tetraclinis articulata* in a dune ecosystem of Eastern Spain. *Plant Ecology*, 169: 131–141.

- Örs, Y. ve Keskin, H. (2008). *Ağaç Malzeme Teknolojisi*. Gazi Kitabevi.
- Pallardy, G. G. (2008). *Physiology of Woody Plants*. Academic Press. Inc. San Diego.
- Patiño, S., Tyree, M. T. ve Herre, E. A. (1995). Comparison of hydraulic architecture of woody plants of differing phylogeny and growth form with special reference to freestanding and hemi-epiphytic *Ficus* species from Panama. *New Phytologist*, 129: 125–134.
- Pereira, L. ve Mazzafera, P. (2012). A low cost apparatus for measuring the xylem hydraulic conductance in plants. *Bragantia. Campinas*. 71: 583–587.
- Petit, G., Anfodillo, T. ve Mencuccini, M. (2008). Tapering of xylem conduits and hydraulic limitation in sycamore (*Acer pseudoplatanus*) trees. *New Phytologist*, 177: 653–664.
- Petit, G., Anfodillo, T. (2009). Plant physiology in theory and practice: an analysis of the WBE model for vascular plants. *Journal of Theoretical Biology*, 259: 1–4.
- Petit, G., Pfautsch, S., Anfodillo, T., Adams, M. (2010). The challenge of tree height in *Eucalyptus regnans*: when xylem tapering overcomes hydraulic resistance. *New Phytologist*, 187: 1146–1153.
- Pickard, W.F. (1981). The ascent of sap in plants. *Progress in Biophysics and Molecular Biology*, 37: 181–229.
- Pothier, D., Margolis, H. A., Waring, R. H. (1989a) Patterns of change of saturated sapwood permeability and sapwood conductance with stand development. *Canadian Journal of Forest Research*, 19: 432–439.
- Raven, P. H., Evert, R. F. ve Eichhorn, S. E. (1992). *Biology of plants*. 5th ed. Worth Publishers. New York.
- Ridge, I. (2002). *Plants*. Oxford University Press. Oxford.
- Roderick, M. L. ve Berry, S. L. (2001). Linking wood density with tree growth and environment: a theoretical analysis based on the motion of water. *New Phytologist*. 149: 473–485.
- Rosner, S. (2013). Hydraulic and biomechanical optimization in Norway spruce trunk wood – a review. *IAWA Journal*, 34(4): 365–390.
- Ryan, M. G., Phillips, N. ve Bond, B. J. (2006). The hydraulic limitation hypothesis revisited. *Plant, Cell & Environment*, 29: 367–381.
- Salisbury, F. B. ve Ross, C. W. (1992). *Plant Physiology*. Wadsworth Publishing Company, Belmont, California.
- Sellin, A. (1993) Resistance to water flow in xylem of *Picea abies* (L.) Karst. trees grown under contrasting light conditions. *Trees*, 7: 220–226.

- Sellin, A., Rohej  r, A. ve Rahi, M. (2008). Distribution of vessel size, vessel density and xylem conducting efficiency within a crown of silver birch (*Betula pendula*). *Trees*, 22: 205–216.
- Siau, J. F. (1984). *Transport Processes in Wood*. Springer. Berlin.
- Steppe, K. (2004). Diurnal dynamics of water flow through trees: Design and validation of a mathematical flow and storage model. [Doctoral thesis](#). ISBN 90-5989-027-2.
- Sperry, J. S., Donnelly, J. R. ve Tyree, M. T. (1988). A method for measuring hydraulic conductivity and embolism in xylem. *Plant Cell and Environment*, 11: 35–40.
- Sperry, J. S., Hacke, U. G. ve Pittermann, J. (2006). Size and function in conifer tracheids and angiosperm vessels. *American Journal of Botany*, 93: 1490–1500.
- Spicer, R. ve Gartner, B. L. (2001). The effects of cambial age and position within the stem on specific conductivity in Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii*) sapwood. *Trees*, 15: 222–229.
- Taiz, L. ve Zeiger, E. (2008). *Bitki Fizyolojisi*. Ankara: Palme Yayıncılık.
- Thomas, R. J. ve Nicholas, D. D. (1966). Pit Membrane Structure in Loblolly Pine As Influenced by Solvent Exchange Drying. *Forest Products Journal*, 16(3): 53–56.
- Tyree, M. T. ve Sperry, J. S. (1989a). Vulnerability of xylem to cavitation and embolism. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 40: 19–38.
- Tyree, M. T. ve Ewers, F. W. (1991). The hydraulic architecture of trees and other woody plants. *New Phytologist*, 119: 345–360.
- Tyree, M. T. (1997). The cohesion-tension theory of sap ascent: current controversies. *Journal of Experimental Botany*, 48: 1753–1765.
- Tyree, M. T., Vargas, G., Engelbrecht, B. M. J. ve Kursar, T. A. (2002). Drought until death do us part: a case study of the desiccation-tolerance of a tropical moist forest seedling-tree. *Licania platypus* (Hemsl.) Fritsch. *Journal of Experimental Botany*. 53: 2239–2247.
- Tyree, M. T. ve Zimmermann, M. H. (2002). *Xylem structure and the ascent of sap*. Second Edition. Springer-Verlag. New York.
- URL-1. <http://www.nyit-nyit.net/threads/tiap-tahun-pohon-juga-merayakan-ulang-tahunnya.155985/>
- URL-2. <http://schoolbag.info/biology/living/266.html>
- Wang, J. R. (2005). Spring and summer hydraulic conductivity of 14 woody species of the sub-boreal forest in British Columbia. *Canadian Journal of Forest Research*, 35: 2727–2733.

- Weitz, J. S., Ogle, K. ve Horn, H. S. (2006). Ontogenetically stable hydraulic design in woody plants. *Functional Ecology*, 20: 191–199.
- West, G. B., Brown, J. H. ve Enquist, B. J. (1999). A general model for the structure and allometry of plant vascular systems. *Nature*, 400: 664–667.
- Whitehead, D., Edwards, W. R. N., Jarvis, P. G. (1984). Conducting sapwood area, foliage area, and permeability in mature trees of *Picea sitchensis* and *Pinus contorta*. *Canadian Journal of Forest Research*, 14: 940–947.
- Woodruff, D. R., Meinzer, F. C. ve Lachenbruch, B. (2008). Height-related trends in leaf xylem anatomy and shoot hydraulic characteristics in a tall conifer: safety versus efficiency in water transport. *New Phytologist*, 180: 90–99.
- Yaltırık, F. ve Efe, A. (2000). Dendroloji. İstanbul Üniveristesi Yayınları, Yayın no:465
- Zimmermann, M. H. (1978). Hydraulic architecture of some diffuse-porous trees. *Canadian Journal of Botany*, 56: 236–295.
- Zach, A., Schuldt, B., Brix, S., Horna, V., Culmsee, H. ve Leuschner, C. (2010). Vessel diameter and xylem hydraulic conductivity increase with tree height in tropical rainforest trees in Sulawesi, Indonesia. *Flora*, 205: 506–512.
- Zotz, G., Tyree, M. T. ve Cochard, H. (1994). Hydraulic architecture, water relations and vulnerability to cavitation of *Clusia uvitana* Pittier: A C3-CAM tropical hemiepiphyte. *New Phytology*, 127: 287–295.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Süheyla Esin KÖKSAL
Doğum Yeri ve Tarihi : Bolu - 1982

Eğitim Durumu

Lisans Öğrenimi : ZKÜ- Bartın Orman Fakültesi, Orman Endüstri Müh.
Yüksek Lisans Öğrenimi : ZKÜ - Fen Bilimleri Enstitüsü - Orman Endüstri
Mühendisliği Anabilim Dalı
Bildiği Yabancı Diller : İngilizce
Bilimsel Faaliyet/Yayınlar : Kılıç, A., Sariusta, S.E. ve Hafızoğlu, H. (2010). Sarıçam,
Karaçam ve Kızılçam Basınç Odununun Kimyasal Yapısı.
Bartın Orman Fakültesi Dergisi 12(18) : 33–9
Köksal, S. E. ve Pekgözlü, K. A. (2016). Sarıçam (*Pinus
sylvetris* L.), Karaçam (*Pinus nigra* Arnold.) ve Kızılçam
(*Pinus brutia* Ten.) Basınç Odununun Mikroskobik
Yapısı. Düzce Üniversitesi Ormancılık Dergisi, 12(1): 72–
82
Aldığı Ödüller : -

İş Deneyimi

Stajlar : Gentaş A.Ş.
Projeler ve Kurs Belgeleri : -
Çalıştığı Kurumlar : Niğde Üniversitesi, Abant İzzet Baysal Üniversitesi

İletişim

E-Posta Adresi : esinkoksal@ibu.edu.tr

Tarih : 20/09/2016