

**T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KIZILÇAMDA GENÇ ODUN KISMININ BELİRLENMESİNDE
TERMOGRAFINİN UYGULANABİLİRLİĞİ**

Yasemin ŞİMŞEK

**Danışman
Doç. Dr. Bilgin İÇEL**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ORMAN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISPARTA - 2017**



© 2017 [Yasemin ŞİMŞEK]

TEZ ONAYI

Yasemin ŞİMŞEK tarafından hazırlanan "**Kızılçamda Genç Odun Kısımının Belirlenmesinde Termografinin Uygulanabilirliği**" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak başarı ile savunulmuŐtur.

Danışman

Doç. Dr. Bilgin İÇEL
Süleyman Demirel Üniversitesi



Jüri Üyesi

Prof. Dr. Halil Turgut ŐAHİN
Süleyman Demirel Üniversitesi



Jüri Üyesi

Yrd. Doç. Dr. Ali İhsan KAYA
Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi



Enstitü Müdürü **Prof. Dr. Yasin TUNCER**

TAAHHÜTNAME

Bu tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Yasemin ŞİMŞEK



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER.....	i
ÖZET	ii
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	v
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Anatomik Özelliklerine Göre Genç Odun Kısımının Belirlenmesi ..	2
1.2. Mekanik Özelliklerine Göre Genç Odun Kısımının Belirlenmesi.....	4
1.3. Fiziksel Özelliklerine Göre Genç Odun Kısımının Belirlenmesi	6
1.4. Kimyasal Özelliklerine Göre Genç Odun Kısımının Belirlenmesi ...	8
1.5. Termografi ve Tarihçesi	9
1.6. Termal Kameralar	10
1.6.1. Termal kameraların uygulama alanları	11
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	15
2.1. Kızılçam (<i>Pinus brutia</i> Ten.) Hakkında Genel Bilgiler	25
2.1.1. Kızılçamın botanik özellikleri.....	25
2.1.2. Kızılçamın doğal yayılışı	26
2.1.3. Kızılçamın makroskobik ve mikroskopik özellikleri.....	28
3. YÖNTEM	29
3.1. Materyal	29
3.2. Metot.....	30
3.2.1. Artım kalemlerinin alınması	31
3.2.2. Genç odun kısmının belirlenmesi.....	33
3.2.3. Yoğunluğun belirlenmesi (X-ray ölçümleri)	34
3.2.4. Basınç direncinin belirlenmesi.....	36
3.2.5. Yıllık halka özelliklerinin belirlenmesi	39
3.2.6. Hücre çeper kalınlığı ölçümleri.....	42
3.2.6.1. Örneklerin hazırlanması	42
3.2.6.2. Mikroskopik kesitlerin hazırlanması	44
3.2.6.3. Mikroskopta görüntülerin alınması ve çeper kalınlığı ölçümü.....	46
3.2.7. Termal görüntülerin elde edilmesi, IR ölçümler ve değerlendirme.....	49
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	57
4.1. Yoğunluk (X-ray ölçümleri) Değerlerine Ait Bulgular	57
4.2. Yıllık Halka Özelliklerine Ait Bulgular	60
4.3. Hücre Çeper Kalınlığı Ölçümlerine Ait Bulgular	62
4.4. Basınç Direnci (Fraktometer ölçümleri) ile İlgili Bulgular	67
4.5. Termal Görüntülere Ait Bulgular.....	70
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	82
KAYNAKLAR	84
ÖZGEÇMİŞ.....	94

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KIZILÇAMDA GENÇ ODUN KISMININ BELİRLENMESİNDE TERMOGRAFINİN UYGULANABİLİRLİĞİ

Yasemin ŞİMŞEK

Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Bilgin İÇEL

Bu tezde, pratik ve etkili bir teknik olan termografinin kızılçamda (*Pinus brutia* Ten.) genç odun kısmının belirlenmesinde uygulanabilirliği araştırılmıştır. Burdur ilinde 3 farklı yükselti (350 m, 800 m, 1100 m) ve yaş (50-70; 80-90; 95-110) grubundaki doğal meşcerelerden artım kalemleri alınmıştır. Genç odun kısmının belirlenmesinde literatürde genel olarak kullanılan, ölçümü zor ve zaman alıcı olan parametreler; yoğunluk, yaz odunu oranı, hücre çeper kalınlığı, direnç özellikleridir. Dikili ağaçta nem içeriği lif doyumluk noktasının üzerindedir ve ağacın nem içeriği, genç ve olgun odun gibi farklı kısımlara bağlı olarak özden kabuğa doğru farklılık göstermektedir. Temel varsayım, nemdeki herhangi bir farklılığın yüzey sıcaklıklarının farklılaşmasına neden olması ve bu farklılıkların genç odun kısmını ayırmada pratik bir yol olarak kullanılabilmesidir. Dikili ağaçtan artım kalemi alındıktan sonra, örnekler plastik tüpler içerisine yerleştirilip, örneklerin rutubetini değiştirmeyen soğutucu kaplarda en az 1 saat süreyle muhafaza edilmiştir. Daha sonra artım kalemlerinin FLIR I7 termal kamera kullanılarak arazide görüntüleri alınmıştır. Termal görüntüler, görüntü analiz sistemi ve FLIR yazılımı ile değerlendirilmiştir. Genç odundan olgun oduna geçiş kısmı bazı anatomik (yaz odunu oranı, hücre çeper kalınlığı), fiziksel (yoğunluk) ve direnç (basınç direnci) özelliklerinin farklılaşması ile belirlenmiştir. Literatürde kullanılan özelliklere göre belirlenen genç odun kısmı özden itibaren 11-12. yıllık halkalara kadar olan kısım olduğu belirlenmiştir. IR görüntülerinin değerlendirilmesi sonucunda ise, genç odun periyodunun özden itibaren 12-13. yıllık halkalara kadar olduğu görülmüştür. Sonuçlar, termografinin, araştırılan türün genç odun kısmının belirlenmesinde çok umut verici ve pratik bir teknik olarak uygulanabileceğini göstermiştir. Bu tekniği sadece laboratuvar koşullarında değil, aynı zamanda arazide taşınabilir bir IR kamera ile uygulamak mümkündür. Bu çalışmanın sonuçları, pratikte bu yöntemin uygulanabilirliği ile ilgili temel bilgileri oluşturmuştur.

Anahtar Kelimeler: *Pinus brutia*, termografi, genç odun

2017, 94 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

APPLICABILITY of THERMOGRAPHY in DETERMINATION of JUVENILE WOOD PART in *Pinus brutia*

Yasemin ŞİMŞEK

Süleyman Demirel University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Forest Industry Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Bilgin İÇEL

In this thesis, the applicability of thermography, as an efficient and a practical technique, for the determination of juvenile wood part in Turkish red pine (*Pinus brutia* Ten.) was investigated. Increment cores were taken from natural stands of 3 different elevations (350 m, 800 m and 1100 m) and age (50-70; 80-90; 95-110) groups in Burdur province. In the literature the generally used parameters for the separation of juvenile wood zone are; density, late-wood percentage, cell wall thickness, strength properties of which are difficult and time consuming in measurements. In a standing tree moisture content is higher than fiber saturation point and the moisture content of wood varies with location from pith to bark depending on different wood parts such as juvenile and mature wood. The main assumption was that any difference in moisture should cause differentiation of surface temperatures and these differences may be used as a practical way to separate juvenile wood zones. After removing increment cores from living trees, they were placed into plastic tubes and stored in cooler bag for at least one hour. Then increment cores surfaces was monitored using FLIR I7 thermal camera at field. Thermal images were evaluated via image analysis system and FLIR quick report software. The rings of the transition from juvenile to mature wood were determined by differentiation of some anatomical (late wood percentage, cell wall thickness), physical (density) and strength (compression strength) properties. The juvenile wood determined for 11-12 rings from pith. The juvenile wood period, which was separated according to the well-known parameters, were parallel to the findings (12-13 rings from pith) of IR images. Results showed that thermography can be applied as a very promising and practical technique to separate juvenile period of investigated species. It is possible to apply this technique not only laboratory condition but also in the field with a portable IR camera. The results of this study have constituted basic information regarding the transferability of the method to practice.

Keywords: *Pinus brutia*, thermography, juvenile wood

2017, 94 pages

TEŞEKKÜR

Bu araştırma için beni yönlendiren, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrübesi ile aşmamda yardımcı olan değerli danışman hocam Doç. Dr. Bilgin İÇEL'e teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam bittikten sonra arazide yaptığım yöntemin arazide kontrol edilmesi çalışmasında yardımlarını esirgemeyen Orman Yüksek Mühendisi Gökhan KAZAZ'a teşekkür ederim.

Bugünlere gelmemde büyük pay sahibi olan tüm hocalarımın teşekkür ederim.

Bütün hayatım boyunca bana en büyük desteği ve fedakarlığı gösteren aileme annem Şehrinaz ve kardeşim Elif 'e ayrıca, hayatımın her aşamasında beni yalnız bırakmayan dayım Dr. Deniz ŞAHİNOĞLU 'na teşekkürlerimi sunarım.

Yasemin ŞİMŞEK
ISPARTA, 2017

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1. Bazı odun özelliklerinin genç ve olgun odun kısmında değişimi...	2
Şekil 1.2. Termal kamera görüntüsü	11
Şekil 1.3. (A) Çatı rutubeti kontrolünün yapılması, (B) Savunma sanayisinde kullanımı, (C) Motor bloğu kontrolünün yapılması, (D) Sağlık sektöründe kullanımı	12
Şekil 1.4. (A) Çatı kenar sızıntısı kontrolünün yapılması, (B) Isı kaçaklarının tespitinin yapılması, (C) Zemin altı borularının kontrolünün yapılması	13
Şekil 1.5. Kavak (A) ve çınardan elde edilen termal görüntüler görüntüsü..	13
Şekil 1.6. <i>Casuarina equisetifolia</i> L.'dan termal görüntü.....	14
Şekil 1.7. Karton üretimi sırasında oluşan yırtılmaların termal görüntüsü .	14
Şekil 2.1. Kızılçam (<i>Pinus brutia</i>) görüntüsü	26
Şekil 2.2. Kızılçam yayılış alanı	28
Şekil 3.1. Artım kalemlerinin alındığı bölgelerin harita üzerinde gösterimi	29
Şekil 3.2. Deneme alanlarının oluşturulması	30
Şekil 3.3. Çalışmanın ana aşamaları	31
Şekil 3.4. Artım kalemlerinin alınması	32
Şekil 3.5. Fraktometer cihazı görüntüsü.....	36
Şekil 3.6. Tezde kullanılan 5 mm'lik artım kalemlerine bir örnek	36
Şekil 3.7. İklimlendirme kabini içindeki sıcaklık ve bağıl nemin ölçülmesi..	37
Şekil 3.8. Fraktometre ile yapılan ölçümlerin şematik diyagramı.....	37
Şekil 3.9. Fraktometre ölçümü için hazırlanan 6 mm'lik örneğin görüntüsü.....	38
Şekil 3.10. Örneğin ölçüm istasyonuna yerleştirilmesi.....	38
Şekil 3.11. Her 6 mm'de bir basınç direnci ölçümlerinin yapılması	39
Şekil 3.12. Yüzeyi düzleştirilmiş artım kalemi görüntüsü	40
Şekil 3.13. Kalibrasyon işlemi	40
Şekil 3.14. Ölçüm sonuçlarının kaydedilmesi	41
Şekil 3.15. Anatomik kesitler için artım kalemlerinin boyutlandırılması işlemi.....	42
Şekil 3.16. Tüplere yerleştirilen örnekler	43
Şekil 3.17. Örneklerin kaynatılması.....	43
Şekil 3.18. Özden kabuğa doğru örneklerin yerleştirilmesi.....	44
Şekil 3.19. Örneklerin mikrotoma yerleştirilmesi	45
Şekil 3.20. Anatomik kesitlerin elde edilmesi.....	46
Şekil 3.21. Kalıcı preparatların görüntüsü.....	46
Şekil 3.22. Kalibrasyon işlemi	47
Şekil 3.23. Çeper kalınlığı ölçümü yapılacak hücreleri belirleme	48
Şekil 3.24. Hücre çeper kalınlığı ölçümlerinin yapılması.....	48
Şekil 3.25. Genç odun kısmının belirlenmesi.....	49
Şekil 3.26. Arazi artım kalemi alındıktan hemen sonra çekilen termal kamera görüntüsü.....	50
Şekil 3.27. Kusurlu örneğin termal kamera görüntüsü.....	51
Şekil 3.28. Arazide IR görüntülerin alınması	51
Şekil 3.29. Artım kalemlerinin gerçek görüntülerinin elde edilmesi	52
Şekil 3.30. Sıcaklık taramasının yapılması.....	53

Şekil 3.31. Artım kalemi üzerinde yüzey sıcaklığı değişim grafiği (P1).....	53
Şekil 3.32. Artım kalemi üzerinde sadeleştirilmiş yüzey sıcaklığı değişim grafiği (P 1).....	54
Şekil 3.33. Termal kamera ile dijital kamera (artım kalemi gerçek görüntü) görüntüsünün karşılaştırılması	55
Şekil 3.34. Islatılan artım kalemlerinin termal kamera kullanılarak çekimlerinin yapılması	56
Şekil 4.1. P grubu örneklerinin yoğunluk değişim grafiği.....	58
Şekil 4.2. T grubu örneklerinin yoğunluk değişim grafiği.....	58
Şekil 4.3. G grubu örneklerinin yoğunluk değişim grafiği	59
Şekil 4.4. P grubu örneklerinin yaz odunu katılım oranı değişim grafiği	60
Şekil 4.5. T grubu örneklerinin yaz odunu katılım oranı değişim grafiği	61
Şekil 4.6. G grubu örneklerinin yaz odunu katılım oranı değişim grafiği	61
Şekil 4.7. P grubu örneklerinin hücre çeper kalınlığı değişim grafiği	62
Şekil 4.8. T grubu örneklerinin hücre çeper kalınlığı değişim grafiği	63
Şekil 4.9. G grubu örneklerinin hücre çeper kalınlığı değişim grafiği.....	63
Şekil 4.10. P grubu örneklerine ait grafikleri birleştirilmesi	65
Şekil 4.11. T grubu örneklerine ait grafiklerin birleştirilmesi	66
Şekil 4.12. G grubu örneklerine ait grafiklerin birleştirilmesi	67
Şekil 4.13. P grubu örneklerinin basınç direnci değişim grafiği.....	68
Şekil 4.14. T grubu örneklerinin basınç direnci değişim grafiği.....	68
Şekil 4.15. G grubu örneklerinin basınç direnci değişim grafiği	69
Şekil 4.16. Artım kalemi üzerinde yüzey sıcaklığı değişim grafiği (P)	70
Şekil 4.17. Artım kalemi üzerinde yüzey sıcaklığı değişim grafiği (G).....	70
Şekil 4.18. Artım kalemi üzerinde yüzey sıcaklık değişim grafiği (T).....	71
Şekil 4.19. Termal kamera görüntüsü ile dijital kamera görüntüsünün (artım kalemi gerçek görüntüsü) karşılaştırılması (P2)	71
Şekil 4.20. Termal kamera görüntüsü ile dijital kamera görüntüsünün (artım kalemi gerçek görüntüsü) karşılaştırılması (G1)	72
Şekil 4.21. Termal kamera görüntüsü ile dijital kamera görüntüsünün (artım kalemi gerçek görüntüsü) karşılaştırılması (T2)	72
Şekil 4.22. Termal kamera görüntüsü ile dijital kamera görüntüsünün (artım kalemi gerçek görüntüsü) karşılaştırılması (T3).....	73
Şekil 4.23. P 2 örneğinin özden sağa doğru yüzey sıcaklık değişim grafiği ..	73
Şekil 4.24. P 3 örneğinin özden sağa doğru yüzey sıcaklık değişim grafiği ..	74
Şekil 4.25. P 4 örneğinin özden sağa doğru yüzey sıcaklık değişim grafiği ..	74
Şekil 4.26. G 2 örneğinin özden sağa doğru yüzey sıcaklık değişim grafiği ..	75
Şekil 4.27. G 3 örneğinin özden sağa doğru yüzey sıcaklık değişim grafiği ..	75
Şekil 4.28. G 4 örneğinin özden sağa doğru yüzey sıcaklık değişim grafiği ..	76
Şekil 4.29. T 1 örneğinin özden sağa doğru yüzey sıcaklık değişim grafiği ..	76
Şekil 4.30. T 2 örneğinin özden sağa doğru yüzey sıcaklık değişim grafiği ..	77
Şekil 4.31. T 3 örneğinin özden sağa doğru yüzey sıcaklık değişim grafiği ..	77
Şekil 4.32. P grubu örneği genç odun kısmının belirlenmesi	78
Şekil 4.33. P grubu örneği genç odun kısmının belirlenmesi	78
Şekil 4.34. T grubu örneği genç odun kısmının belirlenmesi	79
Şekil 4.35. T grubu örneği genç odun kısmının belirlenmesi	79
Şekil 4.36. G grubu örneği genç odun kısmının belirlenmesi	79
Şekil 4.37. G grubu örneği genç odun kısmının belirlenmesi	80
Şekil 4.38. Artım kalemi üzerinde yüzey sıcaklığı ölçüm grafiği (P 4).....	80

Şekil 4.39. Artım kalemi üzerinde yüzey sıcaklığı ölçüm grafiği (G 4) 81



ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 1.1. Bazı ağaç türlerinde genç ve olgun odun kısımlarının trahe-traheid uzunlukları üzerine yapılmış çalışmalar	4
Çizelge 1.2. Bazı ağaç türlerinde genç ve olgun odun kısımlarında mekaniksel değişme üzerine yapılmış çalışmalar	6
Çizelge 1.3. Bazı ağaç türlerinde genç ve olgun odun kısımları yoğunluğunun karşılaştırılması.....	7
Çizelge 1.4. Bazı ağaç türlerinin genç ve olgun odun kısımlarında kimyasal özelliklerdeki değişme	9
Çizelge 1.5. Termal kamera kullanım alanları	12
Çizelge 3.1. Ölçümlerde kullanılan termal kameranın özellikleri.....	52
Çizelge 4.1. Yıllık halka alanı ağırlıklı yoğunluk değeri ile yoğunluk değerinin karşılaştırılması.....	57



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AWD	Yıllık halka alanı ağırlıklı yoğunluk değeri
LDN	Lif doygunluk noktası
MFA	Mikrofibril açısı
MOE	Elastikiyet modülü (Modulus of elasticity)
MOR	Eğilme direnci
μl	Örnekten geçen ve ölçülen x-ray ışınlarındaki zayıflama miktarı
μm	Örnek için belirlenen zayıflama katsayısı
ρ	Yoğunluk



1. GİRİŞ

Türkiye orman varlığı 22.342.935 hektardır. 2015 yılı itibariyle yapılan tespitlere göre %28.6'lık alan ülke alanı içerisinde ormanlık alanların oranını vermektedir. Ormanlık alanların asli ağaç türlerinden olan kızılçam 5.610.215 hektar ile ülkemiz orman alanının % 25.11'ini oluşturmaktadır (URL 1). Odun hammaddesine olan ihtiyacın artması sebebiyle, kızılçamın yetiştiği ormanlar yıllık hammadde kaynağı üretim kapasitesi ile önemli bir yer tutmaktadır (Aiello, 2007; Anonim, 2012). Günümüzde orman ürünlerine olan talep, üretim teknolojisindeki büyük ilerleme ve insan nüfusunun artmasıyla birlikte hızla artmaktadır. Orman ürünleri sanayinde hammadde olarak kullanılan ağaç hızla talep görmekte ve en çok kereste üretiminde odun hammaddesine talep olmaktadır. Doğal olarak yetişen ağaçlar hızla artan talebi karşılayamamaktadır. Bu sebeple bugün plantasyon ormanlarına olan talep artış göstermektedir. Hızlı yetiştirilen bu ağaçların ticari bakımdan önemi büyüktür. Önceleri çapları daha kalın olan ergin ağaçlar istendiği için genç odunla alakalı sorunlar oluşmamaktaydı. Ancak günümüzde orman ürünleri endüstrisinde önemli derecede, plantasyon ormanlarından elde edilen ağaçların kullanımı arttığı için genç odun kısmı önem arz etmektedir (Peszlen, 1995; Passialis ve Kiriazakos, 2004).

Genç odun ağaçların büyüme dönemlerinin ilk yıllarında, öze yakın kısımlarda oluşan odundur. Olgun odunun tanımı yapılırken, ileri yaşlarda oluşan odun olarak belirtilmektedir (Bozkurt ve Erdin, 1997; Green vd., 1999; Larson vd., 2001; Wiedenhoelt ve Miller, 2005). Genç odundan olgun oduna geçiş ağaç türüne ve çevresel faktörlerin etkisine göre farklılık göstermektedir. Genç odunun anatomik, fiziksel ve mekanik özellikleri olgun oduna göre farklılık göstermektedir (Sauter vd., 1999). Genç odun; daha düşük yoğunluğa, daha kısa hücre uzunluğuna, daha düşük çeper kalınlığına, daha az selüloz içeriğine, daha yüksek mikrofibril açısına sahiptir (Panshin ve de Zeeuw, 1980). Bu özellikler sebebiyle, genç odunun mekanik özellikleri daha düşük özellik göstermektedir. Bu sebeple satın alınacak ağaçlarda genç odun kısmının belirlenmesine yönelik araştırmalar yapıp daha sonra kesimin yapılması gerekmektedir.

Ağaçlarda genç ve olgun odun kısımları arasında anatomik, fiziksel ve mekanik özellikler bakımından farklılıklar bulunmaktadır. Bu farklılıklardan yola çıkılarak genç odun kısmının belirlenmesinde Şekil 1.1'de görüldüğü gibi farklı parametreler kullanılmaktadır.



Şekil 1.1. Bazı odun özelliklerinin genç ve olgun odun kısmında değişimi (URL 2)

1.1. Anatomik Özelliklerine Göre Genç Odun Kısmının Belirlenmesi

Odunun anatomik özellikleri, türler arasında olduğu gibi aynı tür içerisinde de farklılık göstermektedir. Genç odunun anatomik özellikleri olgun odundan farklıdır. Bu özellikler; ilkbahar odunu genişliği, yaz odunu genişliği, yaz odunu oranı, hücre çeper kalınlığı, mikrofibril açıları ve büyüklükleri, trahe-traheid miktarıdır. Bu özelliklerin ağacın genç odun ve olgun odun kısımlarında farklılık göstermesiyle birlikte genç odun kısmının tanımlanması yapılabilmektedir (Alteyrac ve Cloutier, 2006; Arslan ve Aydemir, 2009; Ishiguri vd., 2009; Bal, 2012).

Genç odun kısmının anatomik özelliklerinin olgun oduna göre farklılık göstermesi genç odun kısmını belirlemede etkili olmaktadır. Anatomik özellikler

değerlendirilerek genç odun kısmının belirlenmesine yönelik geçmiş yıllarda yapılan birçok çalışma bulunmaktadır (Çizelge 1.1). Bhat vd. (2001), yapmış olduğu çalışmada yavaş ve hızlı büyüyen tik ağaçlarından elde ettikleri genç ve olgun odun kısmı hücrelerinde bazı özellikleri incelemiştir. Genç odunun yıllık halka genişliklerini 6.6 mm, hücre uzunluklarını 1101-1281 μ , olgun odunun yıllık halka genişliklerini 2.5 mm, hücre uzunluklarını 1377-1500 μ olarak tespit etmiş ve genç odun yıllık halka genişliği ve hücre uzunluğunun olgun oduna göre daha kısa olduğunu belirlemiştir. Olufawemi (2007), Karayip çamında (*Pinus carribea*) farklı yaşlarda ağaçlardan alınan örneklerde morfolojik özellikleri değerlendirmiştir. 5 yaşındaki örneklerde hücre uzunluğunu 2.34 mm, 25 yaşındaki örneklerde hücre uzunluğunu ise 4.23 mm olarak tespit etmiştir. 5 yaşındaki örneklerde en az hücre çeper kalınlığı (6.01 μ m), 25 yaşındaki örneklerde en fazla hücre çeper kalınlığı (9.50 μ m) belirlemiştir. Traheid çaplarını 54.22–62.08 μ m ve lümen genişliklerini 40.78–47.62 μ m tespit ederek genç yaştaki ağaçların anatomik özelliklerinin daha düşük olduğunu belirlemiştir. Deresse vd. (2003), doğal ve plantasyon ormanlarında yetişen Amerikan kızılçamı (*Pinus resinosa*)’dan elde ettikleri örneklerin genç ve olgun odun kısmında mikrofibril açılarını incelemiştir. Doğal yetişen ağaçlardan alınan iki yaşında odun örneklerinde mikrofibril açısını 30°, yirmi yaşında örneklerde mikrofibril açısını 18°, plantasyonlarda yetiştirilen ağaçlardan alınan örneklerinde mikrofibril açısını 30°, 20 yaşında örneklerde mikrofibril açısı 15° olduğunu belirleyerek plantasyonlarda yetişen ağaçların mikrofibril açısı’nın daha küçük olduğunu tespit etmişlerdir. Bal (2012), yapmış olduğu çalışmada sedir ağacının genç odun ve olgun odun kısmında hücre çeper kalınlığı, traheid boyu, traheid genişliği, lümen genişliğini incelemiştir. Genç odun kısmının traheid boyu, traheid genişliği, çeper kalınlığı ve lümen genişliğini sırasıyla, 2602.8 μ m, 37.50 μ m, 8.13 μ m, 21.24 μ m; olgun odunda ise sırasıyla 3370.7 μ m, 46.42 μ m, 9.40 μ m, 27.62 μ m tespit ederek genç odunun, olgun oduna göre traheid boyu, traheid genişliği, çeper kalınlığı ve lümen genişliğinin daha az olduğunu belirlemiştir.

Çizelge 1.1. Bazı ağaç türlerinde genç ve olgun odun kısımlarının trahe-traheid uzunlukları üzerine yapılmış çalışmalar

Ağaç Türü	Genç Odun (mm)	Olgun Odun (mm)	Araştırmacı
<i>Pinus taeda</i>	2.5	3.4	Cole vd. (1966)
<i>Pinus taeda</i>	3.6	4.0	McMillan (1968)
<i>Pinus taeda</i>	3.0	4.1	Taylor ve Moore (1981)
<i>Pinus taeda</i>	2.5	3.4	Zobel ve Blair (1976)
<i>Pinus taeda</i>	2.9	4.2	Kellison (1981)
<i>Populus deltoides</i>	1.0	1.1	Bendtsen ve Senf (1986)
<i>Pinus taeda</i>	2.6	3.7	Bendtsen ve Senf (1986)
<i>Coreanica larix</i>	2.8	3.5	Bao vd. (2001)
<i>Pinus taeda</i>	3.0	4.1	Bao vd. (2001)
<i>Tectona grandis</i>	1.1-1.2	1.3-1.5	Bhat vd. (2001)
<i>Eucalyptus citriodora</i>	0.9	1.2	Bao vd. (2001)
<i>Picea glauca</i>	1.7-2	2.9-3.0	Yang (2002)
<i>Pinus taeda</i>	1.3-2.1	1.8-2.4	Yeh vd. (2006)
<i>Pinus caribea</i>	2.3-2.6	3.2-4.2	Olufawemi (2007)
<i>Cryptomeria japonica</i>	2.4	3.0	Ishiguri vd. (2009)
<i>Cedrus libani</i>	2.6	3.3	Bal (2012)
<i>Pinus brutia</i>	3.0	-	Göksel ve Özden (1993)

1.2. Mekanik Özelliklerine Göre Genç Odun Kısmının Belirlenmesi

Ağaç malzemenin mekanik özellikleri birçok etkene bağlı olarak değişmektedir. Genç odunun mekanik özellikleri olgun odundan farklılık göstermektedir. Bu özellikler; basınç direnci, eğilme direnci, çekme direnci, makaslama direnci, yarıma direncidir. Genç odunun mekanik özellikleri olgun oduna nazaran daha düşüktür (Bozkurt ve Erdin, 1997; Göker ve Dündar, 1999; Green vd., 1999; Larson vd., 2001; Koubaa vd., 2005; Alteyrac ve Cloutier, 2006). Bu iki odun kısmı arasındaki mekanik özellikler bakımından farklılıklar bazı araştırmacılar tarafından açıklanmıştır (Arslan ve Aydemir, 2009; Bal vd., 2012; Bal, 2012).

Genç odun kısmı mekanik özelliklerinin düşük olmasından dolayı orman ürünleri sanayinde önemli problemler ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle birçok araştırmacı mekanik özellikleri inceleyerek genç odun kısmının belirlenmesine yönelik çalışmalar yapmıştır. Bu çalışmalardan bazıları Çizelge 1.2'de verilmiştir. Passialis ve Kiriazakos (2004), doğal çevre şartlarında büyüyen göknar ağacının genç ve olgun odun özelliklerini karşılaştırmışlardır. Genç odunun mekanik özelliklerinin olgun odunun mekanik örneklerine göre belirgin bir şekilde düştüğünü tespit etmişlerdir. Genç odun kısmında eğilme direnci 42 N/mm², elastikiyet modülü 6147 N/mm², olgun odun kısmının eğilme direnci 57.11–57.95 N/mm², elastikiyet modülünü 8106–8544 N/mm² belirlemişlerdir. Bhat vd. (2001) yapmış oldukları çalışmada, genç odun örneklerinin elastikiyet (12695–14460 N/mm²) ve eğilme direnci değerlerinin (98.3–114 N/mm²) olgun odun örneklerinin elastikiyet (15746–16220 N/mm²) ve eğilme direnci değerlerinden (124.2–134.6 N/mm²) düşük olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca genç ve olgun odundan elde edilen örneklerin eğilme gerilme verilerinin neredeyse eşit olduğunu, iki odun kısmında da 45–55 N/mm² olduğunu belirlemiştir.

Çizelge 1.2. Bazı ağaç türlerinde genç ve olgun odun kısımlarında mekaniksel değişme üzerine yapılmış çalışmalar

Ağaç Türü	Genç Odun/Olgun Odun	MOR (N/mm ²)	MOE (N/mm ²)	Araştırmacı
<i>Robinia pseudoacacia</i>	Genç Odun	138.7	-	Adamopoulos vd., 2007
	Olgun Odun	148.2	-	
<i>Cunninghamia lanceolata</i>	Genç Odun	54.9	8520	Bao vd., 2001
	Olgun Odun	65.1	10540	
<i>Larix gmelinii</i>	Genç Odun	90.3	12530	Bao vd., 2001
	Olgun Odun	99.5	14850	
	Olgun Odun	63.2	9890	
<i>Lemon eucalyptus</i>	Genç Odun	146	28050	Bao vd., 2001
	Olgun Odun	161.5	31630	
<i>Paulownia</i>	Genç Odun	30.8	3890	Bao vd., 2001
	Olgun Odun	29.7	3850	
<i>Pinus taeda</i>	Genç Odun	67.5	5870	Bao vd., 2001
	Olgun Odun	98.9	12100	
<i>Cedrus libani</i>	Genç Odun	75.8	6668	Bal vd., 2012
	Olgun Odun	94.4	8963	

1.3. Fiziksel Özelliklerine Göre Genç Odun Kısımının Belirlenmesi

Aynı ağacın genç odun ve olgun odun kısımlarında fiziksel özellikler birbirinden farklıdır (Gorisek vd., 2004; Arslan ve Aydemir, 2009). Bu farklılıklardan yola çıkılarak genç odun kısmı belirlenebilmektedir. Birçok araştırmacı odun yoğunluğunun odunun kalitesini etkilediğini bildirmiştir. Bu fikirden hareketle birçok çalışmada genç odun-olgun odun dokuları arasında yoğunluk farkının karşılaştırılması yapılmıştır (Çizelge 1.3).

Çizelge 1.3. Bazı ağaç türlerinde genç ve olgun odun kısımları yoğunluğunun karşılaştırılması

Ağaç Türü	Genç Odun (g/cm ³)	Olgun Odun (g/cm ³)	Araştırmacı
<i>Coreanica larix</i>	0.48	0.55	Zobel ve van Buijtenen, 1989
<i>Eucalyptus citriodora</i>	0.80	0.89	Bao vd., 2001
<i>Pinus palustris</i>	0.52	0.57	Zobel ve van Buijtenen, 1989
<i>Pinus taeda</i>	0.53	0.44	Bao vd., 2001
<i>Robinia pseudoacacia</i>	0.66-0.89	0.68-0.89	Zobel ve van Buijtenen, 1989
<i>Pinus strobus</i>	0.31	0.38	Zobel ve van Buijtenen, 1989
<i>Populus deltoides</i>	0.34	0.36	Bao vd., 2001
<i>Pinus serotina</i>	0.47	0.54	Zobel ve van Buijtenen, 1989
<i>Paulownia</i>	0.22	0,24	Bao vd., 2001
<i>Pinus virginiana</i>	0.46	0.52	Zobel ve van Buijtenen, 1989
<i>Pinus echinata</i>	0.46	0.53	Zobel ve van Buijtenen, 1989
<i>Abies chensiensis</i>	0.30	0.35	Zobel ve van Buijtenen, 1989
<i>Populus deltoides</i>	0.34	0.37	Bendtsen ve Senf, 1986

1.4. Kimyasal Özelliklerine Göre Genç Odun Kısımının Belirlenmesi

Genç odun ve olgun odun yapısında kimyasal bileşen miktarının birbirinden farklıdır (Arslan ve Aydemir, 2009). Buda genç odun kısmının belirlenmesinde ayırt edici özelliktir (Koubaa vd., 2005; Alteyrac ve Cloutier, 2006).

Bazı ağaç türlerinde holoselüloz ve lignin miktarının genç odun ve olgun odun dokularında karşılaştırılması Çizelge 1.4'te yapılmıştır. Cole vd. (1966), Loblolly çamından aldıkları genç odun kısmında ortalama ekstraktif madde miktarını % 3.06, olgun odun kısmında ortalama ekstraktif madde miktarını % 2.67 tespit etmişler ve genç odun kısmında bulunan ekstraktif madde miktarının olgun odun kısmında bulunan ekstraktif madde miktarından fazla olduğunu belirtmişlerdir. Güler vd. (2007), karaçam'da yapmış olduğu çalışmada genç odunun kimyasal madde miktarını araştırarak, daha önce yapılmış olan çalışmalarda bulunan karaçam olgun odununun kimyasal madde miktarıyla kıyaslamıştır. Genç odun kısmının olgun oduna nazaran daha az holoselüloz ve ekstraktif madde miktarı, daha çok lignin miktarına sahip olduğunu belirlemiştir. Yeh vd. (2006), Loblolly çamı'ndan alt (0.5 m), üst (18 m üzerinde), basınç ve çekme odunu bölgelerinden elde ettikleri genç ve olgun odunun kimyasal içeriklerini belirlemiştir. Üst bölgeden elde edilen genç odun dokularının ekstraktif madde miktarını %5.1, genç odun ve olgun odunun farklı örneklerini % 2.5–3.4 belirleyerek üst bölgeden alınan dokularda yüksek ekstraktif madde miktarına sahip olduğunu tespit etmiştir.

Çizelge 1.4. Bazı ağaç türlerinin genç ve olgun odun kısımlarında kimyasal özelliklerdeki değişme (Arslan ve Aydemir, 2009)

Ağaç Türü	Genç Odun/Olgun Odun	Holoseülüz (%)	Lignin (%)
<i>Populus deltoides</i>	Genç Odun	78.52	19.92
	Olgun Odun	76.92	21.18
<i>Eucalyptus citriodora</i>	Genç Odun	73.89	20.06
	Olgun Odun	76.81	18.26
<i>Paulownia</i>	Genç Odun	71.79	19.40
	Olgun Odun	71.48	19.89
<i>Pinus taeda</i>	Genç Odun	69.25	28.58
	Olgun Odun	71.66	26.93
<i>Coreanica larix</i>	Genç Odun	70.66	26.75
	Olgun Odun	70.61	27.08
<i>Abies chensiensis</i>	Genç Odun	63.23	33.69
	Olgun Odun	64.04	34.41
<i>Pinus brutia</i>	Genç Odun	84.05	27.74
	Olgun Odun	82	26.47

Ağaç malzemede genç odun kısmının belirlenmesine yönelik geçmişte birçok çalışma yapılmıştır. Ancak bu çalışma tahribatsız bir yöntemin denenmesi açısından önem taşımaktadır. Tahribatsız muayene metotları tüm dünyada her alanda önemle üzerinde durulan bir konudur. Dünya’da Orman Ürünleri endüstrisinde 1990’lı yıllardan sonra bu konuda yapılan çalışmalar yoğunlaşmıştır. Ülkemizde de bu konuda bazı alanlarda çalışmalar başlatılmakla birlikte orman ürünlerine yönelik çalışmalar çok sınırlıdır.

1.5. Termografi ve Tarihçesi

Termografi, 19. yüzyılın başında Sir William Herschel’in bir prizma, kağıt tablo ve çeşitli renklerin ısını ölçen siyahlaştırılmış hazneli bir termometreden faydalanılarak gerçekleştirdiği ilk deneylerle ortaya çıkmıştır. Herschel, prizmadan gün ışığını geçirmiş ve gökkuşağında mevcut olan renkleri elde etmiş, bu gökkuşağı renklerini bir termometreye yansıtarak termometreyi bu renkler arasında hareket ettirerek ısıda farklılıklar olduğunu tespit etmiştir.

Mor ve kırmızı arasında farkı renk tonları içerisinde en yüksek sıcaklık değerinin kırmızı ışıkta belirlenebildiğini tespit etmiştir. Radyasyona sebep olan bu ısı insan gözüyle görülememektedir. Herschel bu gözle görülemeyen radyasyonu kalorifik ışın olarak adlandırmıştır. Günümüzde bu ışına kızılötesi denmektedir. Herschel 1800 yılında ölümünün ardından oğlu John Herschel Evaporograph tekniğini kullanarak güneş ışığından ilk termal görüntüyü keşfetmiştir. Elde ettiği görüntüyü tanımlayabilmek için termogram adını vermiştir. Kızılötesi görüntüleme sistemlerinin ilki 1840'da ve sonraki yıllarda geliştirilerek farklı alanlarda kullanılmıştır. 1860 ve 1870 yıllarında da Avrupa, Amerika ve Japonyada termal görüntüleme sistemleri daha da geliştirilmiş ve yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır (Ring, 2004).

1.6. Termal Kameralar

Termal kameralar, farklı alanlarda kullanılan bölgelerin veya parçaların normalin üzerinde olan sıcaklıklarını veya soğukluklarını ölçen cihazlardır. Bu cihazların özelliği nesnelerin yaydığı termal enerjiyi ölçmektir. Cihazların temelini lensler ve algılayıcılar oluşturmaktadır. Termal kameralar, kızılötesi dalga boyu spektrumunda, ekipmanlarla direk olarak temas gerçekleştirilmeden sıcaklık modellerini algılayabilen bir kamera sistemidir. Görüntüleme sistemi açısından değerlendirilecek olursa, insan gözüyle görülemeyen IR enerjiyi (ısı) temel alan görüntülerin genel yapısını IR enerjiye göre oluşmuş renkler ve şekillerin belirlendiği görüntüleme sistemidir. Termal kamera insan gözüyle görülmeyen fakat tehlikeli sonuçlara sebebiyet veren sorunları görmemize yardımcı olur (Şekil 1.2'de örneği verilmiştir) (URL 3). Termal kamera kullanılarak çekilen fotoğraflar soğuk yerleri koyu renkle çok sıcak yerleri açık renkle gösterip sorun olan noktanın sebebini öğrenmeye olanak sağlar. Termal kameralar görüntüyü siyah-beyaz ya da renkli olarak elde edebilmektedir. Termal kameralar renkli olarak gösterdiklerinde ortamın sıcaklığına bağlı olarak maviden sarıya geçer. Maviden sarıya geçerken kırmızı rengi kullanmaktadır. Sarı en sıcak, mavi ise en soğuk bölgeleri gösterir (Çalışan ve Türkoğlu, 2011).



Şekil 1.2. Termal kamera görüntüsü (FLIR I7)

Termal kameraların modeline göre önemli oranda sıcaklık farklılıklarını tanımlayabilir ve bu sıcaklık farklılıklarını video görüntüsüne dönüştürerek monitörde izlenmesine yardımcı olur. Objelerin görüntülerinin elde edilmesi için iki tür termal kamera cihazı bulunmaktadır. Bu iki tür termal kamera arasındaki fark sahip oldukları sensörlerin farklı olmasından kaynaklanır. İlk gruptaki termal kameralar uzun dalga kızılötesinde çalışan ve soğutulmayan sensörler ile donatılan kameralardır. İkinci gruptaki termal kameralar ise kriyojeni soğutma tekniği ile soğutulan sensörlerden oluşmaktadır. Bahsedilen kameralar kullanılarak orta dalga ve uzun dalga bantlarının ikisinde de görüntü alınabilmektedir (Çalışan ve Türkoğlu, 2011).

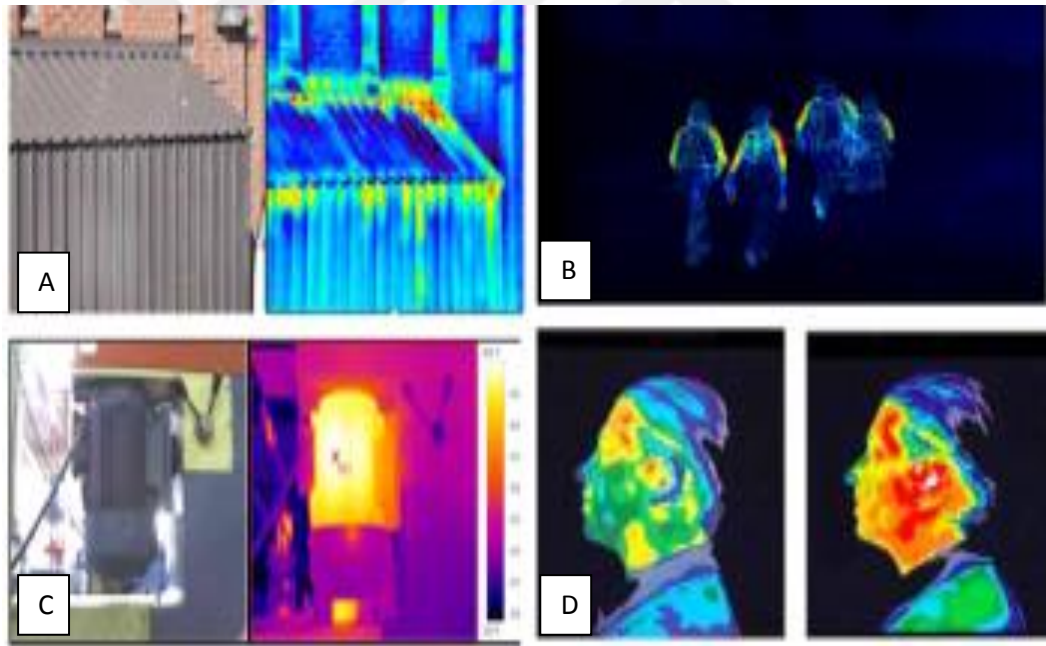
1.6.1. Termal kameraların uygulama alanları

Termal kameralar sağlık, savunma, veterinerlik, endüstriyel, çevre, sivil, elektrikli ekipmanları kontrol etmek gibi birçok alanda kullanılmaya başlanmıştır (Çalışan ve Türkoğlu, 2011). Çizelge 1.5'de termal kameraların birkaç uygulama alanı verilmiştir.

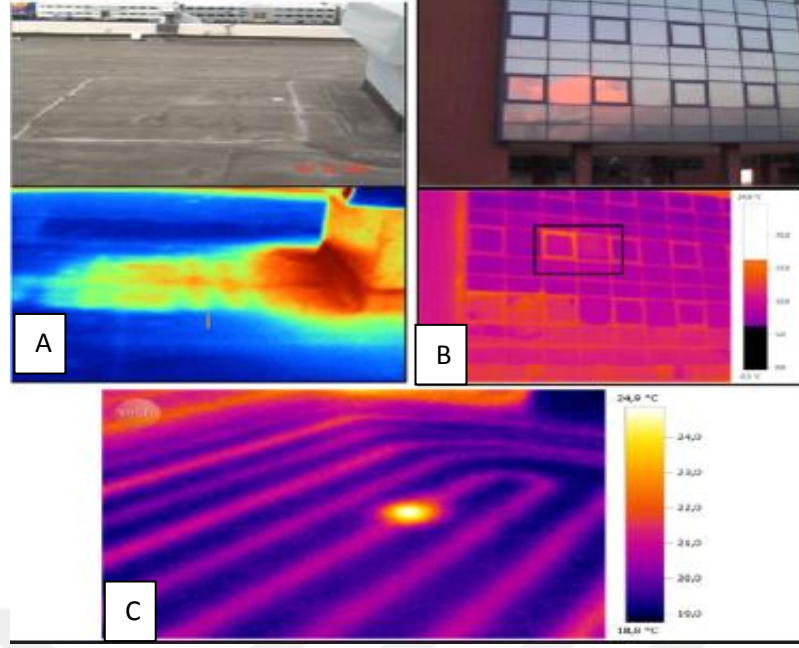
Çizelge 1.5. Termal kamera kullanım alanları (Çolak, vd. 2008; Alan, 2012)

Sağlık	Damar tıkanıklıklarının tespiti, mamografi, kırık bölge tespiti vb., periferik hastalıkların tespiti, gut hastalığı tespiti
Endüstriyel	Motorlar, dağıtım merkezleri, trafolar vb.
İnşaat	Çatı rutubeti kontrolü, hava sızıntısı vb.
Çevre	Yer altı kaynaklarının bulunması, kirlilik kontrolü vb.
Savunma	Nesne tanımlama, keşif yapma vb., sınır gözetlemeleri

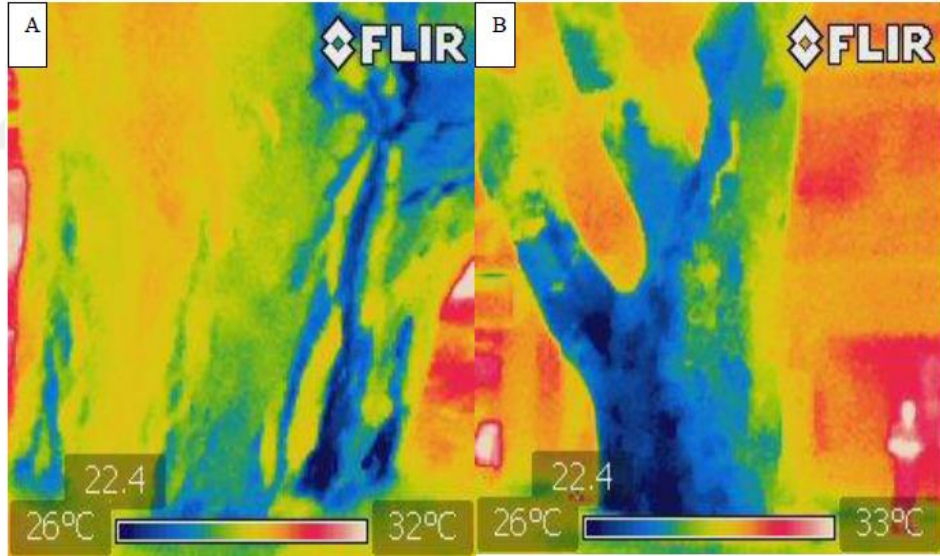
Termal kameralar görüldüğü gibi geniş kullanım alanına sahiptir (Şekil 1.3, 1.4, 1.5, 1.6, 1.7). Ancak ormancılık ve orman ürünleri sektöründe termal kameranın kullanımı oldukça azdır.



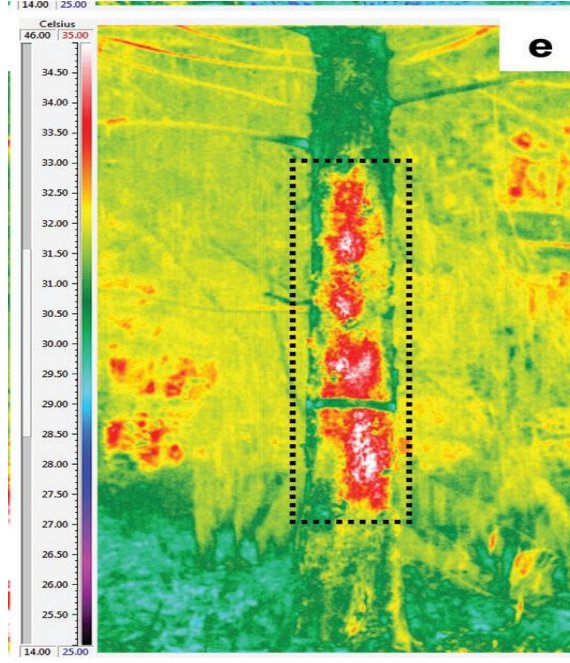
Şekil 1.3. (A) Çatı rutubeti kontrolünün yapılması (Snell, 2008), (B) Savunma sanayisinde kullanımı (Anonim, 2013), (C) Motor bloğu kontrolünün yapılması (Aslan, 2016), (D) Sağlık sektöründe kullanımı (Düzgün ve Or, 2009)



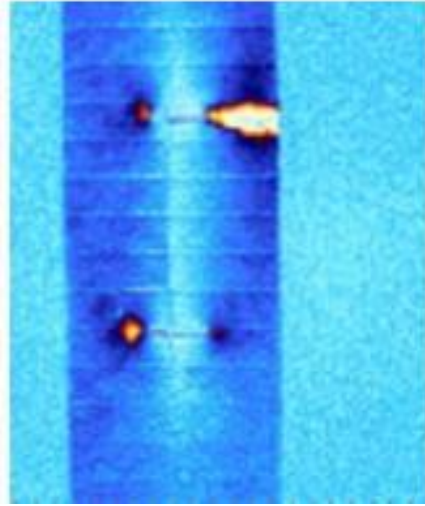
Şekil 1.4. (A) Çatı kenar sızıntısı kontrolünün yapılması (Tibbs, 2004), (B) Isı kaçaklarının tespitinin yapılması, (Aslan, 2016), (C) Zemin altı borularının kontrolünün yapılması (Anonymous, 2015)



Şekil 1.5. Kavak (A) ve çınardan (B) elde edilen termal görüntüler (Güller (İçel) vd., 2011)



Şekil 1.6. *Casuarina equisetifolia* L.'dan termal görüntü (Burcham vd., 2012)



Şekil 1.7. Karton üretimi sırasında oluşan yırtılmaların termal görüntüsü (Johnson, 2006)

Bu çalışmanın amacı, Türkiye’de ağaçlandırma çalışmalarının ve ağaç ıslahı programları için belirlenen öncelikli türlerin başında yer alan, günümüzde ve gelecekte ülkemizde endüstriyel odun hammaddesi ihtiyacının karşılanmasında önemli bir kaynak olarak karşımıza çıkan kızılçam türünde genç odun kısmının termografi yöntemiyle belirlenmesidir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Odun sahip olduğu birçok olumlu özelliklerle geniş bir kullanım alanına sahiptir. Doğal ve sürdürülebilir bir kaynak olması, biyolojik yapısı, fiziksel ve mekanik özellikleri ile kimyasal bileşimi odunun çok farklı ürünler halinde kullanılmasına imkan sağlamaktadır. Ağaç malzemenin iyi bir yalıtım malzemesi olması, yoğunluğuna oranla direnç değerlerinin yüksek olması, kolay işlenip birleştirilebilmesi hammadde olarak tercih edilme sebepleri arasında öncelik taşımaktadır (Bozkurt ve Göker, 1981; Yıldız, 2002; Akgün, 2008).

Ülkemizde artan odun hammaddesi ihtiyacının karşılanmasına yönelik öncelikli olarak yapılan çalışmaların başında hızlı büyüyen yerli ağaç türleri ile yapılan ağaçlandırma çalışmalarına önem verilmesi gelmektedir. Ülkemizde ağaçlandırma ve ağaç ıslahı çalışmaları için belirlenen öncelikli türlerden biri kızılçamdır (Anonim, 2000). Kızılçam için 60 yıllık bir idare süresi belirtilmekle birlikte, bu sürenin silvikültürel, ağaç ıslahı vb. uygulamalarla kurulacak endüstriyel plantasyonlarda daha da kısaltılabileceği yönünde görüşler bulunmaktadır (Anonim, 1998). Ülkemiz dışında diğer ülkelerdeki durum incelendiğinde; tüm dünyada hızla artan endüstriyel odun ihtiyacının karşılanması için geniş çaplı plantasyonlar kurulmakta ve ağaç türlerinde idare süresinin kısaltılması yönünde çalışmalar yapılmaktadır. Bunların sonucunda elde edilen odun hammaddesi doğal ormanlardan daha uzun idare süresi sonunda elde edilen odun hammaddesinden farklı özellikler göstermektedir (Pearson ve Ross, 1984; Lee, 1985; Zobel, 1992; Haygreen ve Bowyer, 1996).

Bao vd. (2001), yapmış olduğu çalışmada 10 farklı türde genç odun-olgun odun özelliklerini, hem plantasyonlarda hem de doğal meşcerelerde incelemiştir. Bu çalışmada genel bir değerlendirme yapıldığında; hem plantasyonlarda hem de doğal meşcerelerde kimyasal özellikler bakımından genç ve olgun odun arasında çok önemli farklar bulunmazken, anatomik, fiziksel ve mekanik özellikler bakımında önemli farklılıklar bulunduğu belirtilmektedir. Ayrıca bu çalışmada genç ve olgun odun arasındaki farklılığın iğne yapraklı ağaçlarda, geniş yapraklı ağaçlara göre daha belirgin olduğu bildirilmektedir. Bu çalışmada

incelenen tüm türlerde genel olarak genç odunda daha düşük odun yoğunluğu belirlenmiştir. Ayrıca (Zobel ve van Buijtenen, 1989), plantasyon ormanlarında yetişen ağaçların yoğunluğunun düşük olduğunu belirtmiştir.

Faust vd. (1999), meşcere gelişimde erken dönemlerde farklı uygulamalarla hacimsel verimin artacağını ancak elde edilen hacmin içerisinde genç odun oranının da artacağını ifade etmektedir. Özün çevresinde ve büyüme periyodunun ilk yıllarında ortaya çıkan odun genç odundur. Olgun odun ise ileri ki yıllarda oluşan odundur (Bozkurt ve Erdin 1997; Green vd., 1999; Larson vd., 2001; Wiedenhoelft ve Miller, 2005). Farklı bir deyişle; genç odun, özün hemen ardından gelen yıllık halkalarda oluşan ve ağacın tepesine doğru silindirik şeklinde uzanan kısmıdır (Göker ve Dündar, 1999).

Genç odundan olgun oduna keskin bir geçiş olmamakta ve bu geçiş ağaç türü ve çevresel faktörlerin etkisiyle farklılık gösterebilmektedir. Olgun odun dokusuna ergin odun da denmektedir (Bozkurt ve Erdin, 1997; Örs ve Keskin, 2001). Genç oduna göbek odun "core wood" ya da taç oluşturan "crown-formed wood" gibi çeşitli isimler de verilmektedir (Larson vd., 2001). Genç odun her ağaçta bulunmaktadır. İğne yapraklı ağaçlarda genç odun kısmı ileri yaşlarda oluşan ve olgun odun olarak adlandırılan kısım ile karşılaştırıldığında, genç odun; düşük özgül ağırlığına, daha kısa hücrelere, geniş mikrofibril açısına, olgun oduna göre daha yüksek boyuna daralmaya, daha düşük direnç değerlerine, daha düşük yaz odunu oranına, yüksek rutubet içeriğine, daha dar hücre çeperine, daha geniş hücre lümeni çapına, ve daha düşük selüloz içeriğine, yüksek lignin içeriğine sahiptir (Panshin ve De Zeew, 1980; Haygreen ve Bowyer, 1996; Bozkurt ve Erdin, 1997; Zobel ve Sprague, 1998; Larson vd., 2001). Bu karakteristik özellikler dikkate alınarak genç odun-olgun odun arasındaki anatomik, fiziksel ve mekanik özelliklerin karşılaştırılması yapılmaktadır.

Pazdrowski ve Neyman (2003), *Picea abies* (L.) Karst.' ta yoğunluk farklılığını temel alarak, genç odun, olgun odun ve genç odundan olgun oduna geçiş zonunu belirlemişlerdir. Genç odun kısmında yoğunluk 435 kg/m^3 ile en düşük, geçiş zonunda 439 kg/m^3 , olgun odunda ise 468 kg/m^3 ile en yüksek olduğunu tespit

etmişlerdir. Bal vd. (2012), toros sedirinde yıllık halka genişlikleri hesaplayarak genç odun ve olgun odunun kısımlarını belirlemiş, genç odun ve olgun odun yoğunluk değerlerini sırasıyla 524 kg/m³, 547 kg/m³ olarak belirlemişlerdir.

Koubaa vd. (2005), yapmış oldukları çalışmada genç odundan olgun oduna geçiş periyodunu belirlemişlerdir. Çalışma neticesinde genç odunda yaz odunu katılım oranını % 26.5, olgun odunda ise % 34.1 olduğunu tespit ederek, yaz odunu katılım oranının genç odunda daha az olduğunu belirtmişlerdir.

Koga ve Zhang (2002), yaptıkları çalışmada yoğunluğun ve yaz odunu oranının yaşa bağlı değişimini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda genç odun yaz odunu katılım oranını % 9.5, olgun odun yaz odunu katılım oranını ise % 3.8 bularak bu oranın genç odunda daha az olduğunu belirtmişlerdir. Yaz odunu oranının yıllık halkalar arasındaki farklılıkları belirlemede en iyi parametre olduğunu, yıllık halkalar arasındaki yoğunluk değişimi üzerinde de büyük oranda etkisinin olduğunu belirtmişlerdir.

Harnandez vd. (1998), mekanik özelliklerin ölçümünde standart örnekler yerine artım kalemleri kullanımının daha doğru sonuçlar verdiğini belirtmiştir.

Haygreen ve Bowyer (1996), ABD'deki iğne yapraklı ağaçlarda mekanik özelliklerin genç odunda % 50 oranında daha düşük olduğunu ve bu sonucun, genç odunda daha az yaz odunu hücrelerinin bulunması ve hücrelerin büyük çoğunluğunun ince çeper kalınlığına sahip olmasından kaynaklandığını belirtmiştir.

Zobel (1972), yapmış oldukları çalışmada Loblolly çamında ortalama yoğunluk değerlerinin genç odun için 0.36 g/cm³'den 0.45 g/cm³'e, olgun odun için 0.42-0.64 g/cm³ arasında değiştiğini tespit etmişlerdir. Loblolly çamı odun örnekleri ile yapılan çalışmada Zobel ve McElwee (1958), genç odunun ortalama yoğunluk değerini 0.45 g/cm³, olgun odunun ortalama yoğunluk değerini 0.59 g/cm³ olarak bulmuşlardır.

Genel olarak literatürde odun yoğunluğunun mekanik özelliklerle karşılaştırılması sonucunda iki özellik arasında yüksek pozitif doğrusal ilişki olduğu belirtilmektedir (Panshin ve De Zeeuw, 1980; Haygreen ve Bowyer, 1996). Ayrıca Kumar (2004), *Radiata* çamında odun yoğunluğu ile mekanik özellikler arasında yüksek genetik ilişkiler bulmuştur. Bununla birlikte, bazı çalışmalarda odun yoğunluğunun her zaman mekanik özellikler için çok iyi bir gösterge olarak kabul edilemeyeceğine dair çalışmalar da mevcuttur (Leclecq, 1980; Hunt vd., 1989; Zhang ve Zhong, 1992). Zhang ve Zhong (1992), çekme direnci ile mikrofibril açısı arasında daha yüksek ilişkiler olduğunu bildirmiştir. Yinede odun yoğunluğu pek çok araştırmacı tarafından mekanik özellikler vb. açısından iyi bir gösterge olarak kabul edilmekte ve ölçüm kolaylığı açısından tercih edilmektedir.

Bhat vd. (2001) yapmış olduğu çalışmada yavaş ve hızlı yetişen teak ağacından örnekler almıştır. Aldıkları örneklerin genç ve olgun odun dokularının yoğunluk değerleri, mekanik özelliklerini incelemiştir. Hızlı yetişen ağaçlarda genç ve olgun odunda mekanik özelliklerin yavaş yetişen ağaç örneklerine göre daha düşük olduğunu tespit ederken, ağaçların yetiştirme hızları ile yaşlarının yoğunluk üzerine (540–570 kg/m³) etkili olmadığını belirtmektedirler. Genç odun örneklerinde elastikiyet modülünü 12695–14460 N/mm², eğilme direncini 98.3–114 N/mm², olgun odunda elastikiyet modülünü 15746–16220 N/mm², eğilme direncini 124.2–134.6 N/mm² bularak genç odunun mekanik özelliklerinin daha düşük olduğunu belirlemiştir. Ayrıca genç ve olgun odun kısımlarının eğilme direnci değerlerinin yakın olduğunu tespit etmişlerdir.

Bal vd. (2012) çalışmasında, Kahramanmaraş-Başkonuş ilçesinden alınan Toros sedirinin (*Cedrus Libani* A.Richard) genç odun ve olgun odununun bazı fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemiştir. Genç odunun hava kuru yoğunluk değerini 574 kg/m³, tam kuru yoğunluk değerini 524 kg/m³, hacmen daralma değerini % 8.45, hacmen genişleme değerini % 9.27, lif doygunluk noktasını % 17.92 ve taze hal rutubetini % 37.2 olarak belirlemiştir, olgun odunda ise bu değerleri sırasıyla 588 kg/m³, 547 kg/m³, % 11.86, % 12.92, % 24.48 ve % 128.2 olarak ölçmüştür. Genç odunda eğilme direnci, elastikiyet modülü, basınç

direnci, makaslama direnci ve şok direnci değerlerini sırasıyla; 75.8 N/mm², 6668 N/mm², 44.6 N/mm², 5.2 N/mm², 0.360 kgm/cm² ve olgun odunun aynı sıra ile 94.4 N/mm², 8963 N/mm², 59.2 N/mm², 5.9 N/mm² ve 0.514 kgm/cm² olarak belirlemiştir.

Göksel ve Özden (1993) yapmış oldukları çalışmada Antalya bölgesinde yaklaşık 35, 12 ve 10 yaşlarında meşcerelerden 3 farklı deneme alanı seçip örneklerin kimyasal ve morfolojik özelliklerini incelemiştir. 35 yaşında olan kızılçam ağacının traheid boyunu 2.87 mm, çeper kalınlığını 9.95 µm, 12 yaşında olan kızılçam ağacının traheid boyunu 2.62 mm, çeper kalınlığını 7.92 µm olarak belirlenmiştir.

Passialis ve Kiriazakos (2004), doğal ormanlarda büyüyen göknar ağacından elde edilen örneklerin genç ve olgun odun özelliklerini karşılaştırmışlardır. Genç oduna ait yoğunluk değerleri ile olgun oduna ait yoğunluk değerleri incelenmiş ve bu değerlerin 400–420 kg/m³ arasında değiştiğini tespit etmişlerdir. Genç odunu mekanik özelliklerinin olgun oduna göre önemli derecede daha düşük olduğunu belirtmektedirler. Genç odun kısmında eğilme direnci değerini 42 N/mm², elastikiyet modülü değerini 6147 N/mm², olgun odun örneklerinin eğilme direnci değerini 57.11–57.95 N/mm², elastikiyet modülü değerini 8106–8544 N/mm² belirlemiştir.

Pikk ve Kasr (2006), Sarıçam'ın genç odunu örneklerinin mekanik özelliklerini incelemiş ve olgun odunla kıyaslandığında, genç odunun yoğunluğunun % 83.3, liflere paralel basınç direncinin % 68.6, eğilme direncinin % 62 azalma gösterdiğini tespit etmişlerdir.

Odunda MFA, direnç ve daralma özelliklerini büyük oranda etkilemektedir (Reiterer vd., 1999). Olgun odun dokusunda mikrofibril açısı değerleri 10–20⁰, genç odun dokusunda mikrofibril açısı değerleri 40–50⁰'ye çıkmaktadır. Larson vd. (2001) yapmış oldukları çalışmada Loblolly çamı'nın genç ve olgun odun kısmından elde edilen hücrelerde sekonder çeperdeki mikrofibril açılarını araştırmışlardır. Olgun odunda belirlenen mikrofibril açıları değerlerinin 5-10⁰

arasında, genç odun kısmında mikrofibril açıları değerlerinin 25-30° arasında olduğu tespit etmiş ve öze yaklaşıldığında belirlenen bu değerlerin 50°'ye çıktığını belirlemişlerdir. Yang ve Hazenberg (1994), yapmış olduğu çalışmada Kara Ladin (*Picea mariana*) ağacının genç odun ve olgun odun arasındaki geçiş bölgesini hücre uzunluğu, mikrofibril açısına bakarak 11-21. yıllık halkalar arasında olduğunu belirlemiştir.

Deresse vd. (2003), doğal ormanlar ve plantasyon ormanlarında yetişen Amerikan kızılçamı (*Pinus resinosa*)'dan elde ettikleri örneklerin genç ve olgun odun kısmındaki mikrofibril açılarını incelemiştir. Doğal büyüyen ağaçlardan elde edilen iki yaşında odun örneklerinde mikrofibril açısını 30°, yirmi yaşında örneklerinde mikrofibril açısını 18°, plantasyonlarda yetiştirilen ağaçlardan alınan örneklerinde mikrofibril açısını 30°, 20 yaşında örneklerde mikrofibril açısı 15° olduğunu tespit ederek plantasyon ormanlarında büyüyen ağaçların mikrofibril açısı'nın daha küçük olduğunu tespit etmişlerdir.

Bal (2012), çalışmasında, sedir ve okaliptüs ağaçlarından elde ettiği deney örneklerinin üzerinde genç odun ve olgun odun dokuları arasındaki lif morfolojisi açısından farklılıkları araştırmıştır. Bunu araştırmak için, hücre uzunluğu, lümen çapı, lif genişliği ve çeper kalınlığını ölçmüştür. Bahsedilen ölçümler genç ve olgun odun örnekleri üzerinde ayrı ayrı yapmıştır. Odun örneklerinin maserasyon işlemi için klorit yöntemi uygulanmıştır. Genç odun ile olgun odun arasındaki farklılıkları belirlemek için T testi kullanmıştır. Bulgular değerlendirildiğinde, sedir ve okaliptus ağaçlarının genç odun ve olgun odunları hücre uzunluklarının istatistiki olarak önemli oranda farklı olduğunu belirlemiştir. Sedir örneklerinde genç odun ve olgun odunun hücre genişliği ve çeper kalınlığının istatistiki olarak önemli oranda farklı olduğunu bulmuştur. Fakat aynı farkların okaliptüste önemsiz olduğunu belirtmiştir.

Haygreen ve Bowyer (1996), ABD'deki iğne yapraklı ağaçlarda yoğunluğun genç odunda % 10-15 oranında daha düşük olduğunu ve bu sonucun, genç odununda daha az yaz odunu hücrelerinin bulunması ve hücrelerin büyük bir oranının ince çepere sahip olmasından kaynaklandığını belirtmiştir.

Hoag ve Kraemer (1991) yapmış oldukları çalışmada, yıllık halkalar bazında odun yoğunluğunun değişimini incelerken ilk ve son yıllık halkaları almamışlardır. Bu yıllık halkaları almamalarının sebebi olarak, yıllık halkaların tamamlanamamış olduğunu belirtmişlerdir.

Genç odun ve olgun odun dokuları kimyasal içerik miktarı bakımından farklılık göstermektedir. Genellikle genç odunun hemiselüloz ve lignin miktarı olgun oduna nazaran daha fazlayken, selüloz miktarı daha azdır (Rowel, 2005). Cole vd. (1966), günlük çamından (*Pinus taeda*) elde edilen genç odun dokularında ortalama ekstraktif madde miktarını % 3.06, olgun odun örneklerindeyse bu miktarı % 2.67 olarak tespit etmiştir.

Odun kalitesi ile ilgili birçok tanım bulunmaktadır, ancak odun kalitesinin belli bir kullanım amacına uygunluk olarak yapılan tanımlaması (Briggs ve Smith, 1985) oldukça önemlidir. Özellikle ince çaplı materyallerin kullanıldığı kağıt, levha ürünleri vb. alanlar düşünüldüğünde, kullandıkları hammaddede genç odun oranının artması veya tamamen genç odundan oluşması üretilen ürünün kalitesini de etkileyecektir. Zobel ve Blair (1976), Güney çamlarında genç odun ve olgun odundan yapılan kağıtların çeşitli özelliklerini karşılaştırdıkları çalışmalarında genç odundan üretilen kağıtların çekme, patlama dirençlerinin daha iyi olacağını, buna karşılık yırtılma direnci ve opaklığın olgun odundan elde edilen kağıtlara göre daha düşük olacağını bildirmektedir. Jackson ve Megraw (1985), genç odun kullanımının kağıt üretimi üzerine etkisini inceledikleri çalışmalarında; genç odun ve olgun odun arasında üretilen kağıt özellikleri bakımından önemli farklılıklar bulunduğunu ve yırtılma direncinin % 30 daha düşük olduğunu buna karşılık patlama direncinin % 60 daha fazla olduğunu bildirmektedir. Ülkemizde genç odun üzerine yapılmış spesifik bir çalışma olmamakla birlikte, kızılçamda aralamalardan elde edilen ürünün kağıt üretiminde kullanılması üzerine yapılmış olan bir çalışmada ağaç yaşları 9-36 arasında değiştiği için, bu çalışmada elde edilmiş bulgular bu konuda fikir verebilir (Göksel ve Özden, 1993). Bu çalışmada bulunan lif boyu, çeper kalınlığı, hacim yoğunluk değeri vb. Göksel tarafından daha yaşlı kızılçam odununda bulunan değerlerden daha düşüktür (Göksel, 1984). Ayrıca Güller (İçel) vd.

(2012) tarafından yapılan bir çalışmada kızılçamda genç plantasyonlarda odun yoğunluğuna bağlı olarak 12. yıllık halkanın genç odundan olgun oduna geçiş zonunu temsil ettiğine dair yorum mevcuttur. Faust vd. (1999), *Pinus taeda*'da 14 ve 24 yaşındaki meşcerelerde traheid boylarını karşılaştırmışlardır. 14 yaşındaki ağaçlarda traheid boyunu % 6 daha kısa bulmuşlardır. Görüldüğü üzere genç odun özelliklerinin incelenmesi konusu pek çok ülkede önemle üzerinde durulan bir konu olmuştur. Çünkü, genç odun özelliklerinin bilinmesiyle bu hammaddeyi kullanan endüstri kollarında geliştirilen yeni üretim metotları ve proseste yapılan değişikliklerle hammaddeden kaynaklanan bazı özelliklerin iyileştirilmesi mümkün olmuştur (Zobel ve Sprague, 1998). Bununla birlikte yapı kerestesi vb. amaçlarda kullanılan ve yüksek direnç özelliklerinin istenildiği alanlar için genç odun istenilmeyen hammadde durumundadır. Bu amaçlar için kullanılacak plantasyonlarda genellikle daha uzun idare süreleri önerilmektedir (Biblis vd. 1992; Clark III vd. 1996; Macdonald ve Hubert, 2002). Bu nedenle ağaç türleri için genç odun oluşum periyodu hakkında bilgi sahibi olmak oldukça önemli bir konudur.

İngiliz fizikçi William Herschel 1800'lü yıllarda görünür spektrumda koyu kırmızı dışında, kızılötesi diye isimlendirilen, insan gözüyle görülmeyen ışığı ortaya çıkarmıştır. Takip eden yıllarda, Macedonio Melloni, Gustav Kirchhoff, Clark Maxwell, Joseph Stefan, Ludwig Boltzmann ve Max Planck gibi çoğu bilim insanı bu konu üzerinde çalışmışlardır (Astarita vd., 2000).

Termografi yönteminin Orman Ürünleri endüstrisinde kullanımına 1990'lı yıllarda başlanmıştır. Bu alan için nispeten yeni bir yöntemdir (Berglind ve Dilenz, 2003).

Termografi temassız (non-contact) ve tahribatsız (non-destructive) bir test metodudur. Diğer tahribatsız muayene metotları ile karşılaştırıldığında termografi, geniş alanlarda nispeten daha hızlı çalışmayı sağlayan bir yöntemdir. Termografide bir termal kamera ile malzeme üzerindeki termal kontrastlar belirlenmekte, elde edilen bilgiler bilgisayara aktarılmakta ve bir yazılım (software) ile değerlendirilmektedir (Güller (İçel), 2005).

Termal görüntüleme birçok farklı amaç için kullanılabilir. Örneğin, itfaiyeciler bu tekniği yangın sırasında oluşan dumanın içersinde kalan insanları görebilmek ve yangının başladığı noktayı belirlemede kullanırlar. Termal görüntüleme sistemini, elektrik hatları bakım elemanları çok ısınmış (ki bu önemli bir arıza olduğunu gösterir), bağlantılar ve parçaları belirlemek ve karşılaşılabilecek problemleri önlemek için kullanılmaktadır. Dikili ağaçların incelenmesin (iç kısımlardaki boşluk, çürük vb.) de bu teknik kullanılmaktadır (Catena ve Catena, 2008).

Stockton (2003) yapmış olduğu çalışmada, termal kameralar ile haritacılık uygulamalarını incelemiş olup yeryüzü sıcaklık dağılımlarını çıkarmış, sıcak akarsular ile ılık akarsuların kaynakları ve karışım noktalarını tespit etmiştir.

Tibbs (2004) yapmış olduğu çalışmada, kızılötesi görüntüler üzerindeki termal farklılıklar sayesinde duvar içindeki gizli nemi, çatılardaki sızıntıları, elektrik devrelerindeki aşırı ısınmaları tespit edebildiklerini belirtmiştir. Tibbs'e göre, kızılötesi termografi kullanımı aynı zamanda küf gelişimi oluşma olasılığı olan binalarda gizli nem alanlarını bulmayı mümkün kılmıştır.

Buyruk vd. (2015) yapmış oldukları çalışmada, Sivas bölgesinde bulunan bir yapıyı termal kamera ile incelemiştir. Binadaki ısı enerjisi kaçağının daha çok giriş ve kolonlarda oluştuğunu tespit etmiş ve bu kısımlara uygun yalıtımların yapılması konusunda çözüm önerileri sunmuşlardır.

Kominsky vd. (2005) yapmış oldukları çalışmada, bina yüzeylerindeki nemin varlığının belirlenmesinin, en iyi heterojenik bir ortamda bile yakalanmasının zor bir olgu olduğunu belirtmiştir. Kızılötesi termal görüntüleme ile yerinde nem belirlemenin, yüzeyi hızlıca tarayarak aşırı nem durumunu gösteren düzensiz termal örneklerin, termal kameralar ile sistemde oluşan termal aykırılıkların sayesinde kolayca tespit edilebildiğini vurgulamıştır. Termal taramaların görsel yorumlamasına göre, temassız incelemeler için duvar yüzeyleri seçilerek ve nemölçer sonuçlarıyla bağlantılar kurmuşlardır. Bu araştırmalar neticesinde nemölçerler kullanılarak, görsel kontrol ve sayısal

ispatların da yardımıyla gerçekleştirilen görsel kızılötesi termografinin, bina yüzeylerini ve nem aykırılıklarını belirlemede etkili bir metot olduğu göstermişlerdir.

Sembach vd. (1997) yapmış oldukları çalışmada, orta yoğunluklu lif levha ve yonga levhaların altında 4-5 mm ve 19 mm genişliğindeki kanalları termografi yöntemiyle belirlemişlerdir.

Güller (İçel) vd. (2012) yapmış oldukları çalışmada, 5 hafta boyunca odun yüzeyinde *Fomitopsis pinicola* fungusunun gelişimini ve yüzeye yayılışını termal kamera kullanarak incelemişlerdir. Termal görüntülerin görüntü analiz programına aktarımı sonrasında fungal aktivitenin olduğu alanların daha sıcak olduğunu gözlemlemişlerdir.

Güller (İçel) vd. (2011) yapmış oldukları çalışmada Thermo-D işlemi uygulanmış ve işlem uygulanmamış ladin ve kayın odun örneklerinde termal kamera yardımıyla *P. demidoffii* ve *F. Pinicola*'nın yayılışını değerlendirmişlerdir. Fungusların yayılışının göz ile rahat bir biçimde ayrılmadığı erken dönemlerde bile termal görüntüleme tekniği ile yayılışın gözlemlenebileceğini tespit etmişlerdir.

Wu vd. (1996) yapmış oldukları çalışmada, lock in termografi metodunu kullanarak 2 mm kalınlığında lamine kaplamanın altındaki budakları ve alt yüzeyde 4 mm çapındaki kanalları tespit etmişlerdir.

Wu vd. (1997) yapmış oldukları çalışmada, 1 mm kalınlığında kaplamanın altında tutkalın oluşturduğu tehditler ve 1 mm kalınlığında yüksek basınçlı lamine filmin yanı sıra 2 mm kalınlığındaki kaplamanın altında nemden kaynaklı olarak aşınan alanları belirlemişlerdir.

Xu vd. (1993) yapmış oldukları çalışmada, heating termografi metodunu kullanarak 1.3-3 mm kalınlığındaki *Parashorea densiflora*'dan yapılmış levhalarda yüzey

tabakalarının altında 10-50 mm kadar büyük alanlarda tutkal olmadığını saptamışlardır.

Meinlschmidt (2000) yapmış olduğu çalışmada, termografi metodunu kullanarak laminat altında su ile aşınmış alanları belirlemiştir.

Yapılan literatür incelemesinde tez konusuyla ilgili yayınlanmış bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Termografinin genç odun periyodunun belirlenmesinde kullanılabileceği yönündeki bilimsel hipotez ilk defa tez danışmanı Bilgin İÇEL tarafından ortaya konulmuş olup, bilimsel anlamdaki ilk çalışma/deneme kendisi tarafından yürütülmüş olan bir projede (TÜBİTAK 110-O-560) gerçekleştirilmiş ve ilk bulgular proje raporunda yer almıştır.

2.1. Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) Hakkında Genel Bilgiler

2.1.1. Kızılçamın botanik özellikleri

Kızılçam [*Pinus brutia* Ten.], Cormophyta (Gövdeli bitkiler) ana grubu, Spermaphyta (Tohumlu bitkiler) şubesi, Gymnospermae (Açık tohumlular) alt şubesi, Coniferae (Kozalaklılar ya da iğne yapraklılar) sınıfı, Pinoideae takımı, Pinaceae familyası, Pinus cinsinin Murraya seksiyonunda yer alan bir ağaç türüdür. Toprak istekleri az ve kuraklığa dayanıklı bir türdür (Kayacık, 1980). Genel görünümü ile halepçamına benzeyen, bazı botanikçiler tarafından halepçamının bir varyetesi [*Pinus halepensis* Mill. var. *brutia* (Ten.) A.Henry] olarak kabul edilen kızılçam, bazı morfolojik, anatomik ve biyokimyasal özellikleri ile ondan kesin olarak ayrılmaktadır. Kızılçam [*Pinus brutia* Ten.], kendisine çok benzeyen halepçamından [*Pinus halepensis* Mill.], kozalağının çok kısa saplı oluşu (halepçamının kozalak sapı uzun ve kalındır), kozalak pulu göbeğinin halepçamının aksine büyük ve basık olması, sürgünlerde kozalak uçlarının aşağıya bakmayışı ve yetiştirme yeri isteklerinin halepçama kadar duyarlı olmayışı gibi özelliklerle ayrılmaktadır (Şekil 2.1) (Selik, 1963; Kasaplıgil, 1992). Kızılçam için kullanılması gereken isim, *Pinus brutia* Ten. İsmidir (Selik, 1963). Bir cinsli, bir evcikli (erkek ve dişi çiçekleri aynı ağaç üzerinde) ve

anemogam (tozlaşması rüzgarla olan) bir bitkidir. Diploxyton (yaprak enine kesitinde 2 adet iletim demeti olan) çamlardandır (Yaltırık ve Efe, 1994; Genç, 2004). Kızılçamın 4 tane varyetesi tespit edilmiştir. Bunlar; (Genç, 2004)

- Pinus brutia* Ten. var. *agraphiotii*
- Pinus brutia* Ten. var. *pyramidalis*
- Pinus brutia* Ten. var. *densifolia*
- Pinus brutia* Ten. var. *Pendulifolia*



Şekil 2.1. Kızılçam (*Pinus brutia*) görüntüsü

2.1.2. Kızılçamın doğal yayılışı

Kızılçam, kuzey yarım kürenin kabaca 15-45 doğu boylamları ve 32-45 kuzey enlemleri arasında kalan bir bölgede yayılış göstermektedir. Bu sınırlar içinde en batı ucu Kalabriya Yarımadası (Selik, 1963), en doğu noktası ise Irak'ın Kuzeyindeki Zavita Altrush bölgesi (Şefik, 1965) oluşturmaktadır. Kızılçam genel yayılışını Güney İtalya, Güney Ege Adaları, Türkiye, Kıbrıs, Lübnan, Ürdün, Kuzey Irak, Batı Suriye, Kırım ve Batı Kafkasya'da yapmaktadır. Kızılçam en geniş yayılışını başta Türkiye olmak üzere, doğu Akdeniz ülkelerinde yapmaktadır (Anşin vd., 1993).

Kızılçam, Akdeniz, Ege ve Marmara bölgelerinde geniş bir yayılış göstermekte, ayrıca Karadeniz sahilleri boyunca örneğin; Sinop-Çamgözü yöresinde küçük adacıklar halinde, Karadeniz ardı kesimde ise, özellikle Kızılırmak vadisi boyunca Durağan, Boyabat-Isırganlı ormanları, Kargı yöreleri ile Kelkit vadisinde görülmektedir yapmaktadır (Anşin vd., 1993). Amasya - Erbaa - Niksar - Reşadiye - Koyulhisar hattı boyunca 100 kilometrenin üstünde doğudan batıya uzanan ve bütünlük gösteren büyük bir havzada kızılçam yamaç arazilerin en yaygın ağacıdır (Kalay vd., 1993).

Türkiye'de kızılçam, Akdeniz Bölgesi'nde deniz seviyesinden başlayarak, 1200 metre yükseltiye kadar saf meşcereler halinde görülmektedir. Burdur Gölhisar ormanlarında 1595-1600 metre yükseltilere kadar meşcere formunda görülmüştür. Kızılçam Akdeniz Bölgesi'nde 1200 metreden sonra karaçam ile karışım yapmaktadır. Marmara'da 0-700 m'ler arasında saf halde veya fıstıkçamı ve servi ile karışık meşcereler kurmaktadır. Ege Bölgesi'nde 0-800 m yükseltilere kadar saf, 800-1000 metrelerde ise karaçam ile karışık halde bulunmakta, Uşak dolaylarında 1100-1150 m'ye kadar görülmektedir. Keza Afyon-Hocalar/Çal Dağı mevkiinde 1080-1200 metre arasında yer yer karaçam ile birlikte münferit olarak bulunmaktadır. Batı ve Orta Karadeniz'de kızılçam ancak Karadeniz üzerinden gelen serin iklim etkisinden korunmuş vadilerde ve güney bakılı yamaçlarda, küçük alanlarda orman kurabilmektedir. Bölgede 600-700 metre yükseltilere kadar çıkmaktadır (Genç vd., 1997; Kantarcı, 1998; Genç, 2004). Şekil 2.2'de kızılçamın Türkiye'deki doğal yayılışı gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Kızılçam yayılış alanı (URL 4)

2.1.3. Kızılçamın makroskobik ve mikroskopik özellikleri

Kızılçam odununda makroskobik yapı; diri odun geniş ve kırmızımsı beyaz renkte olup, enine kesitte gövde yarıçapının 2/3'ü kadardır. Yıllık halkalar belirgindir. İlkbahar yaz odunu geçişi tedrici veya ani olabilir (Merev, 2003).

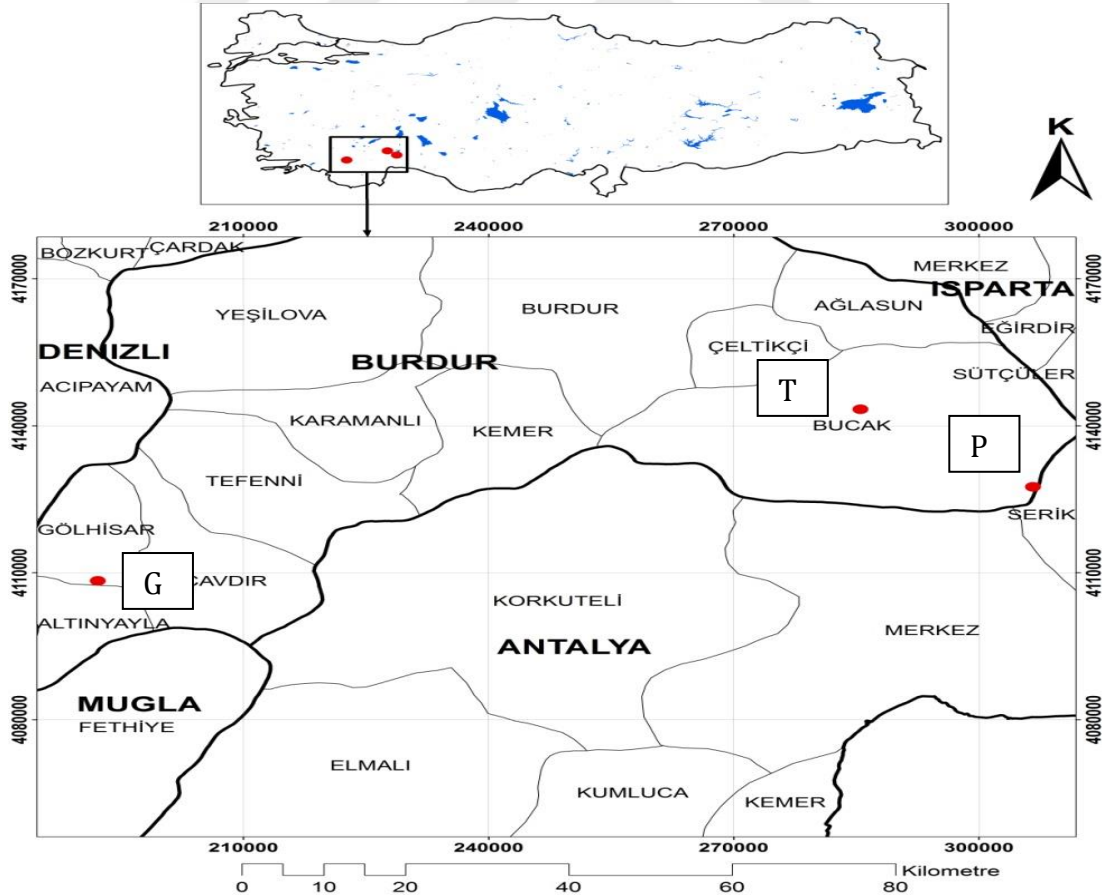
Reçine kanalları yıllık halkanın her tarafına dağılmış bulunmakla beraber, ekseriyetle yaz odunu tabakası içerisinde görülmektedir. İlkbahar odununda cupressoid ve taxodioid tip geçit, yaz odununda ise daha çok piceoid geçitler bulunmaktadır (Berkel, 1957). Kızılçam hücre boyu 4.27-4.70 mm, hücre genişliği 47.85-49.11 μ , çeper kalınlığı 8.99-9.77 μ , lümen genişliği 28.14-30.34 μ arasında değişmektedir (Göksel, 1984).

3. YÖNTEM

3.1. Materyal

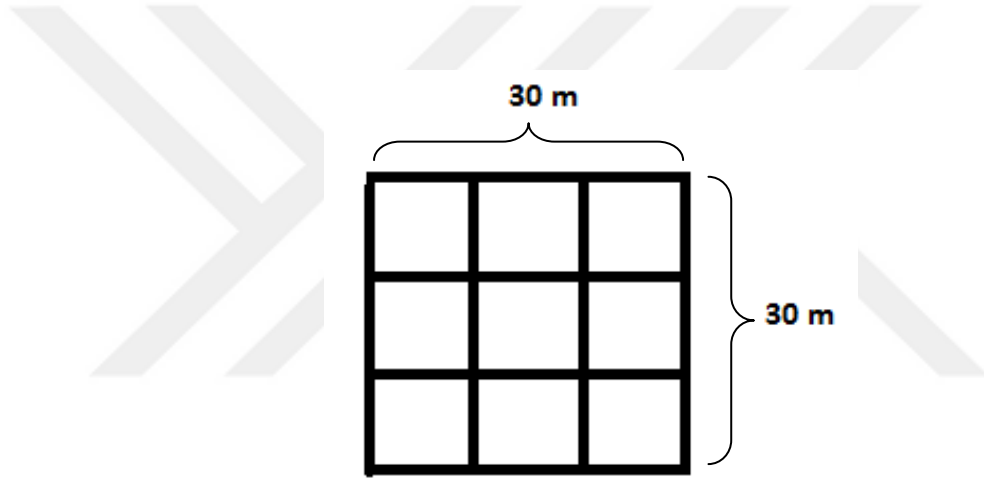
Bu çalışmada ağaç türü olarak kızılçamda çalışılmıştır. Ülkemizde oldukça geniş bir yayılış alanına sahip olan bu türün seçilmesinin nedenleri, günümüze kadar bu tür ile yüksek miktarlarda ağaçlandırmalar yapılması ve gelecek planlarda bu türün ağaçlandırma çalışmalarında öncelikli türler arasında olması ve ağaç ıslahı programları için öncelikli türler arasında yer almasıdır (Atalay vd., 1998; Güller (İçel), 2004).

Tezde Burdur ilinde 3 farklı meşcereden (350 m, 800 m, 1100 m) artım kalemleri alınmıştır. Artım kalemlerinin alındığı bölgelerin harita üzerinde gösterimi Şekil 3.1’de yapılmıştır.



Şekil 3.1. Artım kalemlerinin alındığı bölgelerin harita üzerinde gösterimi

Tezde 50-70, 80-90, 95-110 yaş aralığındaki meşcerelerden artım kalemleri alınmıştır. 50-70 yaş aralığı (800 m), 80-90 yaş aralığı (350 m), 95-110 yaş aralığı (1100 m) sırasıyla P, T ve G grubu olarak adlandırılmıştır. Arazilerde yapılan ön çalışmalarda, örneklemeye uygun olmayan ağaçlar (çok ince, gelişmemiş, yaralanmış) tespit edilerek örnekleme dışı bırakılmıştır. Seçilen deneme alanlarında 30x30 m uzunluğundaki bir bölge 9'a bölünmüş ve 100 m²'lik alanlar oluşturulmuştur (Şekil 3.2). 100 m²'lik alanlar içindeki ağaçlar numaralandırılmış ve numaralar kağıtlara yazılarak torbaya atılmıştır. Torbadan rastgele numara seçilerek her 100 m²'lik alandan 1 ağaç seçilmiştir. Her bir grupta 9 ağaçtan (5, 10 mm'lik) artım kalemi alınmış olup toplamda 27 ağaç üzerinde çalışma yapılmıştır.



Şekil 3.2. Deneme alanlarının oluşturulması

3.2. Metot

Genel olarak genç odun kısmının belirlenmesine yönelik yapılan çalışmalarda yoğunluk, yıllık halka genişliği, çeper kalınlığı, elastikiyet modülü, eğilme direnci, basınç direnci, mikrofibril açısı, ekstraktif madde miktarı gibi özellikler incelenmektedir. Bu çalışmada ise artım kalemleri kullanılması sebebiyle incelenen özellikler; yoğunluk, basınç direnci, ilkbahar ve yaz odunu genişliği, yaz odunu katılım oranı, hücre çeper kalınlığıdır. Çalışmanın ana aşamaları Şekil 3.3'de verilmiştir.



Şekil 3.3. Çalışmanın ana aşamaları

3.2.1. Artım kalemlerinin alınması

Odunun yapısı çeşitli yüksekliklerden alınan enine kesitlerde farklılıklar göstermektedir. Bu nedenle ağaçta boyuna yönde değişimler olması kaçınılmazdır. Yıllık halka genişlikleri topraktan tacın alt kısmına kadar giderek genişlemekte, buradan sonra azalmaya başlamaktadır (Haygreen ve Bowyer, 1996; Smith vd., 1996; Bozkurt ve Erdin, 1997).

Ağacın dip kısmında yaz odunu katılım oranı ve yoğunluk daha yüksek olmakta, yukarı doğru gidildikçe azalmaktadır (Panshin ve De Zeeuw, 1980; Smith vd., 1996; Deresse ve Shepard, 1999). Yani odun yoğunluğu aynı ağaç içerisinde yüksekliğe bağlı olarak değişim göstermektedir. Dolayısıyla ağacın ortalama

yoğunluğu ile belirli bir yükseklikteki (örneğin 1.30 m) yoğunluk değeri farklılık göstermektedir. Genel olarak literatür incelendiğinde hem örnekleme kolay yapılması hem de göğüs yüksekliğinden elde edilen örneklerde belirlenen yoğunluğun ortalama ağaç yoğunluğu için güvenilir bir gösterge olarak kabul edilmesi sebebiyle (Zobel ve van Buijtenen, 1989) genellikle 1.30 m yükseklikten alınan artım kalemleri yoğunluk ölçümlerinde kullanılmaktadır. Bu nedenle bu çalışmada Şekil 3.4'te görüldüğü gibi 1.30 m yükseklikten alınmış 5,10 mm'lik artım kalemleri kullanılmıştır.



Şekil 3.4. Artım kalemlerinin alınması

Ağaç gövdesinden artım kaleminin çıkarılmasının ardından, artım burgusu alınan yerde oluşan deliklere (ağaçların zarar görmesini engellemek amacıyla), ilk olarak etanol püskürtülüp, sonrasında bu delikler cam macunu kullanılarak kapatılmıştır.

Artım kalemi plastik tüpler içerisine yerleştirilmiş ve üzerine tüplere yerleştiriliş saati yazılmıştır. Arazi çalışmaları boyunca IR görüntüleri alınan artım kalemleri soğutucu kaplarda bekletilmiştir. Örnekler laboratuvara

getirildikten sonra vakumlu paketleme cihazıyla paketlenmiş ve paketlerdeki örnekler buzdolabına (+2 °) yerleştirilmiştir. Arazi çalışmaları bittikten sonra örnekler dolaptan çıkarılmış ve 3 hafta süre ile temiz ve havadar bir ortamda kurumaya bırakılmıştır. Kurutma işleminin tamamlanmasının ardından her örnek üzerine, silinmeyen kalem ile örnek kodları yazılıp vakumlu paketleme makinası ile gruplar halinde paketlenmiştir. Artım kalemlerinin alınması ve saklanması aşaması Güller (İçel), 2010'a göre yapılmıştır. Güller (İçel) (2010) yapmış olduğu çalışmada da belirttiği üzere, çalışma sırasında uygun bir şekilde paketlenmiş örnekler zarar görmemiştir.

3.2.2. Genç odun kısmının belirlenmesi

Genç odun kısmının belirlenmesinde odun yoğunluğu, direnç, hücre çeperi kalınlığı, yaz odunu oranı vb. parametreler kullanılabilir. Kimyasal özellikler bu çalışma kapsamı dışında tutulmuştur. Çünkü kimyasal özellikleri yıllık halka bazında incelemek oldukça zahmetlidir, özel ve pahalı ekipmanlar gerektirir. Bu çalışmada 27 ağaç üzerinde yıllık halka bazında ölçümü mümkün olan özellikler üzerinde çalışılmıştır (yoğunluk, yıllık halka bileşenleri, basınç direnci ve IR görüntüler). Her ağaç ve ağaçlar ortalaması için bu parametrelerin yıllık halka-halkalar bazında değişim grafikleri çizilip bu grafikler üzerinde değişimin başladığı noktalar belirlenmiş ve bu şekilde ağaçlarda genç odun kısmı belirlenmiştir. Ayrıca rutubet kaybı olmadan alınmış IR görüntüler üzerinde yüzey sıcaklık farkından yararlanılarak belirlenen alanların, aynı örneğin gerçek görüntüsü ile karşılaştırılması ile genç odun kısmı belirlenmiştir. Daha önce farklı özellikler kullanılarak genç odun-olgun odun kısmı belirlenmiştir fakat termografi tekniğinin bu konuda denemesi oldukça yeni bir konudur. Bu konunun ilk ortaya atılışı ve ilk denemeler tez danışmanı tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada ise diğer tekniklerle desteklenerek yöntemin uygulanabilirliğinin denemesi ilk defa gerçekleşmiştir.

3.2.3. Yoğunluğun belirlenmesi (X-ray ölçümleri)

İğne yapraklı ağaçların odun yoğunlukları değerler 0.25-0.70 g/cm³ arasında değişebilmektedir (Zobel ve Van Buijtenen, 1989). Bu özellik, ağacın mekanik, fiziksel vb. birçok özelliğini ve odun hammaddesinin kullanım alanlarını belirleyen bir faktördür. Diğer bir değişle yoğunluk, farklı odun karakterlerini yüksek oranda etkilemektedir. Bunun nedeni odunun yoğunluğu ve odunun farklı özellikleri (anatomik, mekanik, kurutma, işleme özellikleri vb.) arasında istatistik olarak önemli oranda doğrusal ilişkilerin bulunmasıdır (Zobel ve Van Buijtenen, 1989; Simpson, 1993; Haygreen ve Bowyer, 1996; Bozkurt ve Erdin, 2000; Koubaa vd., 2002). Artım kalemleri kullanılarak yoğunluk değerlerinin ölçümü için değişik cihazlar kullanılmaktadır. Ancak yıllık halka bazında detaylı ölçümlerin yapılmasına olanak sağlayan cihaz; X-ray yoğunluk ölçüm cihazı (densitometre)dir. (Güller (İçel), 2010). X-ray kullanılarak yoğunluğun belirlenmesinde, temel olarak örnekler x ışınları ile ışınlanır, örneklerden geçen ışınların tespiti yapılır ve Beer kanuna göre odunun yoğunluk değeri belirlenir (Lindeberg, 2004). Artım kalemleri ile odun yoğunluğunun belirlenmesinde x-ray ile yoğunluk belirleme yöntemi kullanılmıştır. Bugüne kadar bu konuda üzerinde yapılmış çalışmalarda bazı reçine içeren türler üzerinde yoğunluk değerlerinin ölçümünden önce etanol-benzende veya cyclohexane de ekstraksiyon işlemi yapılmıştır (Bankowski, 1994; Koubaa vd., 2002). Bununla birlikte çamlardan elde edilen örneklerle yapılan bazı çalışmalarda herhangi bir ön işlem gerçekleştirilmeden yoğunluk ölçümleri yapılmaktadır. Bu çalışmada örnekler herhangi bir ön işlem uygulanmadan yoğunluk değerleri belirlenmiştir. X-ray ile yoğunluk ölçümüne başlamadan önce makinenin gerektirdiği değerler (set-up değerleri) her ağaç türü için belirlenmelidir. Bu çalışmada Güller (İçel) (2010) tarafından kızılçam ağaç türü için belirlenen değer temel alınmıştır. Birçok çalışmada bir yıllık halka içinde ilkbahar ve yaz odunu sınırını belirlemek için en düşük ve en yüksek yoğunluk değerlerinin ortalaması alınmıştır (Nicholls vd., 1980; Vargas-Hernandez ve Adams, 1991). Bazı çalışmalarda ise literatürde farklı iğne yapraklı türlerde yapılan araştırmalarda kullanılan bir yoğunluk değeri (0.550 g/cm³) kullanılmışlardır (Louzada, 2003). Bu çalışmada X-ray ölçüm cihazı ile ilkbahar odunu yoğunluğu,

yaz odunu yoğunluğu ve yıllık halka yoğunluğu belirlenmiştir. X-ray ölçümlerinde yoğunluğun belirlenmesi aşağıda verilen formülde açıklanmıştır (Eckard, 2007).

$$\mu l = \mu m \times \rho \quad (3.1)$$

μl : örnekten geçen ve ölçülen x-ray ışınlarının zayıflama miktarı,

μm : örnek için belirlenen zayıflama katsayısı,

ρ : yoğunluk

Ölçülen yıllık halka yoğunluğu değerlerinden yararlanılarak yıllık halka alanı ağırlıklı yoğunluk değeri aşağıdaki formülden yararlanılarak hesaplanılmıştır (Güller (İçel) ve Işık, 2011).

$$AWD = \frac{\sum (a_i \times d_i)}{\sum a_i} \quad (3.2)$$

AWD: Yıllık halka alanı ağırlıklı yoğunluk değeri

a_i : Her bir yıllık halka tam daire şeklinde farz edilerek hesaplanan i inci yıllık halka alanı

d_i : i inci yıllık halkanın yoğunluk değeri

X-ray ölçümleri sırasında, bazı örneklerin öz ve özden itibaren birinci yıllık halkasında reçine birikmesi veya kusurlu vb. sebeplerle farklı değerler gösterdiği belirlenmiştir. Bununla birlikte, sonuncu yıllık halkanın da tam olarak net bir şekilde oluşmadığı (tamamlanmamış olduğu) ve bu sebeple yaz odunu kısmının da tamamen tamamlanmamış olduğundan tamamlanmamış yıllık halkadaki yoğunluk değerinde düşüş yaşanacağı için bu yıllık halkalara ait değerler değerlendirilmemiştir. Örneğin; Louzada (2003)'de yapmış olduğu

çalışmada, X-ray cihazı kullanılarak yoğunluğun ölçülmesinde ilk ve son yıllık halkalar aynı nedenle değerlendirilmemiştir.

3.2.4. Basınç direncinin belirlenmesi

Odunda direnç özelliklerinin belirlenmesi için genel olarak ağaçlar kesilerek örnek hazırlanmakta ve hazırlanan örnekler üzerinde universal test makinelerinde direnç değerleri belirlenmektedir. Klasik metodun yanında bazı direnç özelliklerinin ağaçlar kesilmeden belirlenmesine yönelik Instrumenta Mechanic Labor GmbH ve Forschungszentrum Karlsruhe işbirliği ile geliştirilmiş “Fractometer” adlı bir cihaz mevcuttur (Mattheck vd., 1995; Götz vd., 2002; Lin vd., 2007). Fraktometer cihazı Şekil 3.5’te verilmiştir.



Şekil 3.5. Fraktometer cihazı görüntüsü

Bu çalışmada artım kalemleri ile direnç değerlerinin belirlenmesinde, Chih-Ming vd. (2006) ve Wang vd. (2008) tarafından uygulanan metoda paralel bir metod uygulanmış olup; Şekil 3.6’da görülen 5 mm’lik artım kalemleri öncelikle iklimlendirme kabineine yerleştirilip (20 C⁰, % 65 bağıl nem) % 12 denge rutubetine getirilmiştir.



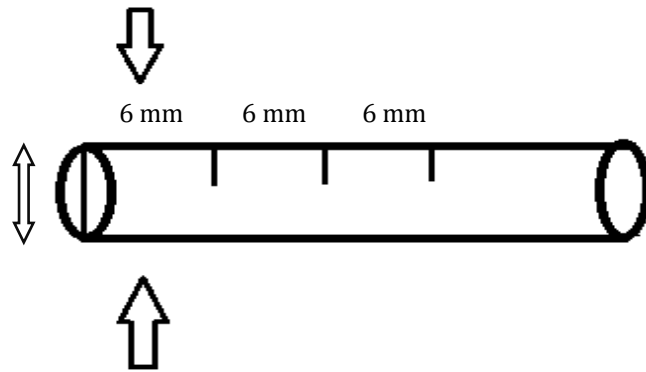
Şekil 3.6. Tezde kullanılan 5 mm’lik artım kalemlerine bir örnek

İklimlendirme kabini ekranında görünen sıcaklık ve bağıl nem değerlerini doğrulamak amaçlı rutubet ve sıcaklık ölçer cihazı iklimlendirme kabine yerleştirilerek ölçüm yapılmıştır (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. İklimlendirme kabini içindeki sıcaklık ve bağıl nemin ölçülmesi

Daha sonra artım kalemleri 6 mm'lik parçalara ayrılmıştır (Şekil 3.8). 6 mm'lik parçalara ayrılan artım kalemlerinin görüntüsü Şekil 3.9'da görüldüğü gibidir.

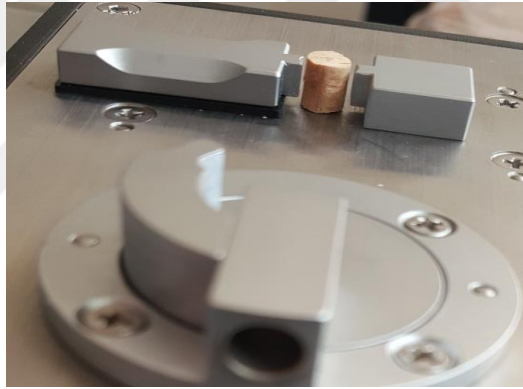


Şekil 3.8. Fraktometre ile yapılan ölçümlerin şematik diyagramı



Şekil 3.9. Fraktometre ölçümü için hazırlanan 6 mm'lik örneğin görüntüsü

Hazırlanan 6 mm'lik örnekler Şekil 3.10'da görüldüğü gibi fraktometre cihazının basınç direnci ölçüm istasyonuna yerleştirilmiştir.



Şekil 3.10. Örneğin ölçüm istasyonuna yerleştirilmesi

Daha sonra artım kalemlerinin Fractometer (Type II; IML, Germany) cihazı kullanılarak özden kabuğa doğru her 6 mm'de bir basınç direnci ölçümü Şekil 3.11'de görüldüğü gibi yapılmıştır.

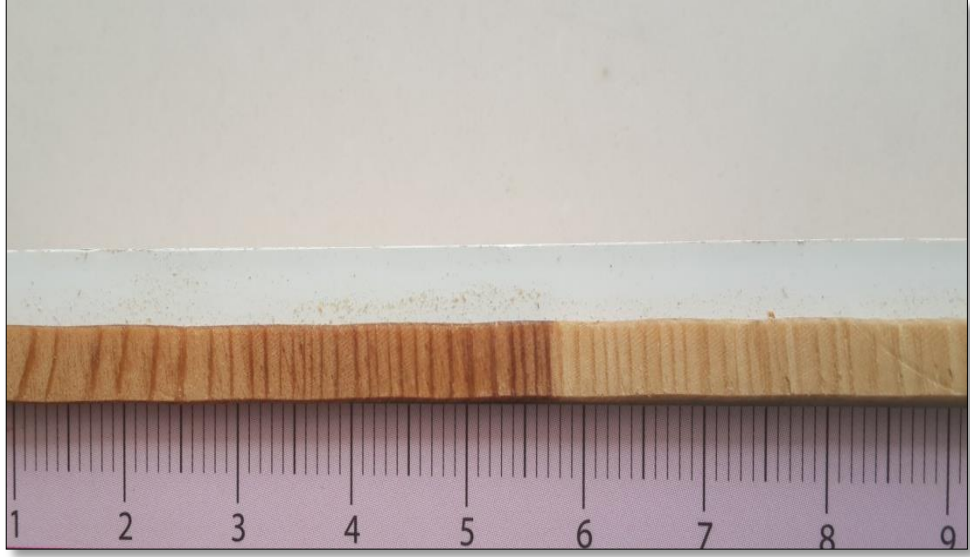


Şekil 3.11. Her 6 mm’de bir basınç direnci ölçümlerinin yapılması

Ölçümler yapıldıktan sonra elde edilen değerler excel programına girilmiş ve ayrı ayrı 3 grubun basınç direncinin değişim grafiği elde edilmiştir.

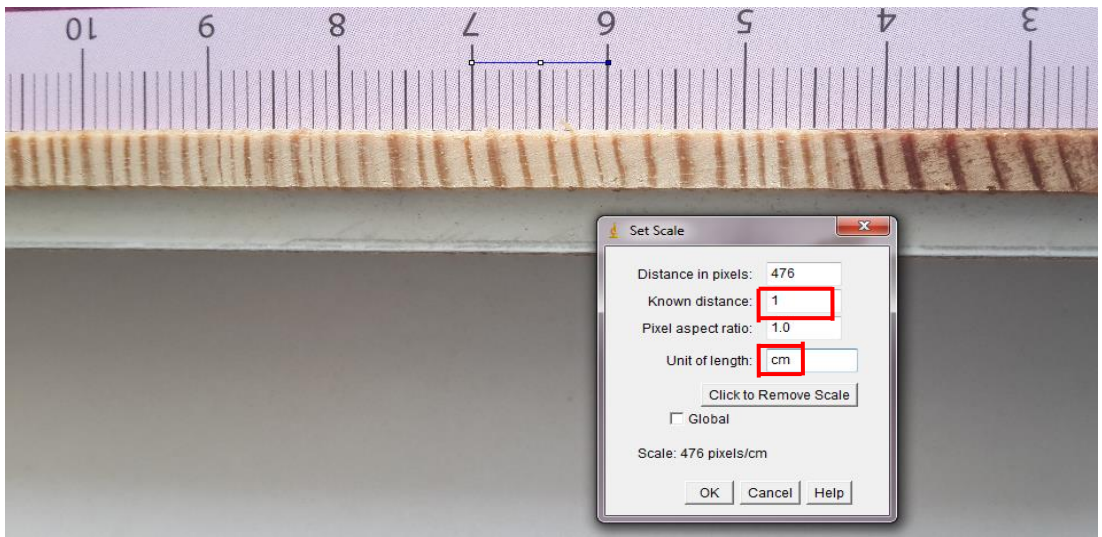
3.2.5. Yıllık halka özelliklerinin belirlenmesi

Bu çalışmada yıllık halka ile ilgili özelliklerin belirlenmesi için 5 mm’lik artım kalemleri kullanılmıştır. Artım kalemlerinin yüzeyinde yıllık halkaların belirgin olarak görülmesi için daire testere yardımıyla yüzeyler düzgünleştirilmiştir (Şekil 3.12). Daha sonra artım kalemlerinin dijital kamera ile görüntüleri çekilmiştir.



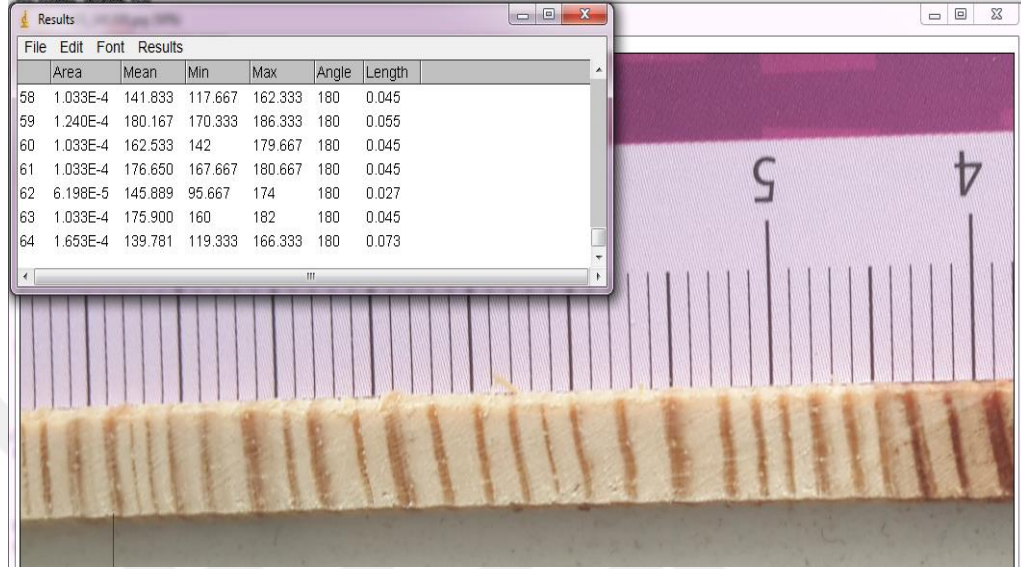
Şekil 3.12. Yüzeyi düzleştirilmiş artım kalemi görüntüsü

İncelenen örneklerin görüntülerinin bilgisayara aktarılması ve bu görüntüler üzerinde ölçüm ve değerlendirme yapılması için amaca uygun geliştirilmiş programlar vardır. Bu çalışmada görüntülerin analizi için resim analizi ya da resimden analiz etme olarak Türkçe'ye çevrilebilen İngilizce'de image analyses olarak adlandırılan kullanımı kolay ve ücretsiz olan "Image J" görüntü analiz programı kullanılmıştır. Görüntü analiz programında ölçüm yapmak üzere alınan görüntüler bilgisayara aktarılmıştır. Ölçümlere başlamadan önce görüntü üzerinde kalibrasyon işlemi yapılmıştır (Şekil 3.13).



Şekil 3.13. Kalibrasyon işlemi

Kalibrasyon işlemi gerçekleştirildikten sonra görüntüler üzerinde ilkbahar odunu ve yaz odunu genişliklerinin ölçümü yapılmış ve sonuçlar kaydedilmiştir (Şekil 3.14).



Şekil 3.14. Ölçüm sonuçlarının kaydedilmesi

Görüntü analizi programı ile elde edilen ilkbahar ve yaz odunu genişliği değerleri kullanılarak yaz odunu katılım oranı belirlenmiştir. Yaz odunu katılım oranı ise aşağıda verilen formüle göre elde edilmiştir (Güller (İçel), 2004).

$$YOKO = \frac{YOG}{YHG} \times 100 \quad (3.3)$$

Formülde;

YOKO : Yaz odunu katılım oranı (%)

YOG : Yaz odunu genişliği (mm)

YHG : Yıllık halka genişliği (mm)

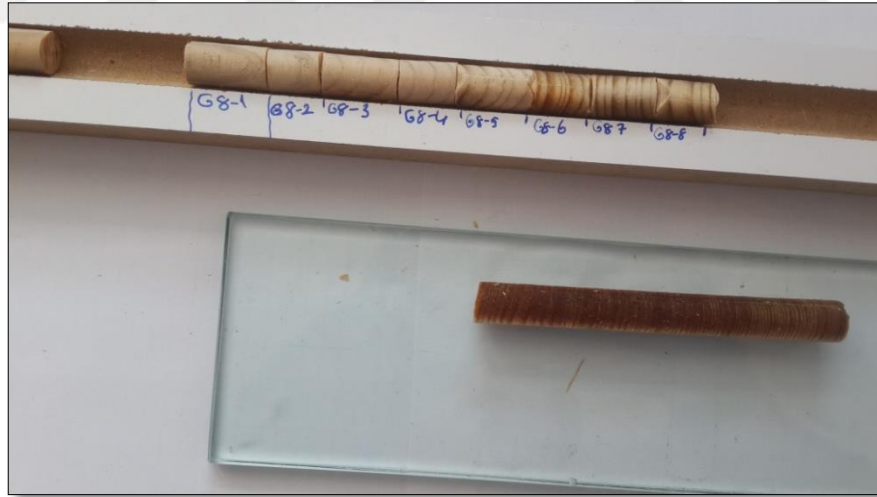
Çalışma sonucunda elde edilen veriler değerlendirilerek P (9 örnek), G (9 örnek) ve T (9 örnek) gruplarının ortalama yaz odunu katılım oranı grafikleri çizilmiştir.

3.2.6. Hücre çeper kalınlığı ölçümleri

3.2.6.1. Örneklerin hazırlanması

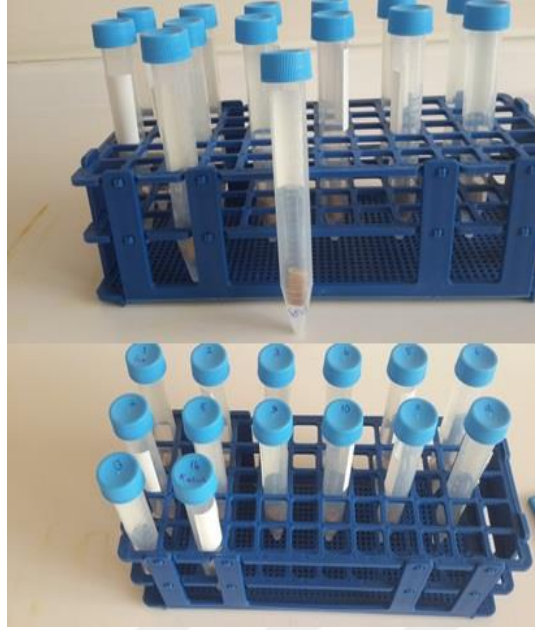
Hücre çeper kalınlığı ölçümleri için ağaçta 1.30 m yükseklikten alınan 10 mm'lik artım kalemleri kullanılmıştır.

Mevcut olan mikrotomun optimum kesim boyu 1.5 cm dir. Bu nedenle örnekler, özden kabuğa doğru parçalar yaklaşık olarak 1.5 cm olacak şekilde (ilkbahar ve yaz odunu ortasına denk getirmemek şartıyla) boyutlandırılmıştır. Boyutlandırma işleminden sonra artım kalemlerinin görüntüsü Şekil 3.15'de verilmiştir.



Şekil 3.15. Anatomik kesitler için artım kalemlerinin boyutlandırılması işlemi

Örnekler özden kabuğa doğru numaralandırılmış ve tüplere yerleştirilmiştir (Şekil 3.16).



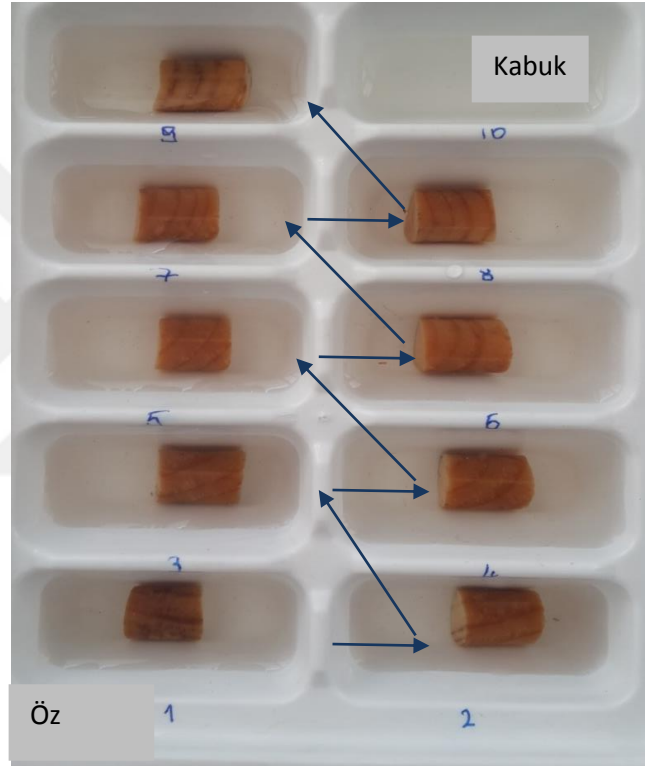
Şekil 3.16. Tüplere yerleştirilen örnekler

Kesit alma işlemine başlamadan önce, odun numunelerinin hazırlanması ve yumuşatılması gerekmektedir (Bozkurt ve Erdin, 2000). Bu nedenle örneklerin her biri tüplerden çıkartılıp içi saf su dolu beherlere kaynamak üzere bırakılmıştır (Şekil 3.17).



Şekil 3.17. Örneklerin kaynatılması

Örnekler çökünceye kadar yaklaşık olarak 4-5 saat süre ile kaynatma işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu süre ön denemeye belirlenmiştir. Tez örnekleri çalışılırken 4. saatin sonunda kesimle ilgili kontrol yapılmış, rahat çalışılan örnekler için kaynatma işlemi sona erdirilmiş, kesme işleminde bu süre sonunda kaynatmanın yeterli olmadığı düşünülen örnekler için 5 saate kadar bu şekildeki kontrollerle kaynatma süresi devam ettirilmiştir. Tezde 5 saatin üzerinde bir kaynatma işlemine gerek olmamıştır. Kaynatma işlemi sona erdikten sonra örnekler özden kabuğa doğru sırası ile dizilmiştir (Şekil 3.18).



Şekil 3.18. Özden kabuğa doğru örneklerin yerleştirilmesi

Örnekler kesişe hazır hale getirildikten sonra kesit alımı aşamasına geçilmiştir.

3.2.6.2. Mikroskopik kesitlerin hazırlanması

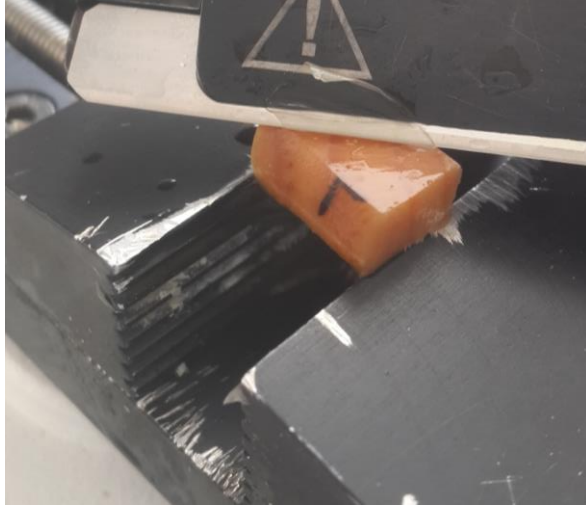
Preparat hazırlamada en önemli işlemlerden biri kesit almaktır. Odunsu dokulardan mikrotom adı verilen bir alet yardımıyla çok ince kesitler alınabilmektedir (Bozkurt ve Erdin, 2000). Bu çalışmada kesit alma işlemi

kızaklı mikrotom yardımıyla yapılmıştır. 1.5 cm uzunluğundaki örnekler mikrotoma sıkıca tespit edilmiştir (Şekil 3.19).



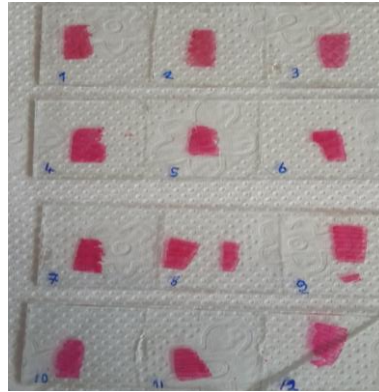
Şekil 3.19. Örneklerin mikrotoma yerleştirilmesi

Genel olarak mikrotom ile alınan kesitler 10-20 mikron kalınlığındadır (Merev, 2003). Bazen özel maksatlar için daha ince kesitler kullanılmaktadır. Mikrotom bıçağının tespit ettiği bıçak tutma tertibatı, mikrotomun ön kısmına yerleştirilmiş taksimatlı çubuğa 2 defa çarptırılmak suretiyle arzu edilen kesit kalınlığını otomatik olarak temin etmek mümkündür (Bozkurt ve Erdin, 2000). Bu çalışmada mikrotoma sıkıca tespit edilen örneğin yüzeyi kesit almadan önce birkaç kere bıçağın orta kısmı yardımı ile düzleştirilmiştir. Kesiş esnasında hem bıçak hem de odun örneğinin yüzeyi % 70'lik alkolle doygun halde tutularak kalınlığı 10-20 mikron olmak suretiyle kesitler alınmıştır (Şekil 3.20).



Şekil 3.20. Anatomik kesitlerin elde edilmesi

Mikrotom kullanılarak alınan kesitler 5 dakika boyunca % 1'lik safranin eriyiğinde bekletilmiş ve boya suya çıkmayınca kadar destile su ile yıkanmıştır. Daha sonra 10'ar dakika, sıra ile % 40'lık alkol, % 80'lik alkol, % 100'lük alkol, alkol+ksilol (1:1) ve saf ksilolde bekletilmiştir (Bozkurt ve Erdin, 2000). Boyama işlemi biten kesitlerin mikroskopta incelenmesi için yapıştırıcı yardımıyla kalıcı preparatlar hazırlanmış ve kodları yazılmıştır (Şekil 3.21).

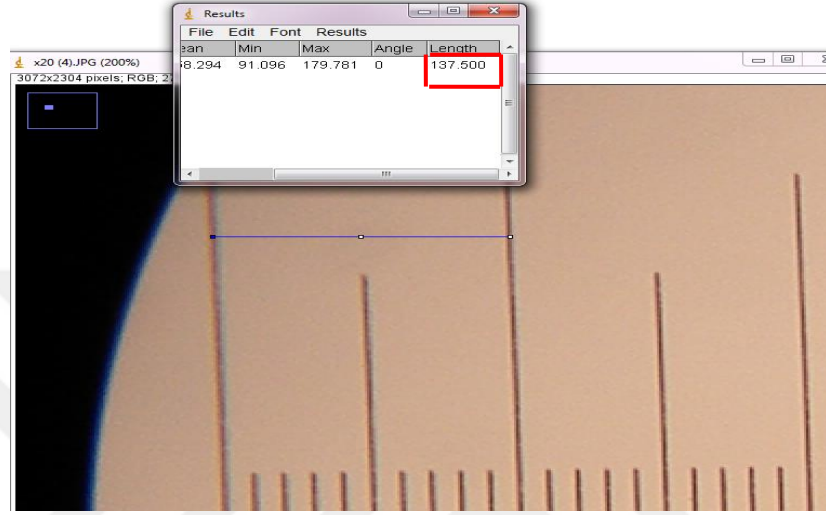


Şekil 3.21. Kalıcı preparatların görüntüsü

3.2.6.3. Mikroskopta görüntülerin alınması ve çeper kalınlığı ölçümü

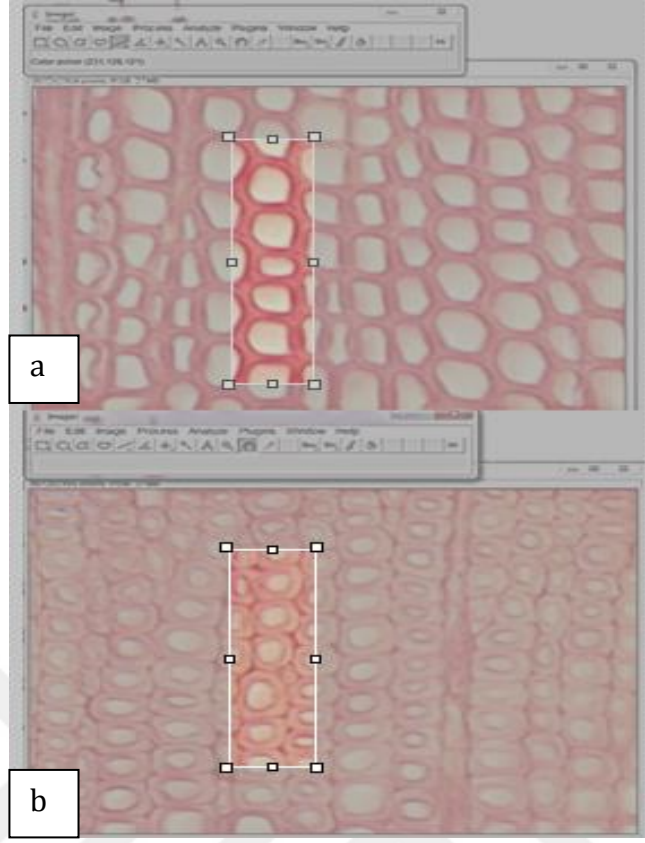
Hazırlanan preparatlar, görüntüleri alınmak üzere tablaya yerleştirilmiş ve digital kamera ile görüntüleri (x20 objektif ile) alınmıştır.

Hücre çeper kalınlığı ölçümlerinde 'Image J' görüntü analiz programı kullanılmıştır. Ölçümler yapılmadan önce programda kalibrasyon işlemi gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.22). Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesinde bulunan görüntü analiz sistemi ile alınan görüntüler, bilgisayara aktarılıp ölçümler yapılmıştır.

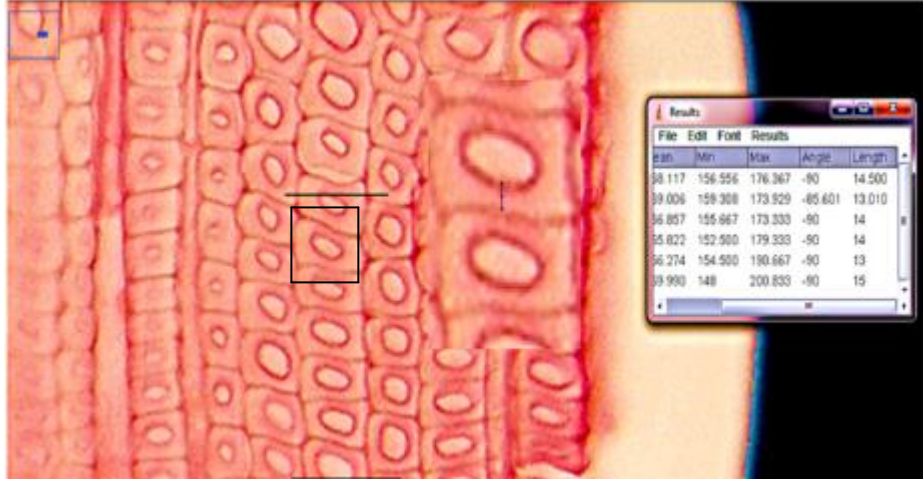


Şekil 3.22. Kalibrasyon işlemi

Kalibrasyon işleminin ardından çeper kalınlığı ölçümü için; ilkbahar (3.23 a) ve yaz (3.23 b) odunundan 5 'er traheid olmak üzere 1 yıllık halkada toplam 10 traheid üzerinde radyal çeper kalınlığı ölçümü yapılmıştır (Şekil 3.24). Tezde geçen tüm ifadeler radyal çeper kalınlığıdır.



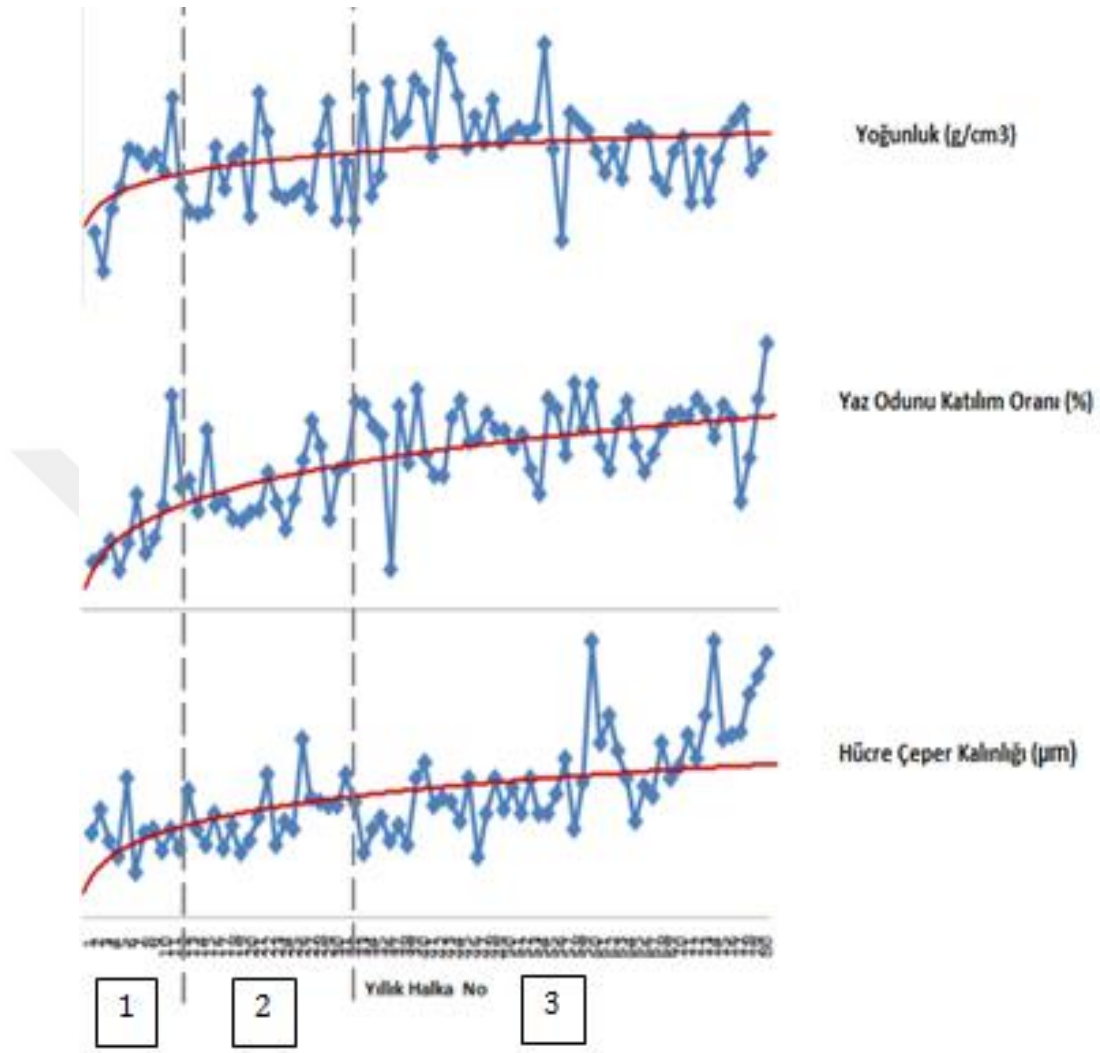
Şekil 3.23. Çeper kalınlığı ölçümü yapılacak hücreleri belirleme



Şekil 3.24. Hücre çeper kalınlığı ölçümlerinin yapılması

Hücre çeper kalınlığı ölçümleri yapıldıktan sonra P, T ve G gruparı için hücre çeper kalınlığı değişim grafikleri çizilmiştir. Grafikler çizildikten sonra P, T ve G grubu yoğunluk, hücre çeper kalınlığı ve yaz odunu katılım oranı grafikleri birleştirilip genç odun periyodu (1 numara) belirlenmiştir (Şekil 3.25). Grup

ortalamaları alınıp grafler çizilirken en az yıllık halkaya sahip olan artım kalemine göre yıllık halka sayısı sabitlenmiştir.



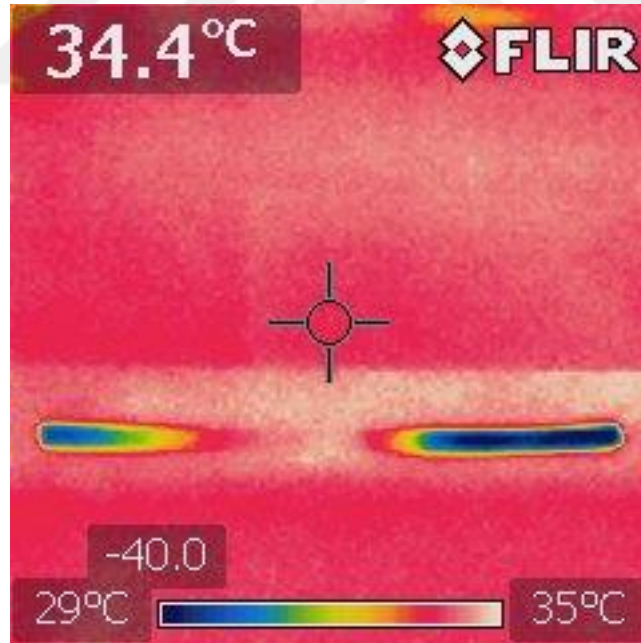
Şekil 3.25. Genç odun kısmının belirlenmesi

3.2.7. Termal görüntülerin elde edilmesi, IR ölçümler ve değerlendirme

Bu çalışma gerçekleştirilmeden önce tez danışmanı, TÜBİTAK tarafından desteklenen 1100560 no'lu "Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.)'da Dikili Haldeki Ağaçlarda Odun Yoğunluğu ve Yıllık Halka Karakterlerinin Tahribatsız Yöntemlerle Belirlenmesi" adlı proje ile termal görüntüler üzerinde analizler yapılarak odunun (yıllık halka bazında) genç odun kısmının belirlenebileceği kanısına varmıştır. Bu nedenle öncelikle kendisinin deneyimleri, daha sonra

ağaçlarda/odunda termal kameralarla gerçekleştirilen çalışmalarda öneriler dikkate alınarak tezin ön denemeleri gerçekleştirilmiştir.

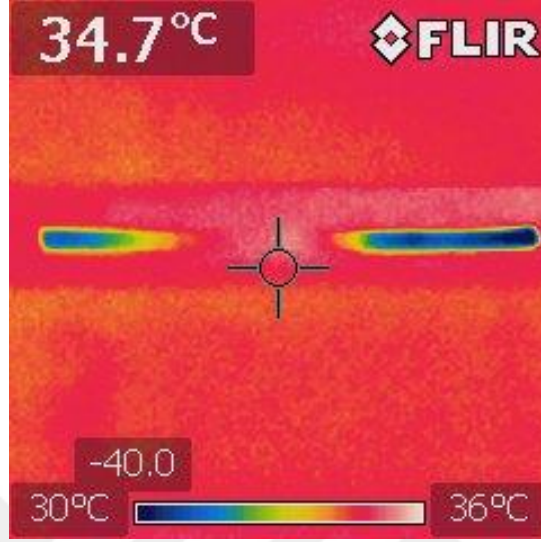
Tez danışmanı tarafından yapılan projede örnekler koruyucu kaplarda laboratuvara getirilerek laboratuvar şartlarında IR çekimler gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada ise işlemlerin arazide gerçekleştirilmesi amaçlandığı için ön denemelerde öncelikle örnekler alındıktan hemen sonra termal kamera görüntüleri alınmış ve görüntüler değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonucunda artım burgularında döndürme etkisi ve zorlanmalarla meydana gelen ısınmalar sebebiyle görüntülerin genç odun periyodunun belirlenebilmesine uygun olmadığı görülmüştür (Şekil 3.26). Bu nedenle her bir artım kalemi plastik tüplerde olmak üzere, taşınabilir soğutucu kaplarda (cooler bag) ve farklı sürelerde bekletilerek IR görüntüler çekilmiştir. Yaklaşık olarak 1 saat bekletilen örneklerde genç odun kısmına işaret ettiği öngörülen görüntüler elde edilmiştir.



Şekil 3.26. Arazide artım kalemi alındıktan hemen sonra çekilen termal kamera görüntüsü

Ayrıca tez danışmanı Bilgin İÇEL tarafından daha önce yapılan çalışmada kusur (çürüklük, budak, kabuk kalıntısı vb.) içeren örneklerden elde edilen IR görüntülerde genç odun periyodunun belirlenmesinde başarılı sonuçlar elde

edilmemiştir. Bu çalışmada da yapılan ön denemelerde kusurlu örneklerden alınan termal kamera görüntülerinin kullanılabilir olamayacağı teyit edilmiştir (Şekil 3.27).



Şekil 3.27. Kusurlu örneğin termal kamera görüntüsü

Yapılan ön denemelerin sonrasında arazi çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Çalışmalarda 1.30 m yükseklikten alınan artım kalemleri edinilen tecrübeye dayanılarak soğutucu kaplarda özel soğutucu kalıplarla (2-4 °C) 1 saat süreyle bekletme işlemi gerçekleştirildikten sonra IR görüntüleri alınmıştır (Şekil 3.28).



Şekil 3.28. Arazide IR görüntülerin alınması

Termal görüntüleri elde etmek için Çizelge 3.1’de özellikleri verilen termal kamera kullanılmıştır.

Çizelge 3.1. Ölçümlerde kullanılan termal kameranın özellikleri (URL 5)

Termal Kamera Özellikleri	
Saklama Sıcaklığı	-40°C +70°C
Çalışma Sıcaklığı	-15°C +50°C
Batarya tipi	Hızlı şarj olan, Li - iyon pil
Ömür	5 saat
Ağırlık	0.34 kg
Boyut	223 mm x 79 mm x 83 mm
Ölçüm Aralığı	-20°C ile +250°C arası

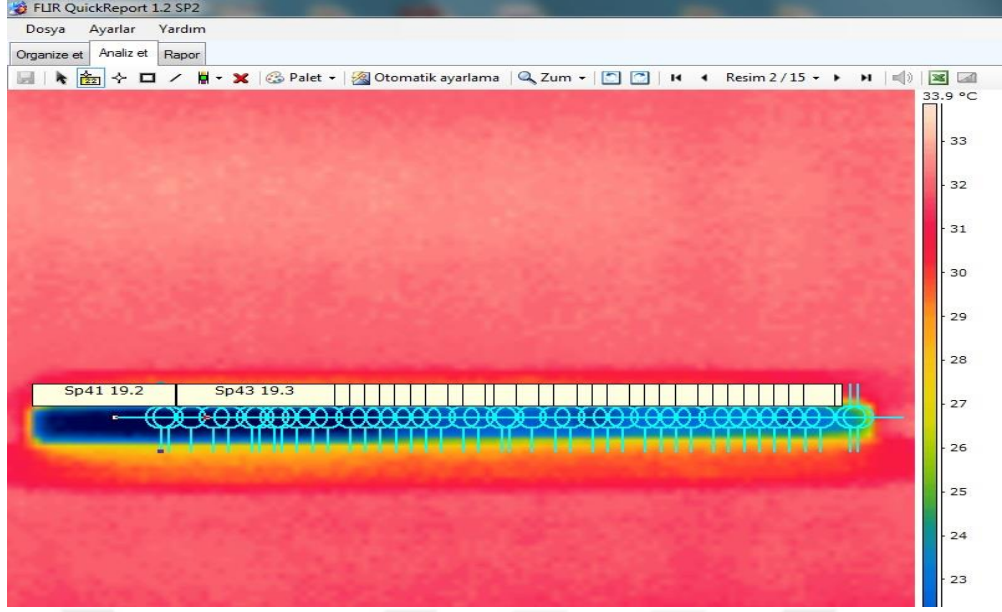
Daha sonra üzerine etanol (% 70) püskürtülmüş ve plastik koruyuculara konularak etiketlenmiştir. Arazi çalışması süresince gününbirlik hazır bulunan ve özel soğutucu kalıplarla soğutulan elde taşınabilir soğutucu kaplarda saklanmıştır.

Arazi çalışmasının ardından artım kalemleri Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesine getirilip gerçek görüntüleri elde edilmiştir (Şekil 3.29).



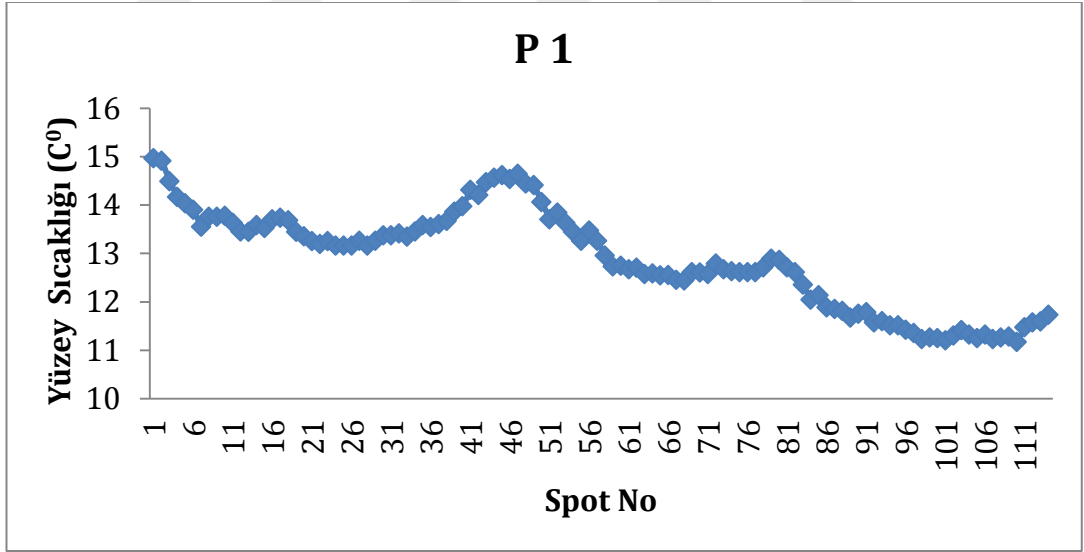
Şekil 3.29. Artım kalemlerinin gerçek görüntülerinin elde edilmesi

Elde edilen görüntülerin değerlendirilmesinde termal kameranın yazılımı (FLIR quick report) ve görüntü analizi tekniği kullanılmıştır. Arazi çalışmaları sırasında artım kalemleri alındıktan sonra ortam sıcaklık ve bağıl nem değerleri not edilmiştir. Bu değerler termal kamera yazılım programında ölçümler sırasında kullanılmıştır. Daha sonra artım kalemleri yüzey sıcaklığı ölçümleri yapılmıştır (Şekil 3.30).



Şekil 3.30. Sıcaklık taramasının yapılması

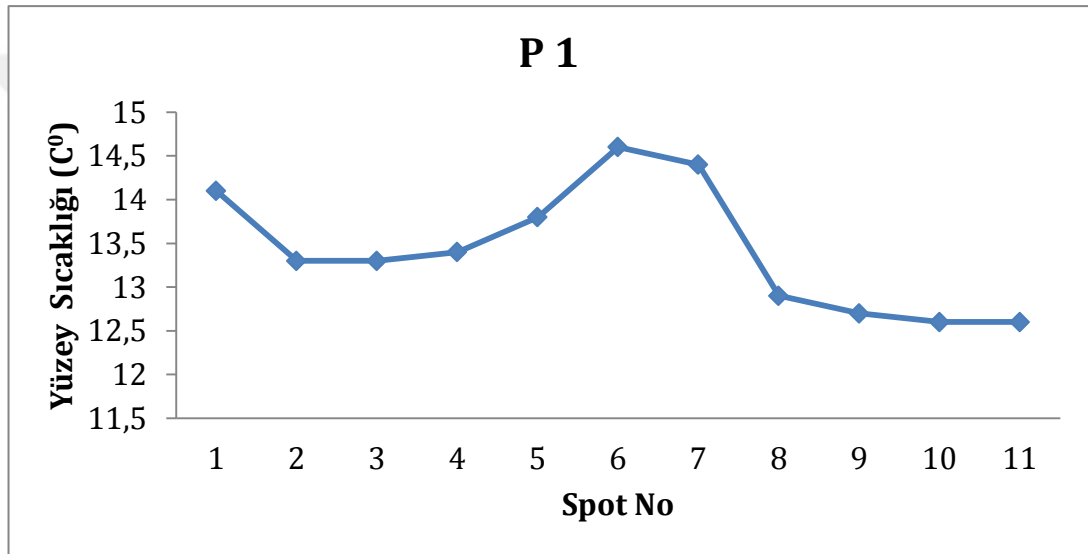
Yapılan ölçüm sonrasında sıcaklık değerleri değişim grafiği çizilmiştir. Çizilen grafiğin bir örneği aşağıda verilmiştir (Şekil 3.31).



Şekil 3.31. Artım kalemi üzerinde yüzey sıcaklığı değişim grafiği (P1)

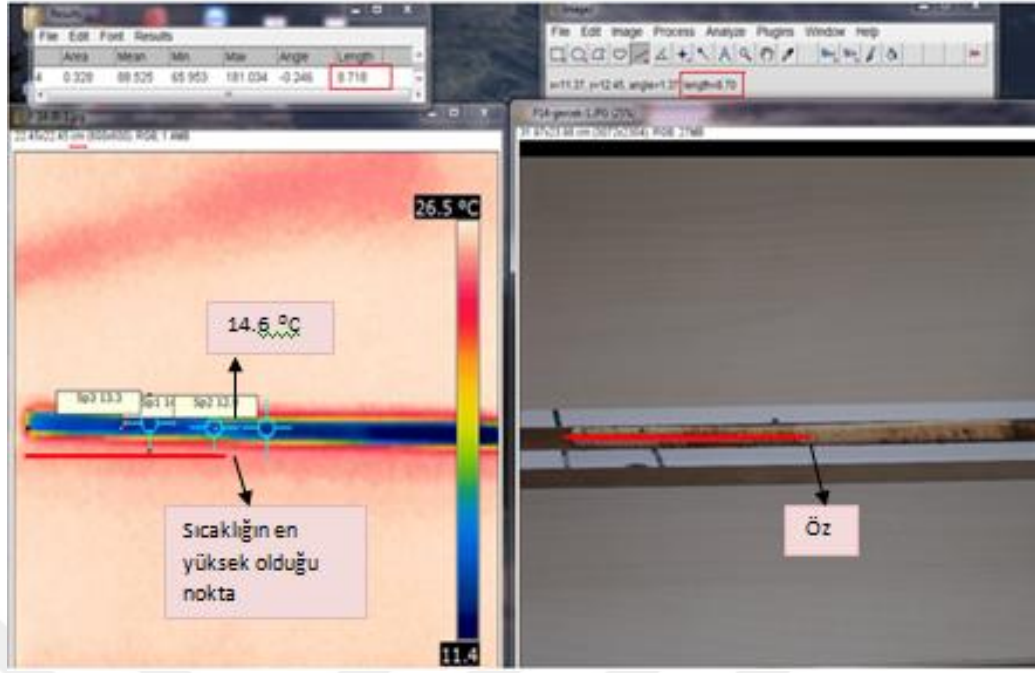
Bu çalışmanın hareket noktası tez danışmanının ortaya attığı ve genç odun-olgun odun arasında mevcut olan rutubet farklılığının odun örneklerinin yüzey sıcaklıklarında farklılık oluşturacağı ve bununda termografi yöntemi ile tespit edilebileceği görüşüdür. Bu nedenle örnekler üzerinde yüzey sıcaklıkları belirlendikten sonra elde edilen grafiklerde sıcaklığın en yüksek olduğu

noktanın öz, bu noktanın sağında ve solunda sıcaklığın sabitlendiği noktaların ise genç odun kısmının bitişi, olgun oduna geçişin başlangıcı olarak tahmin edilmiştir. Hat şeklinde yapılan tüm yüzeý sıcaklığı tarama değerleri çok fazla sayıda veri iğerdiği için, daha anlaşılır grafikler elde etmek için yüzeý sıcaklıkları ölçümleri imleç kaydırılarak termal kamera görüntüsü üzerinde sıcaklık taraması yapılmış ve grafiğin daha sadeleşmesini sağlayacak noktalar seçilmiştir. Bu noktalar; sıcaklığın en yüksek olduğu nokta, bu noktanın sağında ve solunda sıcaklığın sabitlenmeye başladığı noktalardır. Bu verilerle seçilen noktaların sıcaklık grafiği çizilmiştir (şekil 3.32).



řekil 3.32. Artım kalemi üzerinde sadeleřtirilmiř yüzeý sıcaklıđı deđiřim grafiđi (P1)

Seçilen noktaların konumları "Image J" görüntü analiz programı kullanılarak örneğin gerçek görüntüsü üzerinde belirlenmiştir (şekil 3.33).



Şekil 3.33. Termal kamera ile dijital kamera (artım kalemi gerçek görüntüsü) görüntüsünün karşılaştırılması

Bu çalışmada arazi şartlarında örneklerin rutubet içeriklerini koruması sağlanarak IR çekimler yapılmıştır. Akla gelebilecek bir soru ise kurumuş, rutubetini kaybetmiş artım kalemleri üzerinde aynı yöntemin başarılı bir şekilde uygulanıp uygulanamayacağı olabilir. Bu nedenle çalışmanın sonunda kullanılan 10 mm'lik artım kalemleri laboratuvar şartlarında kurutulduktan sonra, plastik borular içerisinde suya batırılarak (3 gün) nem içerikleri arttırılmıştır. Üç günün sonunda artım kalemleri boruların içinden çıkarılıp Şekil 3.34'de görüldüğü gibi termal kamera görüntüleri çekilmiş ve görüntü üzerinde yüzey sıcaklık taraması yapılarak sıcaklık değişim grafiği çizilmiştir.



Şekil 3.34. Islatılan artım kalemlerinin termal kamera kullanılarak çekimlerinin yapılması

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

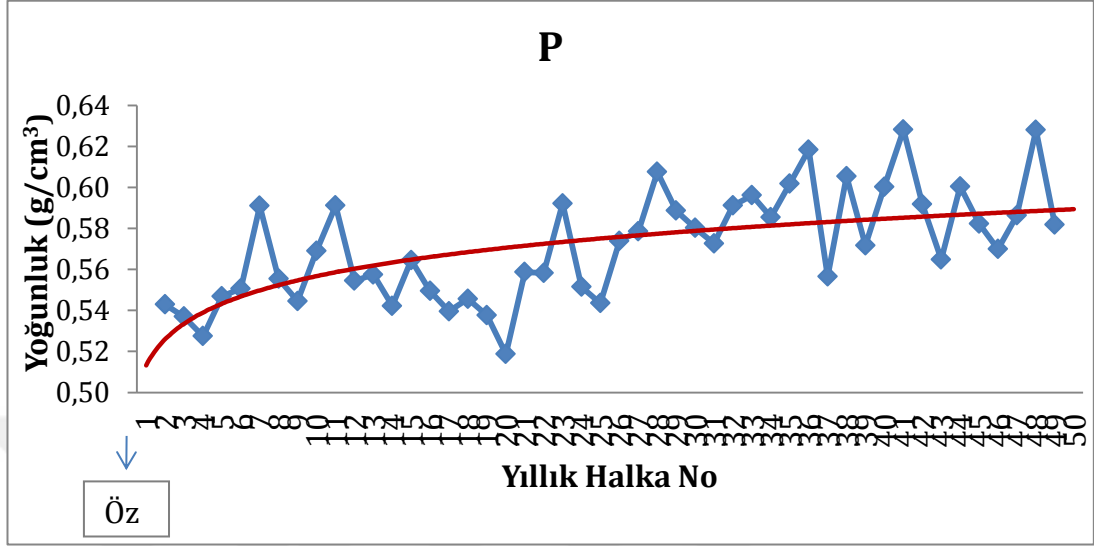
4.1. Yoğunluk (X-ray ölçümleri) Değeri Ölçümlerine Ait Bulgular

Yapılan bu çalışmada odun yoğunluğunun belirlenmesinde X-ray ile yoğunluk belirleme yöntemi kullanılmıştır. Ölçülen yıllık halka yoğunluğu değerlerinden yararlanılarak yıllık halka alanı ağırlıklı yoğunluk değeri hesaplanmış ancak ağırlıklı yoğunluk değeri ile yoğunluk değerleri arasında yapılan karşılaştırmada bir fark olmadığı görülmüştür (Çizelge 4.1).

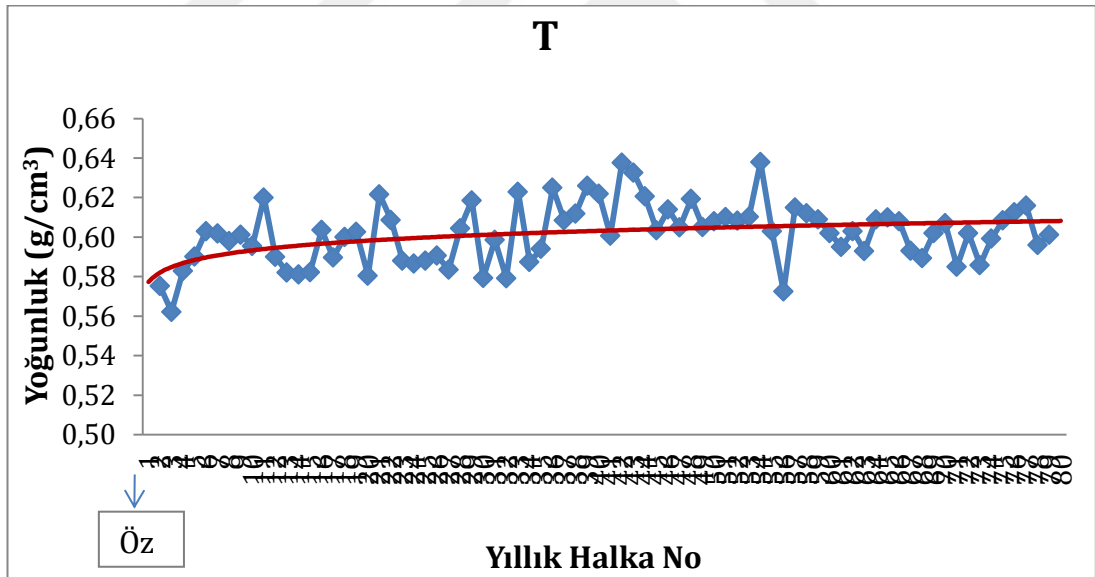
Çizelge 4.1. Yıllık halka alanı ağırlıklı yoğunluk değerleri ile yoğunluk değerlerinin karşılaştırılması

Yıllık halka yoğunluğu (g/cm ³)	RAWD (g/cm ³)
0.55	0.55
0.60	0.60
0.59	0.59
0.66	0.66
0.65	0.65
0.62	0.62
0.63	0.63
0.64	0.64
0.63	0.63
0.60	0.60
0.60	0.60
0.63	0.63
0.62	0.62
0.60	0.60
0.60	0.60
0.58	0.58
0.54	0.54
0.55	0.55
0.55	0.55
0.55	0.55
0.53	0.53
0.57	0.57
0.55	0.55
0.57	0.57
0.58	0.58
0.62	0.62
0.58	0.58
0.60	0.60

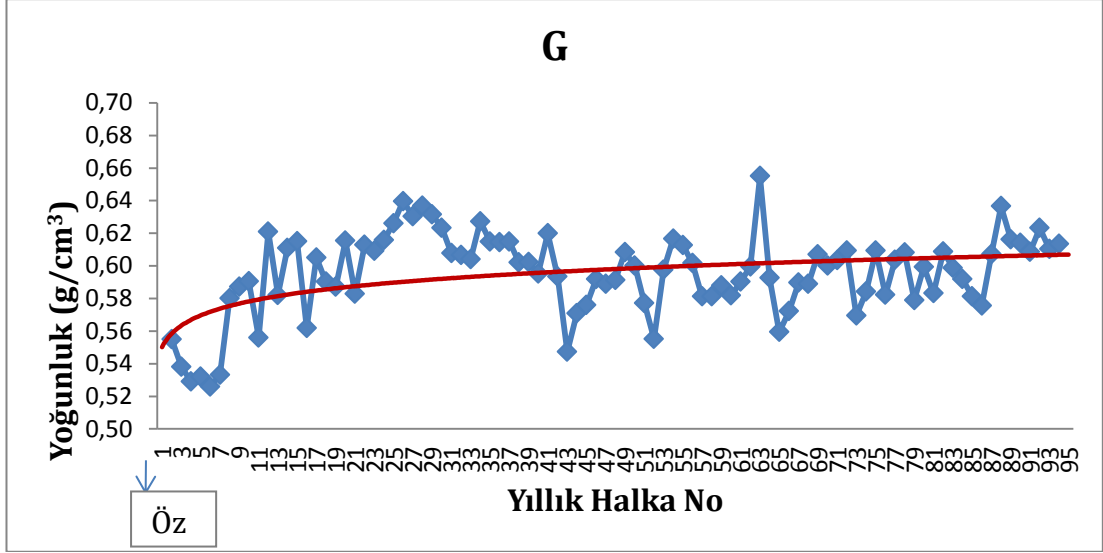
P, T ve G grupları verileri ayrı ayrı değerlendirilip yoğunluk değişim grafikleri çizilmiştir (Şekil 4.1, 4.2, 4.3).



Şekil 4.1. P grubu örneklerinin yoğunluk değişim grafiği



Şekil 4.2. T grubu örneklerinin yoğunluk değişim grafiği



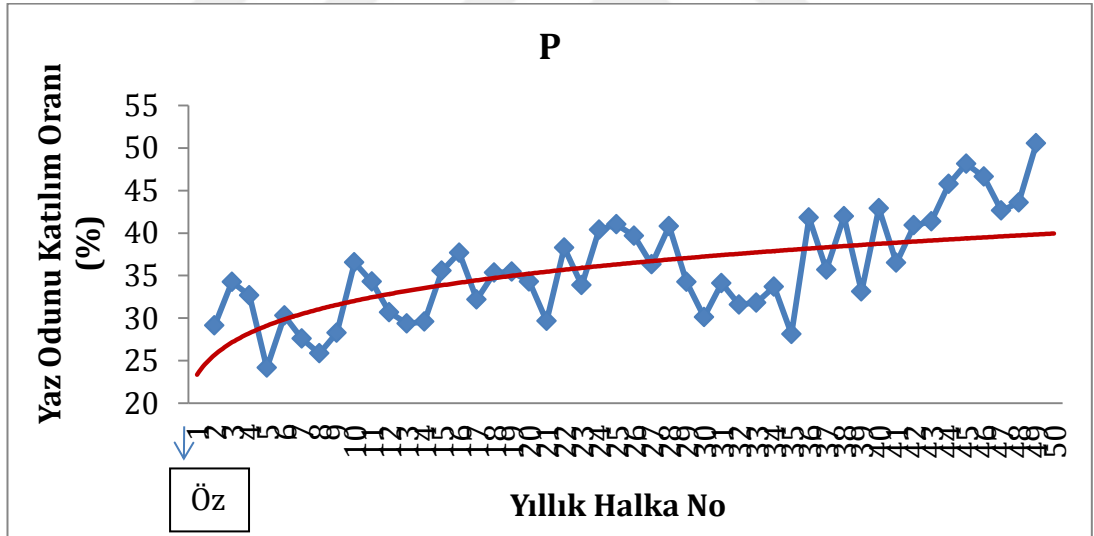
Şekil 4.3. G grubu örneklerinin yoğunluk değişim grafiği

Bu çalışmada yoğunluk değişimine göre yapılan değerlendirmede özden itibaren 11-13. yıllık halkalara kadar olan kısım genç odun periyodu olarak değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme literatüre paralellik göstermiştir. Kızılcım (*Pinus brutia* Ten.)'da yıllık halka bazında yoğunluk değişimini inceleyerek genç odun kısmını tanımlayan tek çalışma Güller vd. (2012) tarafından gerçekleştirilmiştir. Yapmış oldukları çalışmada 30 yaşındaki kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) odununda özden kabuğa doğru yoğunluk değişimini incelemiştirler. Yoğunluk değişimi grafiğinde özden itibaren 9-13. yıllık halkalara kadar yoğunluğun düşük olduğunu, bu yıllık halkalardan sonra artış gösterdiğini ve ilk 12 yıllık halkanın genç odun periyodu olduğunu belirtmişlerdir. Daha genç meşcereler üzerinde çalışmalarına rağmen, bu çalışma ile paralel sonuçlar göstermiştir. Cown (1992) yapmış olduğu çalışmada, 19 yaşındaki *Pinus radiata*'nın yıllık halka bazında yoğunluk değişimini incelediğinde özden itibaren 10-11. yıllık halkalara kadar yoğunluğun düşük olduğunu, bu yıllık halkalarda sonra artış gösterdiğini belirtmiş ve ilk 10 yıllık halkanın genç odun kısmı olduğunu tespit etmiştir. Sauter vd. (1999), 90 yaşında sarıçam (*Pinus sylvestris* L.)'ın yıllık halka bazında yoğunluk değişimini değerlendirmiş, 10. yıllık halkadan sonra yoğunluk değerlerinde artış olduğunu tespit etmiş ve genç odun kısmının ilk 10 yıllık halka olduğunu belirtmiştir. Amarasekara ve Denne (2002) yapmış oldukları çalışmada, özden kabuğa doğru yıllık halkalar bazında yoğunluk değişimini

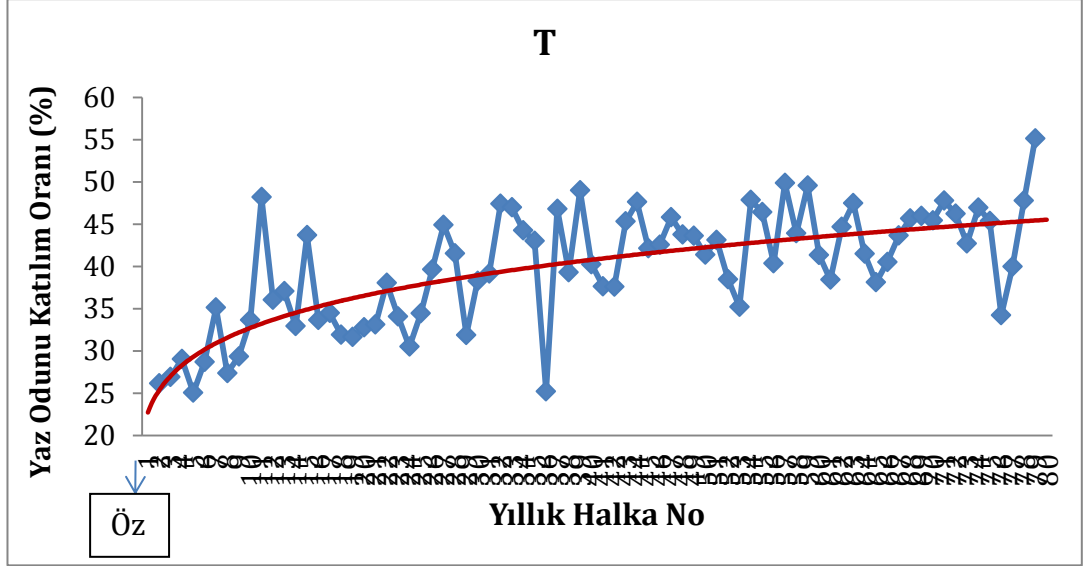
inceleyerek ladin'de genç odun kısmını belirlemeye çalışmışlardır. Yoğunluk değişim grafiği üzerinde özden itibaren ilk 12 yıllık halkada yoğunluğun düşük olduğunu, bu yıllık halkadan sonra yoğunluk değerinin artış gösterdiğini ve genç odun kısmının ilk 12 yıllık halka olduğunu belirlemişlerdir. Koubaa vd. (2005) yapmış olduğu çalışmada, ladinde özden itibaren ilk 9-11. yıllık halkalara kadar yoğunun daha düşük olduğunu belirtmiş ve 11. yıllık halkayı genç odundan olgun oduna geçiş halkası olarak nitelendirmiştir.

4.2. Yıllık Halka Özelliklerine Ait Bulgular

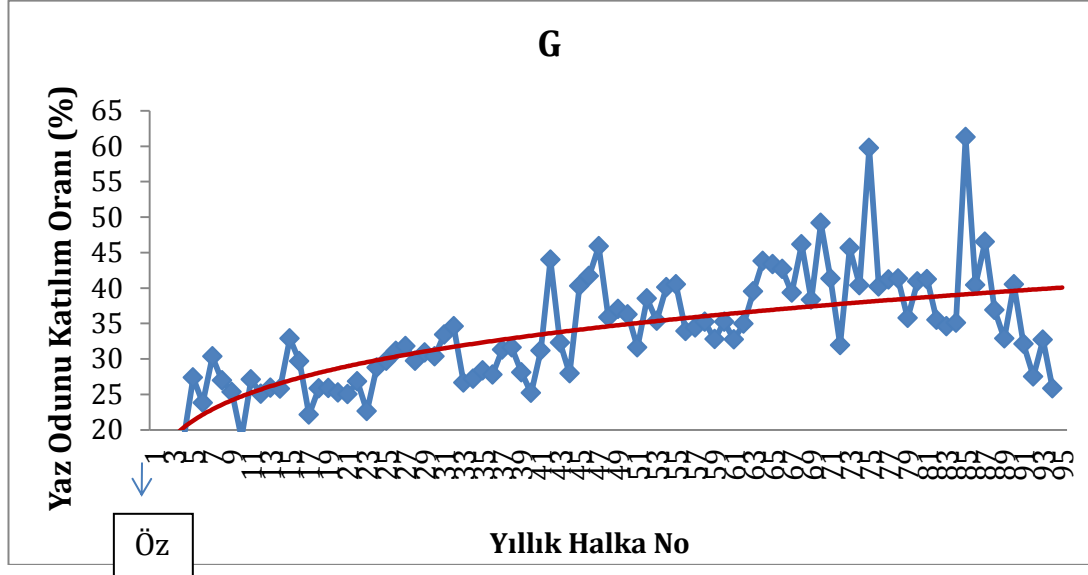
Yapılan bu çalışmada ilkbahar odunu genişliği, yaz odunu genişliği, yıllık halka genişlikleri belirlenmiş ve yaz odunu katılım oranı değerleri hesaplanarak P, G ve T grupları verileri ayrı ayrı değerlendirilip yaz odunu katılım oranı değişim grafiği verilmiştir (Şekil 4.4, Şekil 4.5, Şekil 4.6).



Şekil 4.4. P grubu örneklerinin yaz odunu katılım oranı değişim grafiği



Şekil 4.5. T grubu örneklerinin yaz odunu katılım oranı değişim grafiği



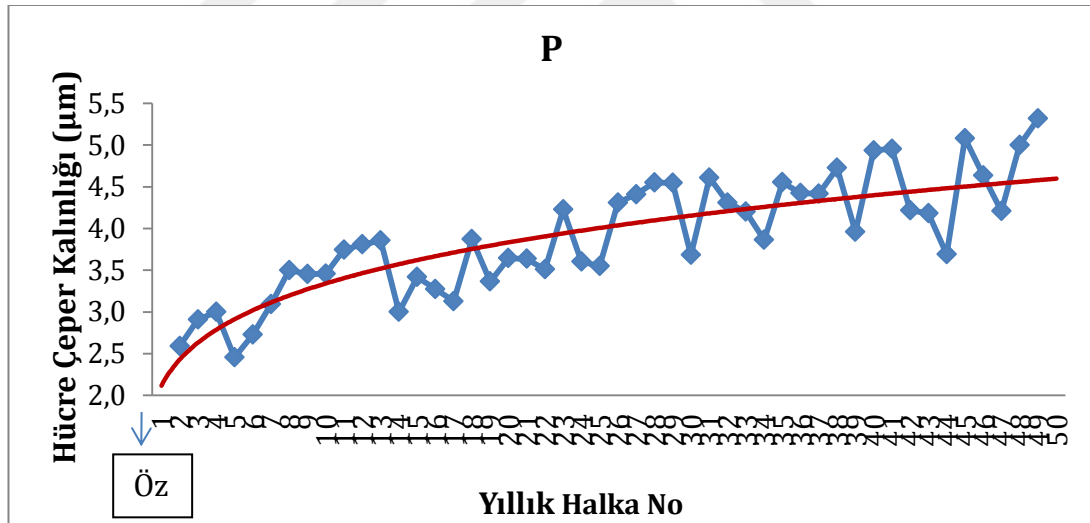
Şekil 4.6. G grubu örneklerinin yaz odunu katılım oranı değişim grafiği

Bu çalışmada yaz odunu katılım oranının özden itibaren ilk 12-13. yıllık halkalara kadar olan kısımda daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Literatürde kızılçamın yaz odunu katılım oranını belirleyerek genç odun periyodunu tanımlayan tek yayın Güller vd. (2012) tarafından yapılmıştır. Yapmış oldukları çalışmadan elde ettikleri bulgular bu çalışma ile örtüşmektedir. Genç meşcerelerden örneklerle çalışmalarına rağmen, paralel sonuçlar elde edilmiştir. Pikk ve Kask (2004) yapmış olduğu çalışmada farklı yüksekliklerden aldığı artım kalemlerinin yıllık halkalar bazında yaz odunu oranlarını değerlendirerek genç odun periyodunu tanımlamıştır. Çalışma neticesinde, 1.30

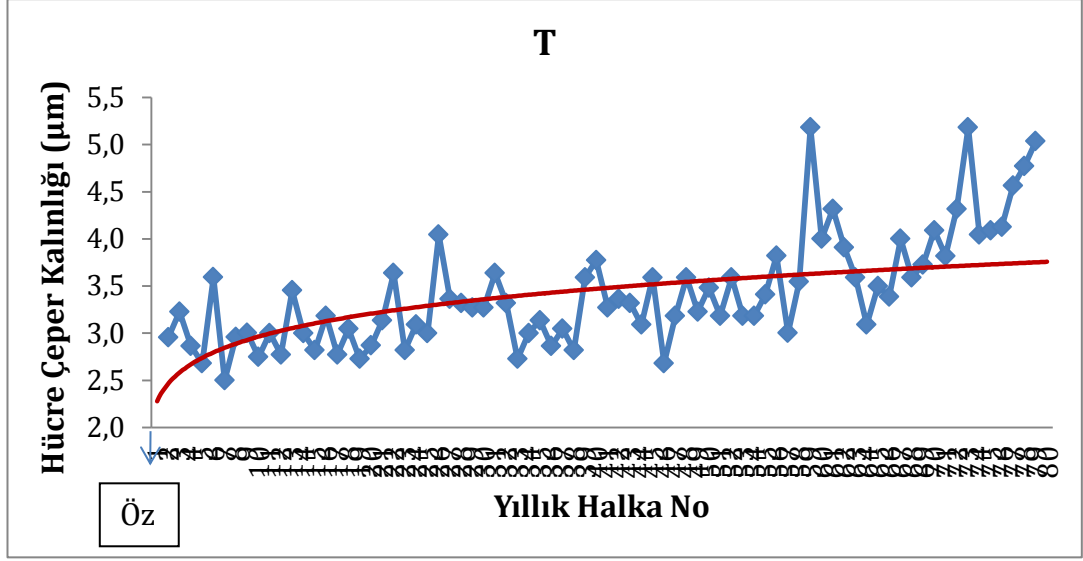
m yükseklikten alınan artım kalemlerinde yaz odunu oranının 12. yıllık halkadan sonra artış gösterdiğini belirlemişlerdir. Yang (2002) yapmış olduğu çalışmada, 3 farklı meşcereden ladin örneği alıp genç odun ve olgun odun kısımlarını belirlemiştir. Çalışmada 3 farklı meşcereden alınan örneklerde farklı bugular elde edilmiştir. Ancak bu çalışmada 3 farklı meşcereden örnekler alınmasına rağmen meşcereler arasında genç odun periyodu önemli farklılık göstermemiştir.

4.3. Hücre Çeper Kalınlığı Ölçümlerine Ait Bulgular

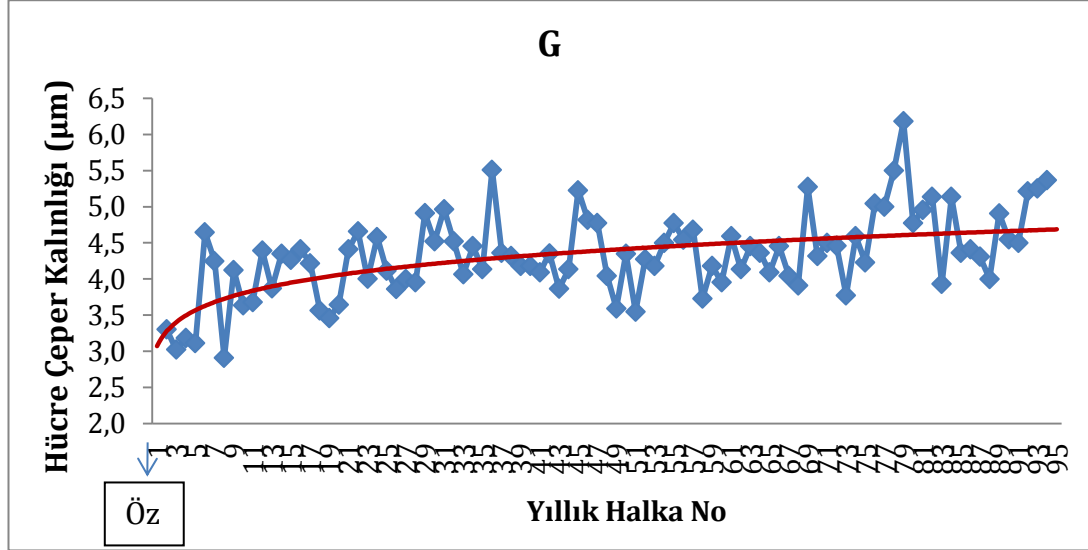
Yapılan bu çalışmada P, T ve G grubu örneklerinin hücre çeper kalınlıkları ölçülmüş ve her bir grubun ortalama çeper kalınlıkları belirlenmiştir. Bu grupların hücre çeper kalınlıklarının değişim grafikleri çizilmiştir (Şekil 4.7, Şekil 4.8, Şekil 4.9).



Şekil 4.7. P grubu örneklerinin hücre çeper kalınlığı değişim grafiği



Şekil 4.8. T grubu örneklerinin hücre çeper kalınlığı değişim grafiği



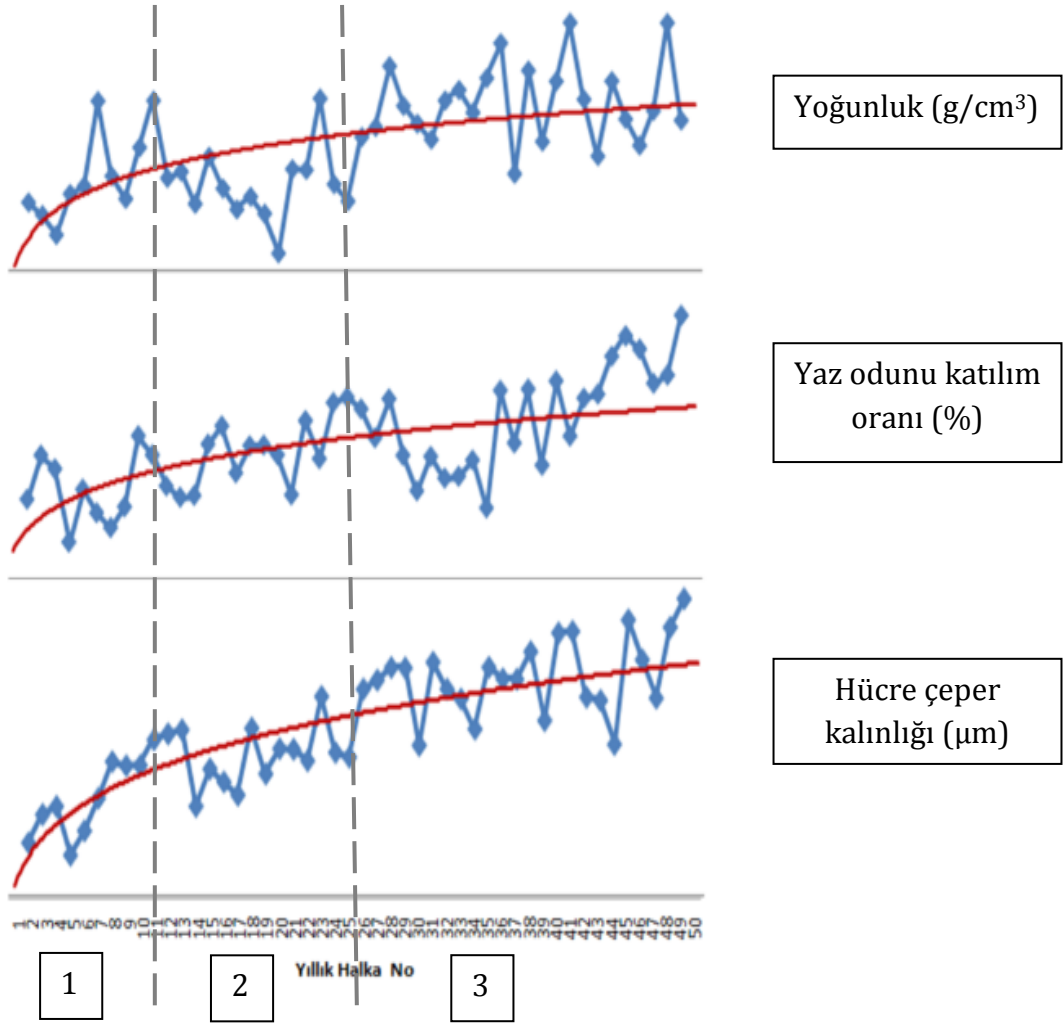
Şekil 4.9. G grubu örneklerinin hücre çeper kalınlığı değişim grafiği

Bu tezde yıllık halkalar bazında özden kabuğa doğru hücre çeper kalınlıkları ölçülmüş ve 12-13. yıllık halkalardan sonra hücre çeper kalınlığında artış olduğu belirlenmiştir. Göksel ve Özden (1993) yapmış oldukları çalışmada 35, 12 ve 9 yaşındaki kızılçam meşcerelerinde hücre çeper kalınlığını ölçmüş ve 35 yaşındaki kızılçamın ortalama hücre çeper kalınlığını 9.95 μm , 12 yaşındaki kızılçamın ortalama hücre çeper kalınlığını 7.25 μm ve 9 yaşındaki kızılçamın hücre çeper kalınlığını ise 11.17 μm tespit etmişlerdir. Görüldüğü gibi 9-12 yaş aralığındaki çeper kalınlığı daha düşükken ilerleyen yaşlarda çeper kalınlığı artmaktadır. Kızılçamda yaşa bağlı çeper kalınlığı değişimine literatürde

rastlanılmadığı için, farklı türlerde çeper kalınlığının yaşa bağılı değişimi ile ilgili çalışmalar incelenmiştir. Bao vd. (2001) yapmış oldukları çalışmada *Pinus taeda*'da genç odun kısmı hücre çeper kalınlığını 5.30 µm, olgun odun kısmının hücre çeper kalınlığını ise 5.80 µm tespit etmiştir. Bu tezde elde edilen bulgular Göksel ve Özden (1993) yapmış olduğu çalışmadaki ortalama hücre çeper kalınlığı değerlerinden düşük çıkmış ancak Güller (İçel) 2004 kızılçamda yapmış olduğu çalışmada elde ettiği bulgular ile paralellik göstermiştir.

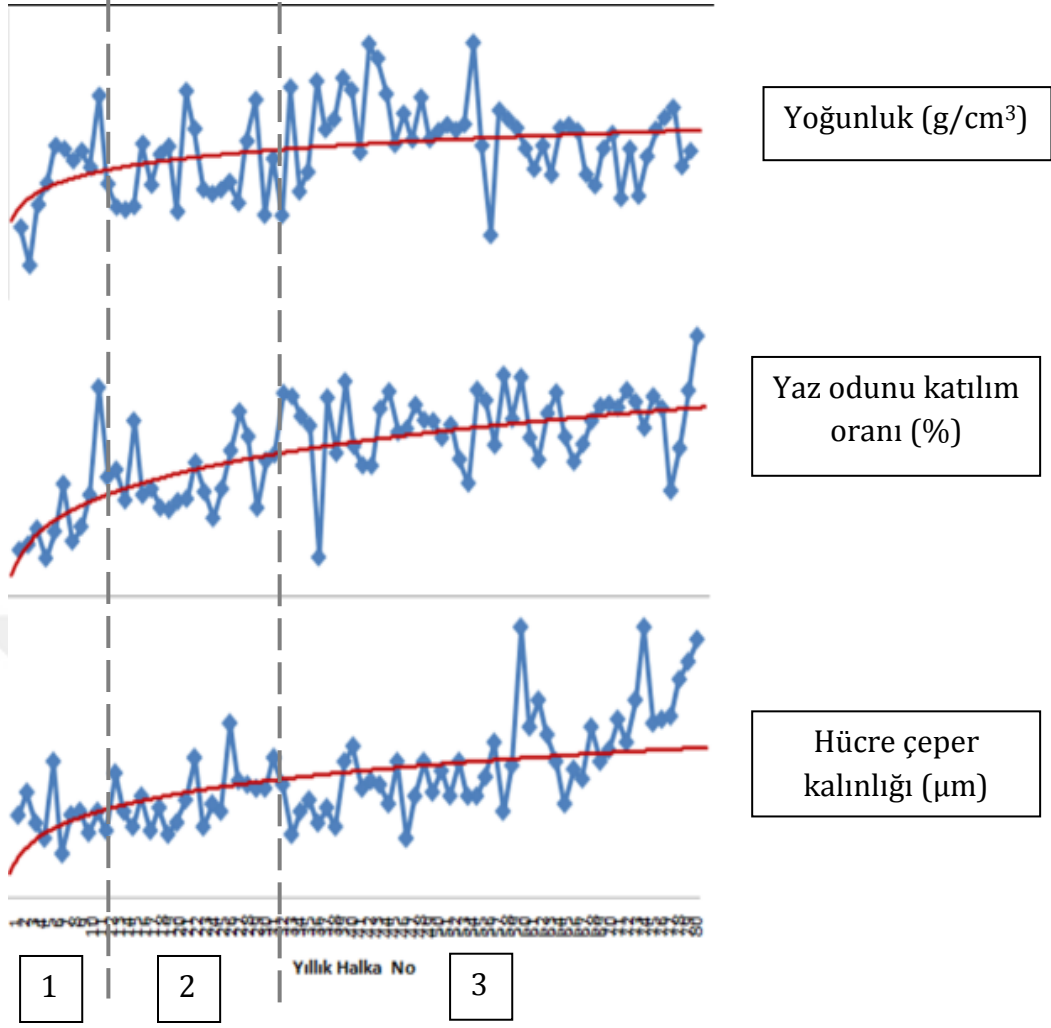
Yoğunluk, basınç direnci, yaz odunu katılım oranı ve hücre çeper kalınlığı ölçümleri bittikten sonra elde edilen grafikler bir araya getirilip genç odun kısmı belirlenmiştir (Şekil 4.10, Şekil 4.11, Şekil 4.12).



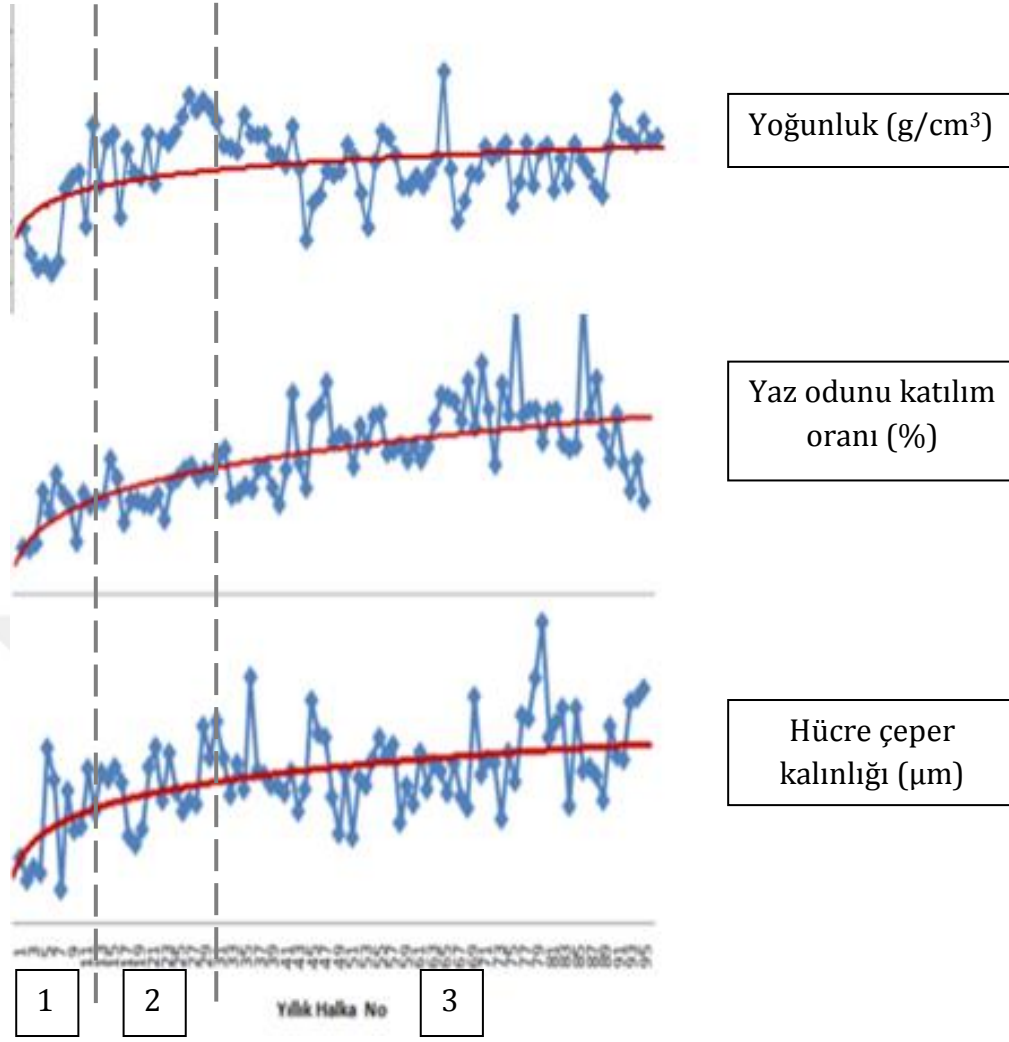


Şekil 4.10. P grubu örneklerine ait grafiklerin birleştirilmesi

Bu ve bundan sonra gösterilecek grafiklerde; genç odun kısmı 1, geçiş periyodu 2, olgun odun kısmı 3 numara olarak adlandırılmıştır.



Şekil 4.11. T grubu örneklerine ait grafiklerin birleştirilmesi

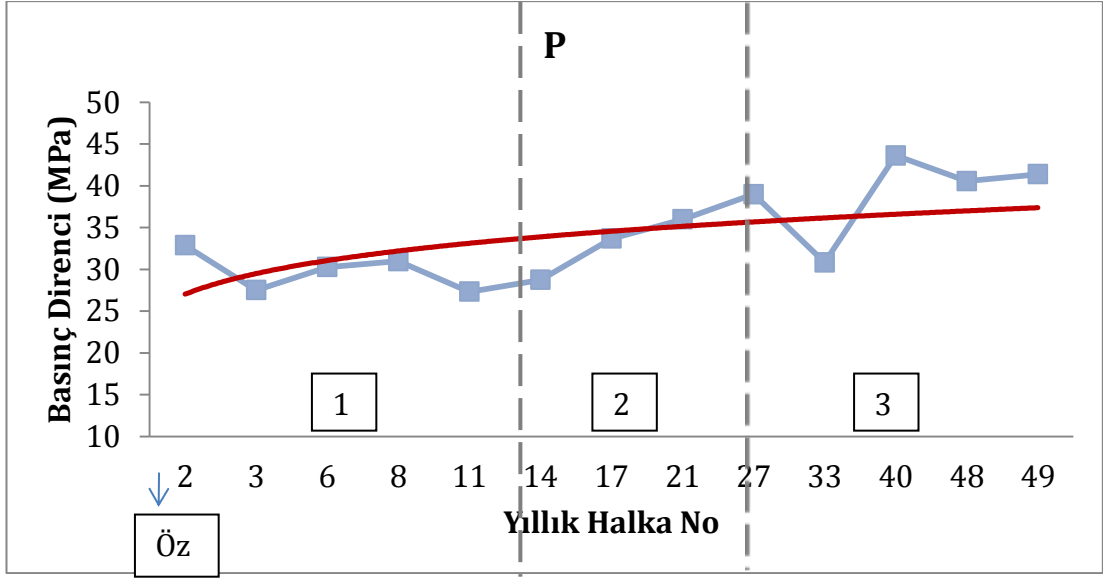


Şekil 4.12. G grubu örneklerine ait grafiklerin birleştirilmesi

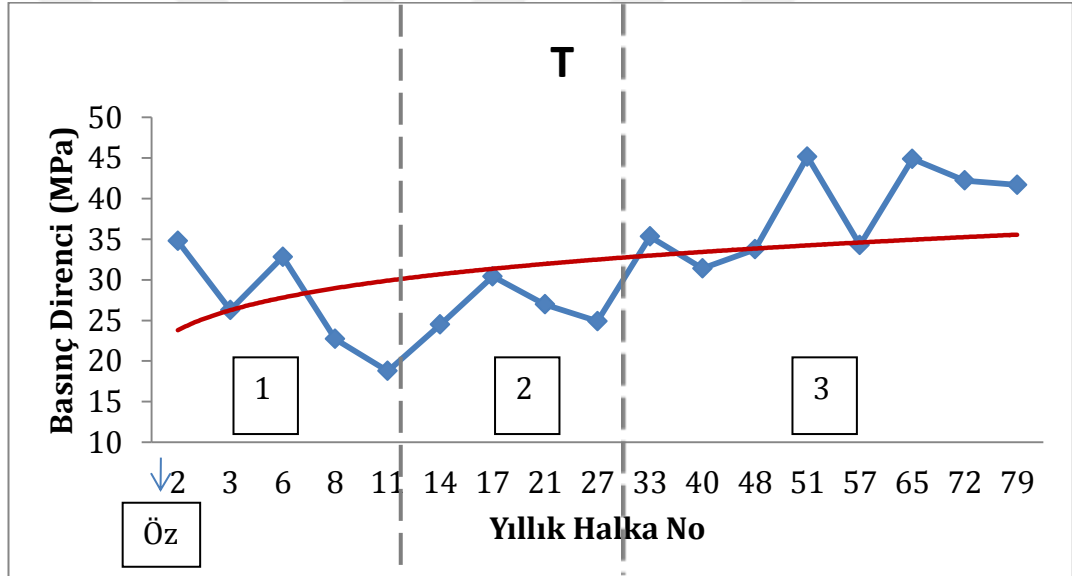
Grafikler üzerinde yapılan değerlendirmelerde kesin yıllık halkaları belirlemek oldukça güçtür (Larson vd., 2001). Bu nedenle bulunan bu değerler artı-eksi birkaç yıllık halka arasında değerlendiren kişiye göre değişebilir.

4.4. Basınç Direnci (Fraktometre ölçümleri) ile İlgili Bulgular

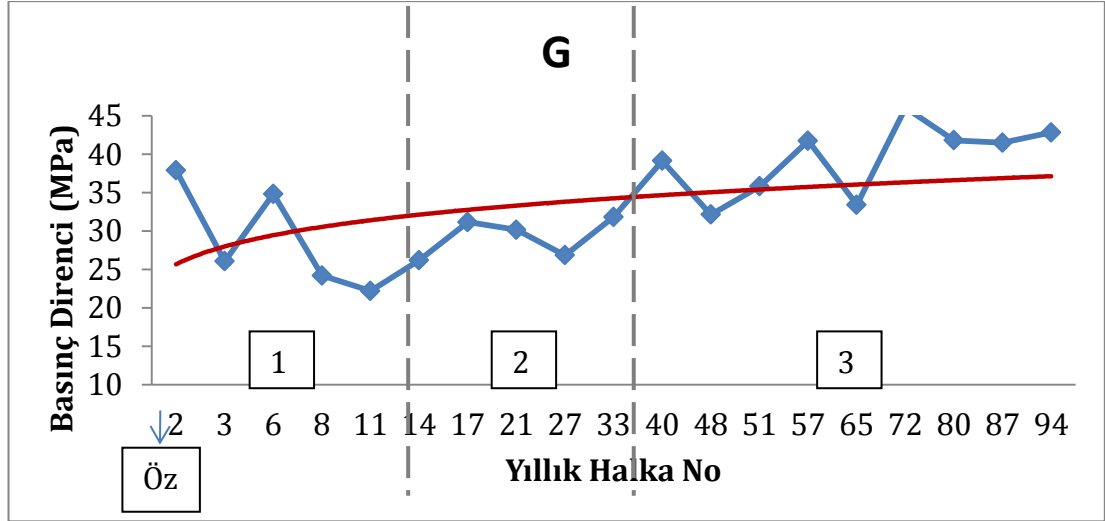
Fraktometre ile yapılan basınç direnci ölçümü sonucunda P, T ve G grupları verileri ayrı ayrı değerlendirilip basınç direnci değişim grafiği verilmiştir (Şekil 4.13, 4.14, 4.15).



Şekil 4.13. P grubu örneklerinin basınç direnci değişim grafiği



Şekil 4.14. T grubu örneklerinin basınç direnci değişim grafiği

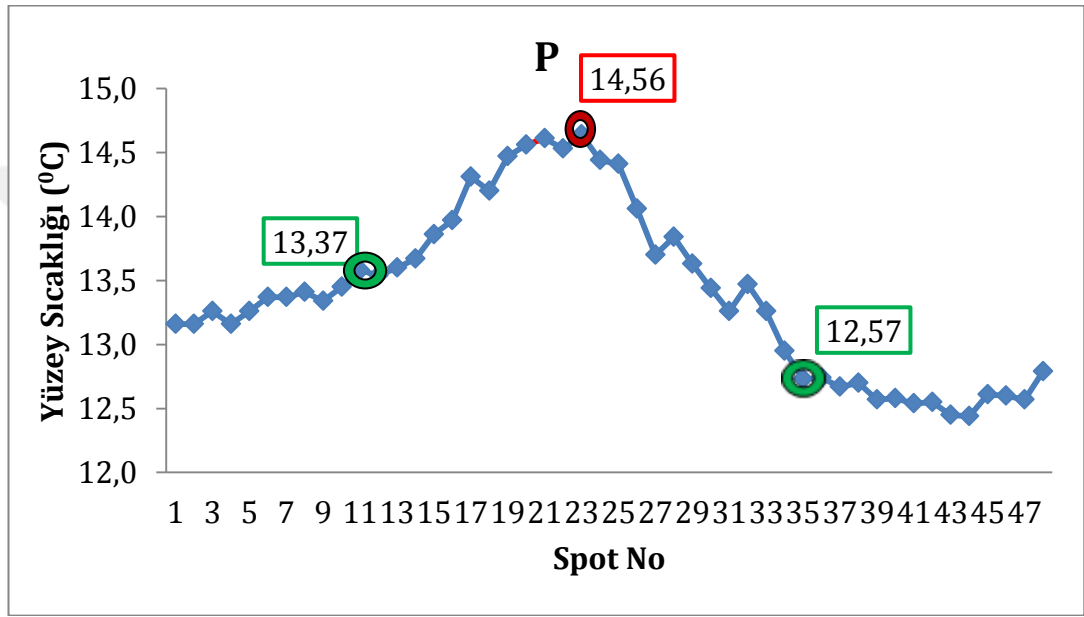


Şekil 4.15. G grubu örneklerinin basınç direnci değişim grafiği

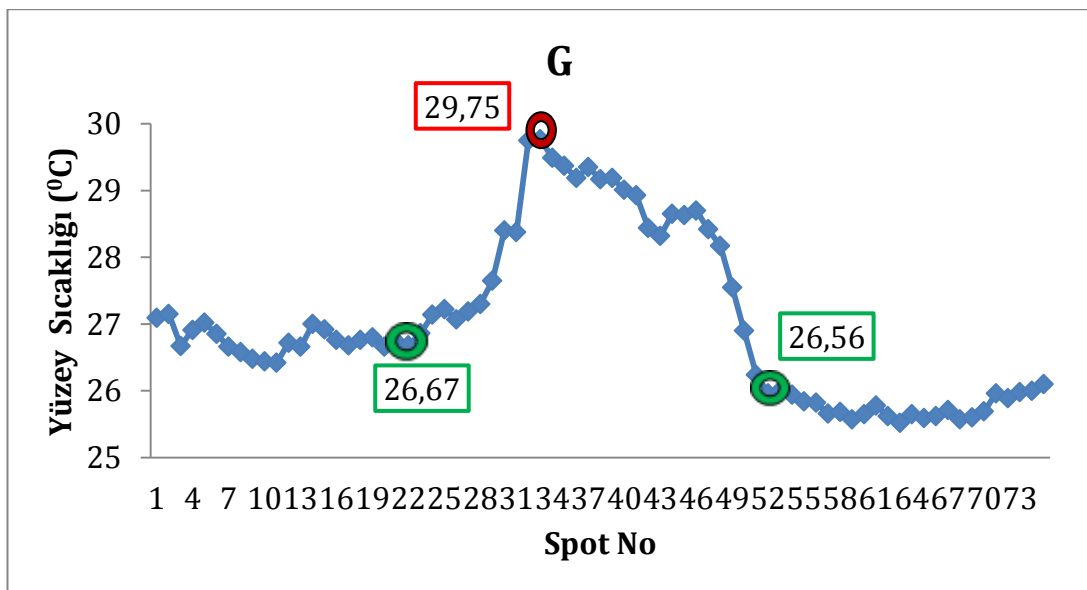
Bu tezde özden kabuğa doğru yıllık halkalar bazında basınç direnci ölçülmüş, 12-13. yıllık halkalardan sonra basınç direncinde artış olduğu gözlemlenmiş ve genç odun ile olgun odun kısmı arasında direnç değerlerinde önemli derecede farklılık olduğu belirlenmiştir. Literatürde kızılçam odununun genç odun periyodunun belirlenmesinde basınç direnci özelliği kullanılmadığı için kızılçam türü ile yapılmış herhangi bir çalışmayla karşılaştırma yapılamamıştır. Ancak Adamopoulos vd. (2007) yapmış olduğu çalışmada, 21-27 yaş aralığındaki meşcereden *Robinia pseudoacacia* L. 'nin genç odun ve olgun odun direnç özelliklerini incelemiş ve bu iki odun kısmı arasında istatistiki olarak önemli derecede farklılık olmadığını belirtmiştir. Ishiguri vd. (2009) yapmış oldukları çalışmada, 55 yaşında *Cryptomeria japonica* D. Don. 'da genç odun ve olgun odun arasındaki basınç direnci farklılıklarını belirlemiştir. Genç odun basınç direnci 21.3 MPa, olgun odun basınç direncini 21.3 MPa bularak iki odun kısmı arasında basınç direncinde farklılık olmadığını belirtmiştir. Ancak Bao vd. (2001) yılında çam türlerinde yapmış olduğu çalışmada genç odun ve olgun odun kısmı basınç dirençleri arasında önemli farklılık olduğunu tespit ederek çam türlerinde genç odun periyodunun ilk 10-15. yıllık halkalar arasında olduğunu belirtmiştir. Bal vd. (2012) yapmış olduğu çalışmada Toros sediri (*Cedrus libani*)'nin basınç direncini genç odun kısmında 44.6 N/mm², olgun odun kısmında 59.2 N/mm² bularak bu iki odun kısmı arasında direnç değerlerinde önemli derecede farklılık olduğunu belirtmiştir.

4.5. Termal Görüntülere Ait Bulgular

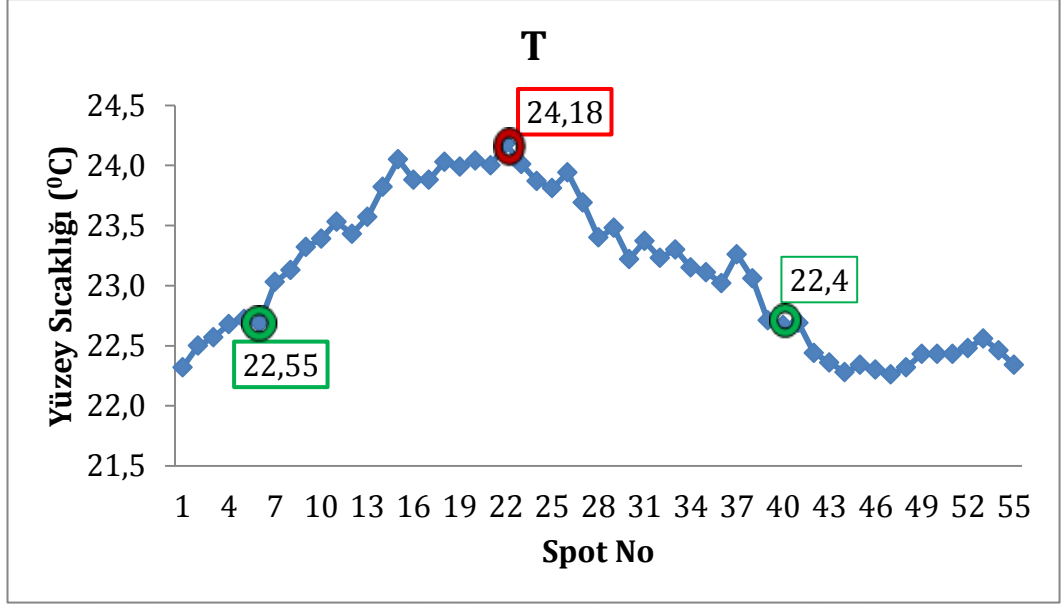
Üç grubun termal kamera görüntüleri üzerinde sıcaklık taraması yapıp sıcaklık değerleri excel'e aktarılmış ve P, T, G grubu örnekleri yüzey sıcaklık değişimi grafiği çizilmiştir (Şekil 4.16, 4.17, 4.18). Grafikler üzerinde sıcaklığın en yüksek olduğu değer kırmızı renk çerçeve ile, sıcaklığın ilk sabitlendiği değerler ise yeşil renk çerçeve ile gösterilmiştir.



Şekil 4.16. Artım kalemi üzerinde yüzey sıcaklığı değişim grafiği (P)

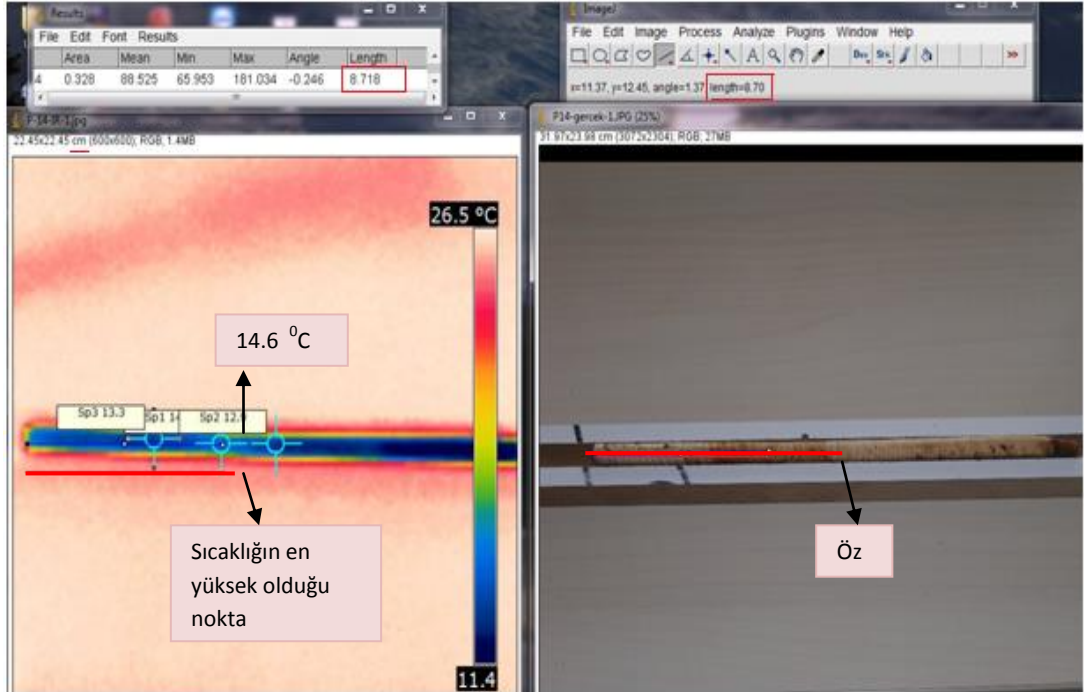


Şekil 4.17. Artım kalemi üzerinde yüzey sıcaklığı değişim grafiği (G)

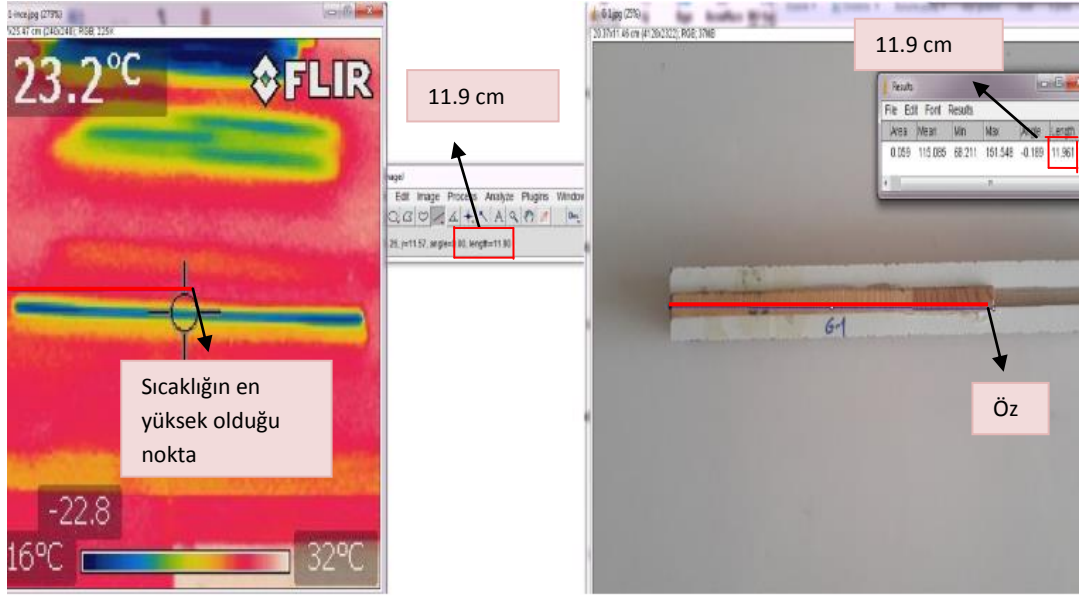


Şekil 4.18. Artım kalemi üzerinde yüzey sıcaklığı değişim grafiği (T)

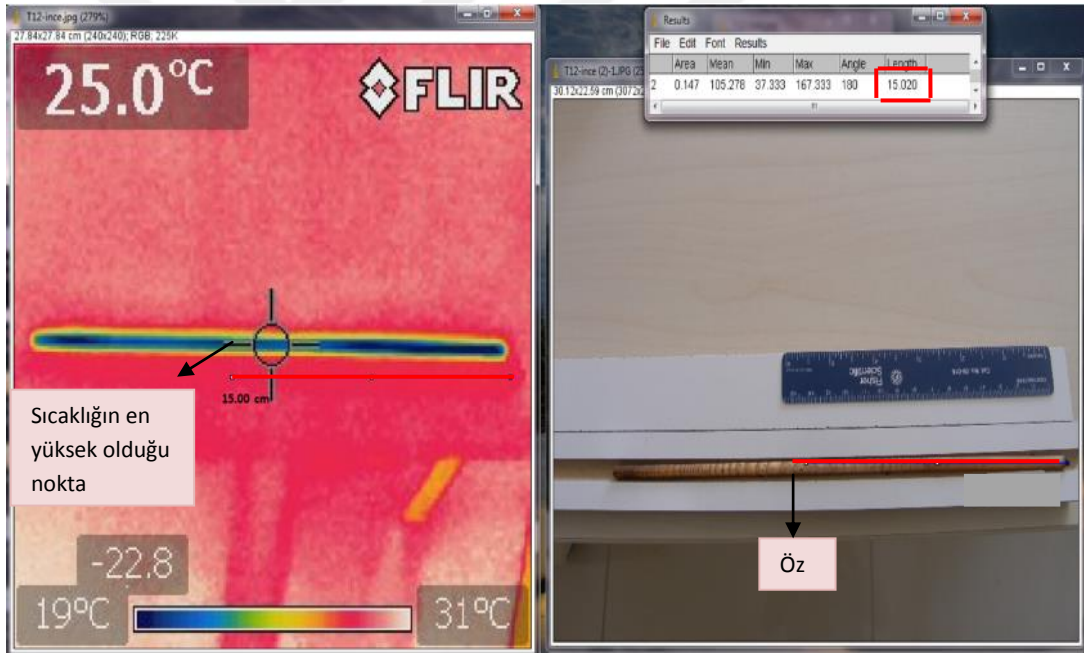
Çizilen grafiklerde sıcaklığın en yüksek olduğu noktanın öz olabileceği tahmin edildikten sonra dört örnek üzerinde digital kamera ve termal kamera görüntüleri karşılaştırması burada yapılmıştır (Şekil 4.19, 4.20, 4.21, 4.22).



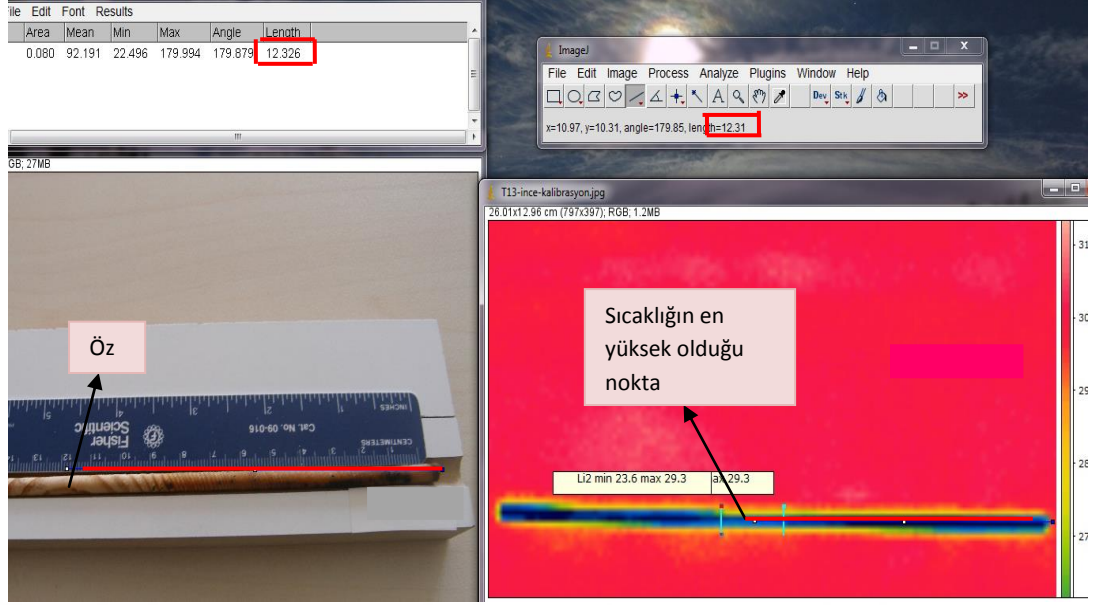
Şekil 4.19. Termal kamera görüntüsü ile digital kamera görüntüsünün (artım kalemi gerçek görüntüsü) karşılaştırılması (P2)



Şekil 4.20. Termal kamera görüntüsü ile dijital kamera görüntüsünün (artım kalemi gerçek görüntüsü) karşılaştırılması (G1)

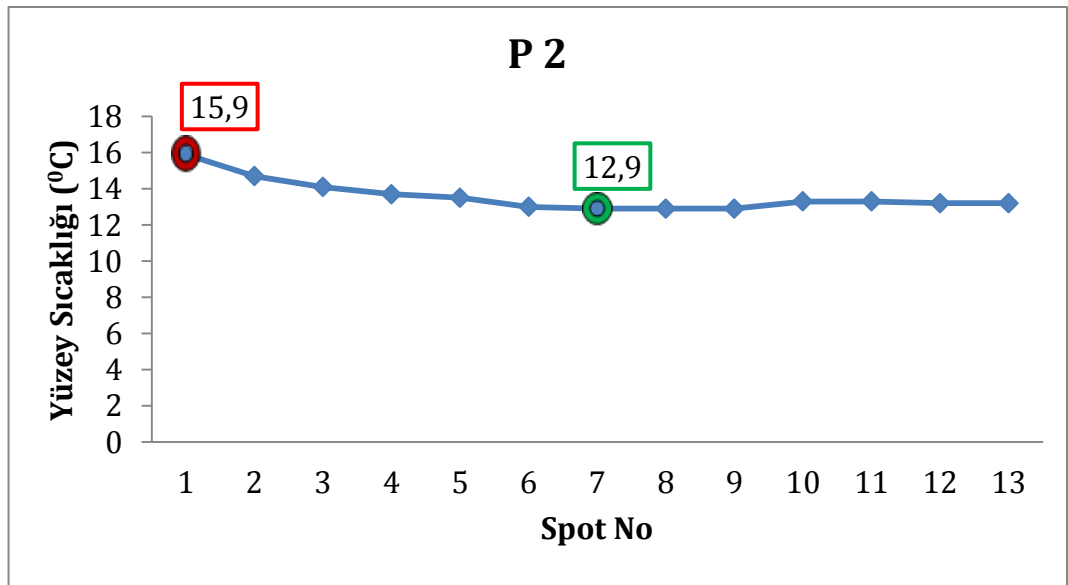


Şekil 4.21. Termal kamera görüntüsü ile dijital kamera görüntüsünün (artım kalemi gerçek görüntüsü) karşılaştırılması (T2)

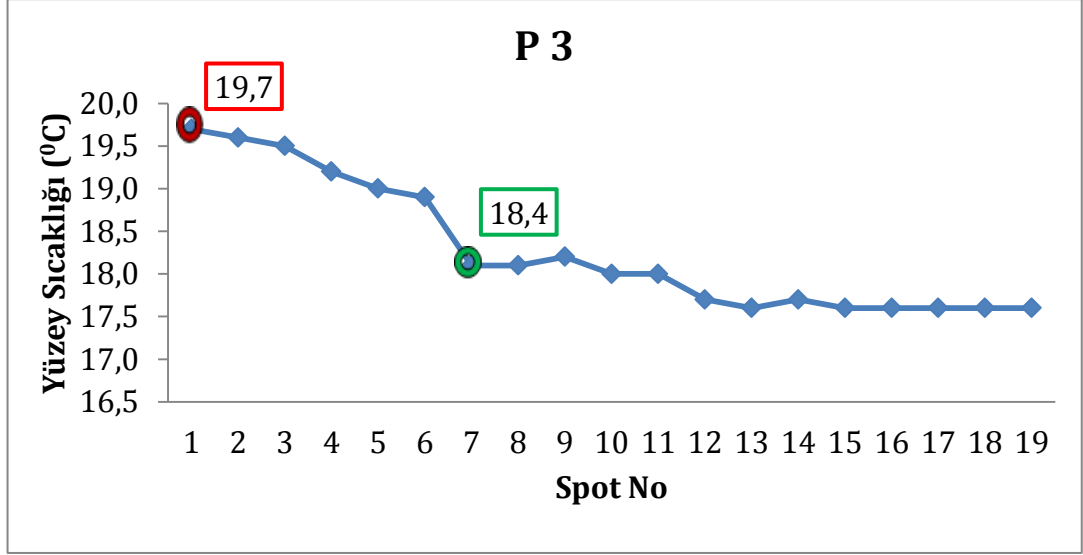


Şekil 4.22. Termal kamera görüntüsü ile dijital kamera görüntüsünün (artırıcı kalem gerçeği görüntüsü) karşılaştırılması (T3)

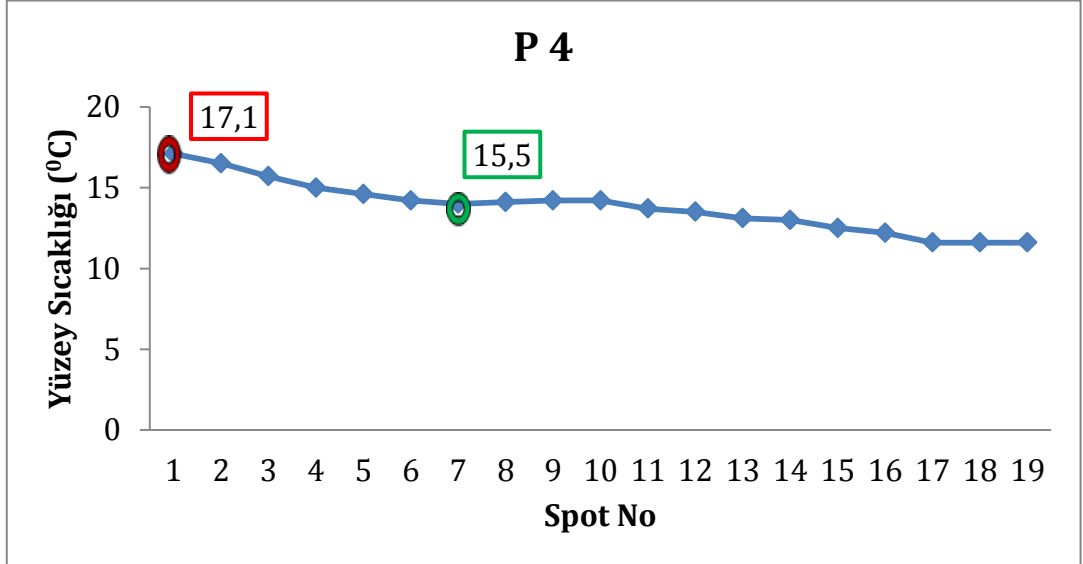
Pratik bir yöntem olması açısından termal kamera görüntüsü alınırken en sıcak noktayı öz kabul edip, özün sağına veya soluna doğru tarama yaparak sıcaklığın sabitlendiği noktalar belirlenmiş ve elde edilen veriler değerlendirilerek P (P2, P3, P4), G (G2, G3, G4), T (T1, T2, T3) yüzey sıcaklık değişim grafikleri çizilmiştir (Şekil 4.23, 4.24, 4.25, 4.26, 4.27, 4.28, 4.29, 4.30, 4.31). Grafikler üzerinde sıcaklığın en yüksek olduğu değer kırmızı renk çerçeve ile, sıcaklığın sabitlendiği değerler ise yeşil renk çerçeve ile gösterilmiştir.



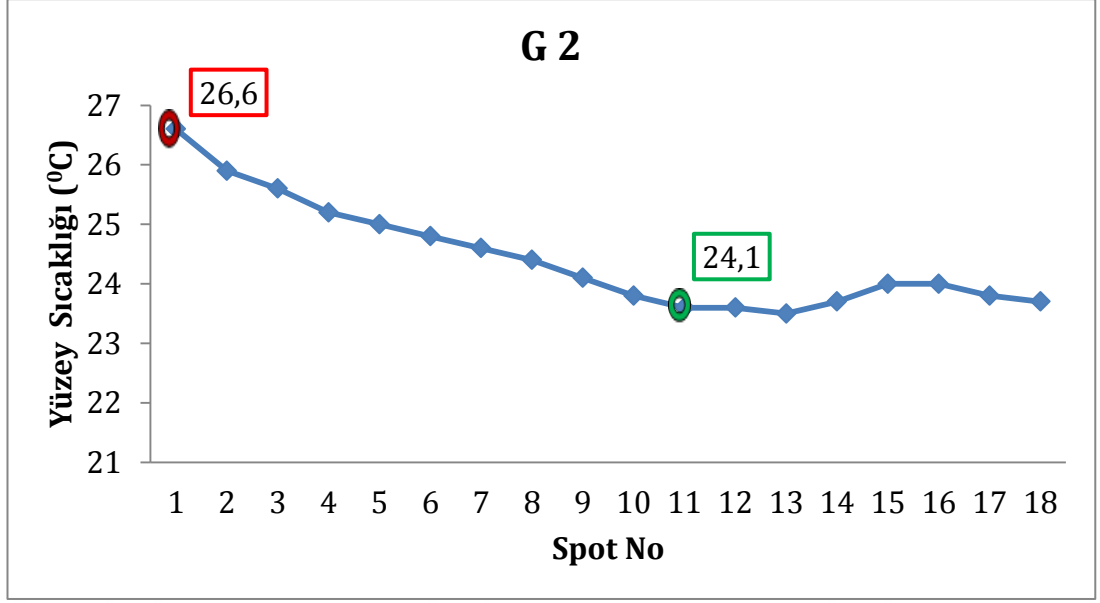
Şekil 4.23. P 2 örneğinin özden sağa doğru yüzey sıcaklık değişim grafiği



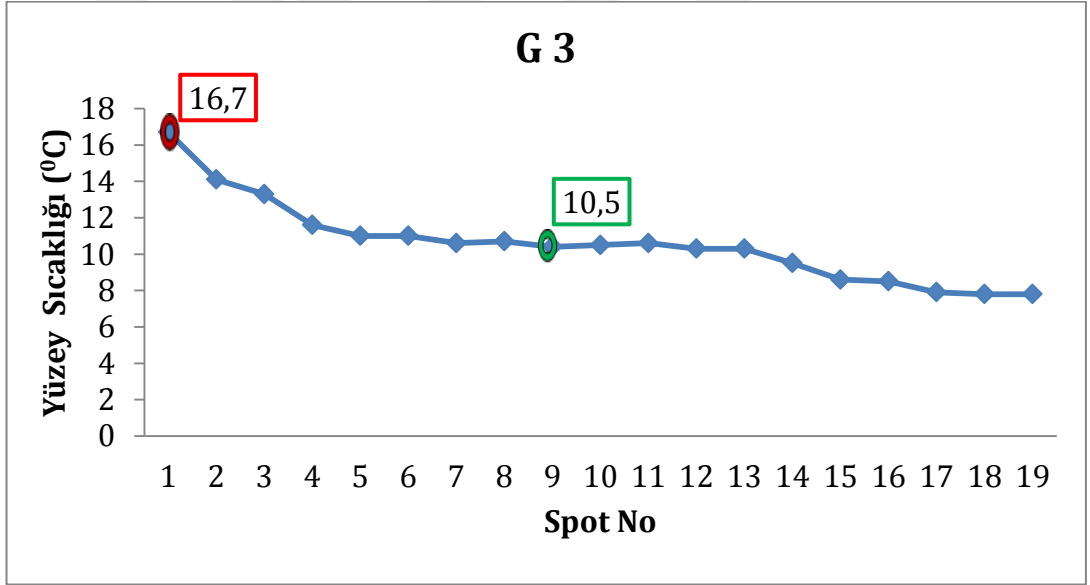
Şekil 4.24. P 3 örneğinin özden sağa doğru yüzeý sıcaklık değişim grafiği



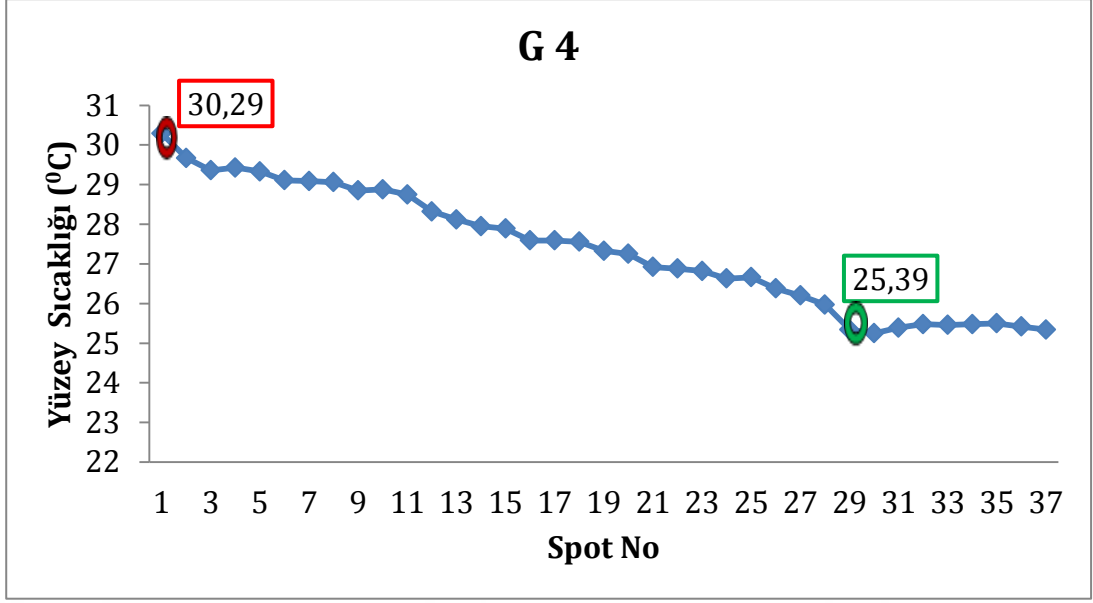
Şekil 4.25. P 4 örneğinin özden sağa doğru yüzeý sıcaklık değişim grafiği



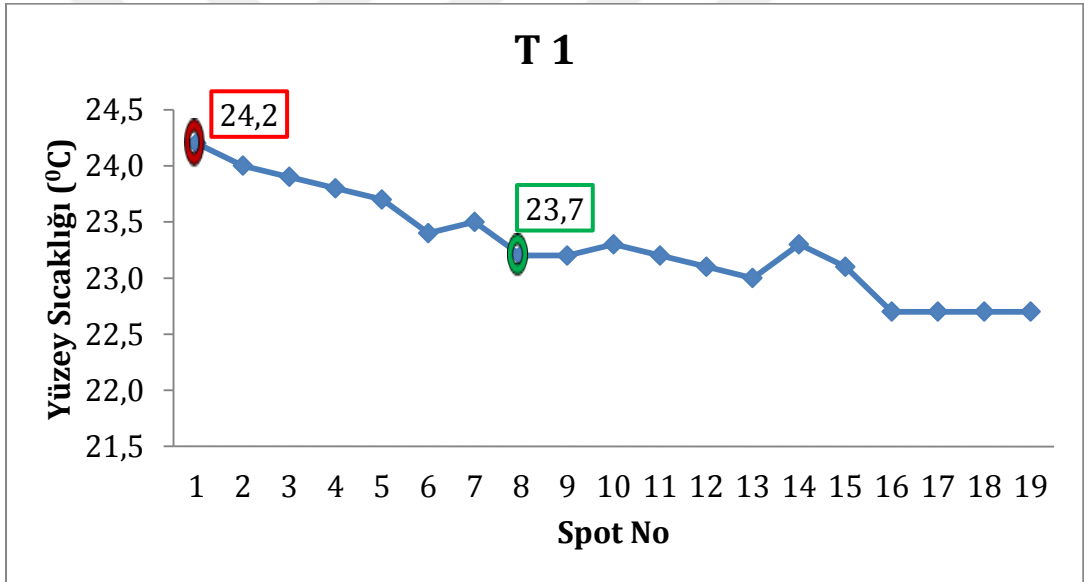
Şekil 4.26. G 2 örneğinin özden sağa doğru yüzey sıcaklık değişim grafiği



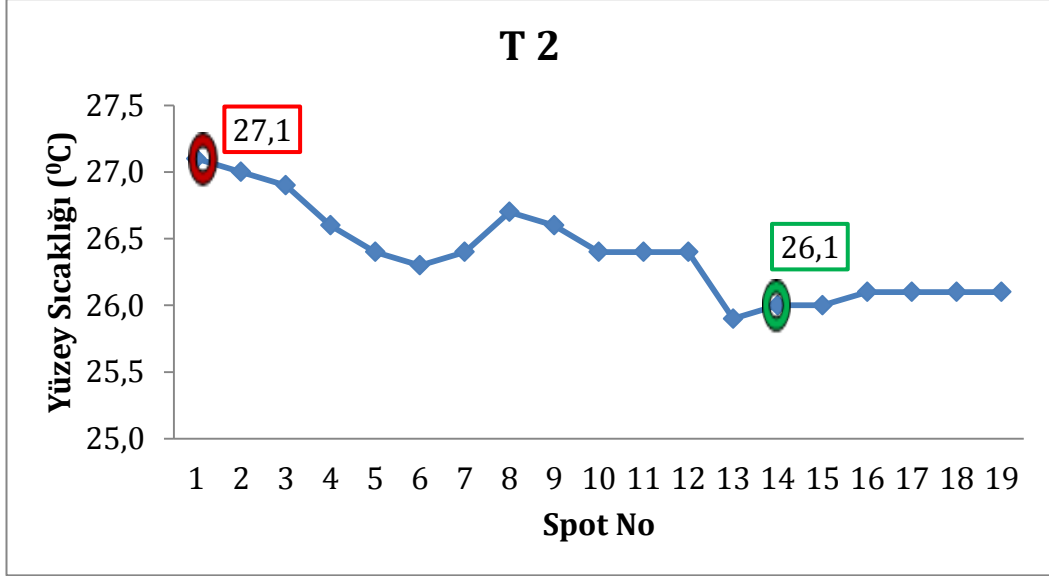
Şekil 4.27. G 3 örneğinin özden sağa doğru yüzey sıcaklık değişim grafiği



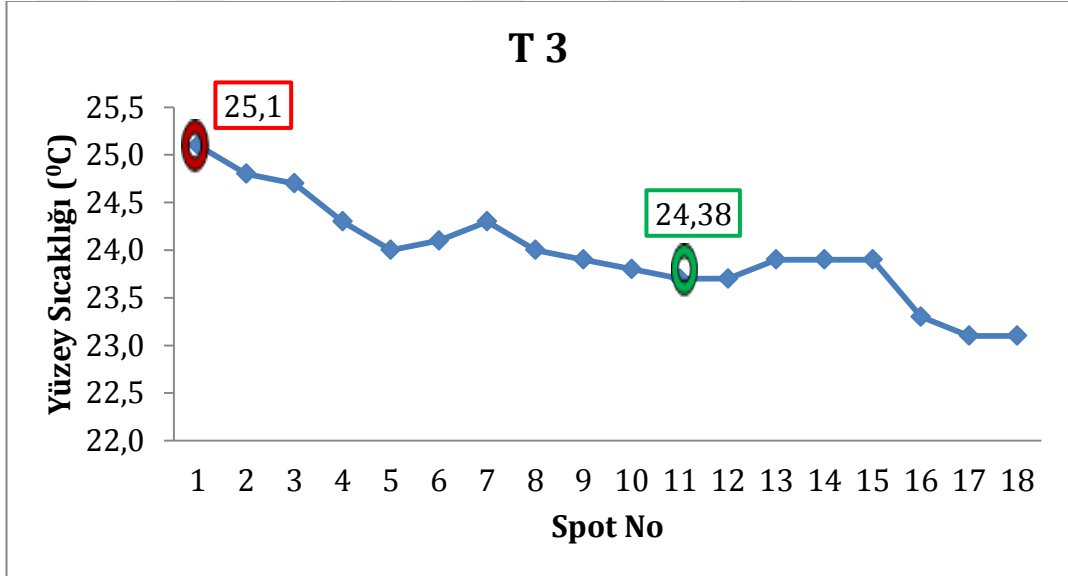
Şekil 4.28. G 4 örneğinin özden sağa doğru yüzey sıcaklık değişim grafiği



Şekil 4.29. T 1 örneğinin özden sağa doğru yüzey sıcaklık değişim grafiği



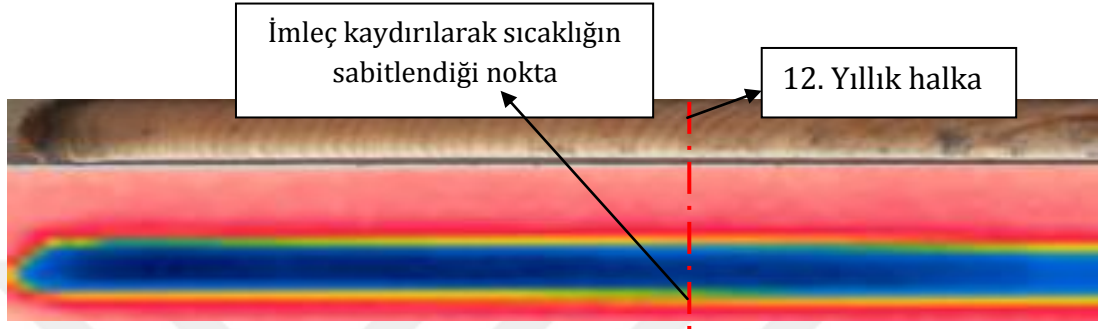
Şekil 4.30. T 2 örneğinin özden sağa doğru yüzey sıcaklık değişim grafiği



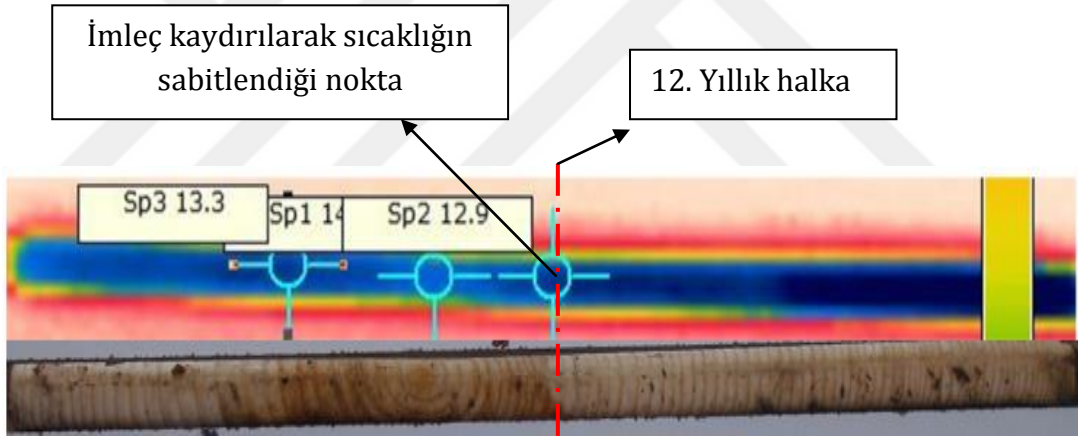
Şekil 4.31. T 3 örneğinin özden sağa doğru yüzey sıcaklık değişim grafiği

Termal kamera ve digital kamera görüntüleri karşılaştırmasında; sıcaklığın en yüksek olduğu noktanın öz olduğu belirlenmiştir. Daha sonra sıcaklığın sabitlendiği ilk noktaya kadar olan kısım genç odun kısmı olarak belirlenmiştir (Şekil 4.32, 4.33, 4.34, 4.35, 4.36, 4.37). Genel olarak termal görüntülerde yüzey sıcaklık farklılıkları farklı renklerle (kameralarda IR görüntüler için çok renkli gri tonları vb. seçenekler bulunmaktadır) gözlenebilmektedir. Bu çalışmada gök kuşağı tonları seçildiği için görüntülerdeki renkler bu şekilde görülmektedir. Elde edilen görüntülerin büyük çoğunluğunda öz ve genç odun kısmı renk farklılığı ile kolayca ayırt edilebilmektedir. Fakat bazı görüntülerde yüzey

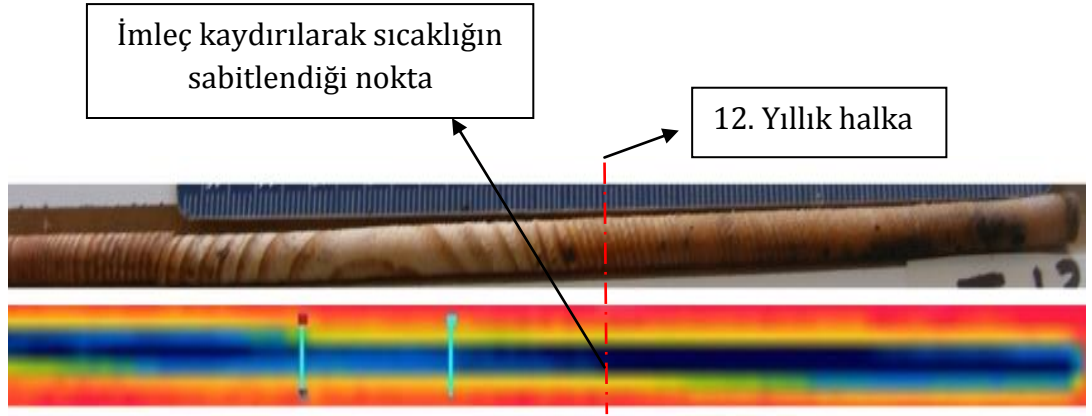
sıcaklıkları arasında farkların az olması sebebiyle renk farklılığına dayanarak bir yorum yapmanın güç olduğu görülmüştür (Örn: Şekil 4.32). Buna rağmen temel mantığın aynı şekilde işlediği ve imleç kaydırılarak belirlenen yüzey sıcaklıklarına göre değişimin başladığı kısım işaretlendiğinde genç oduna karşılık geldiği görülmüştür (Şekil 4.32, 4.34, 4.35).



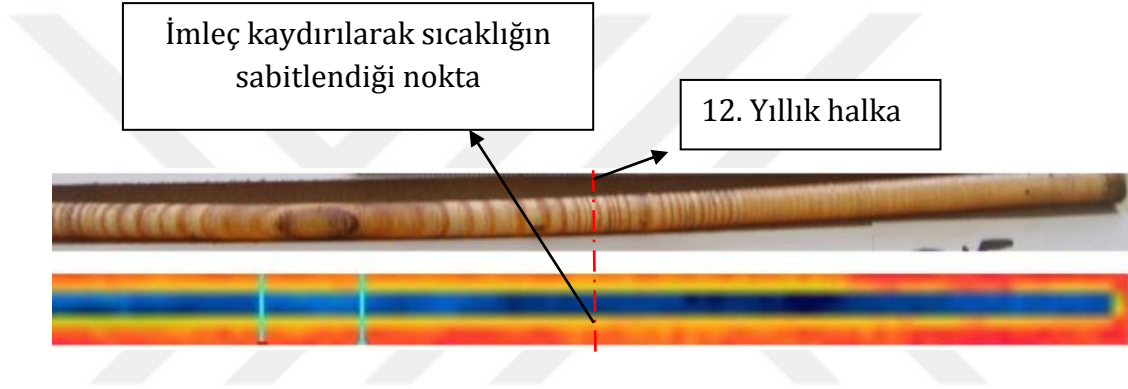
Şekil 4.32. P grubu örneği genç odun kısmının belirlenmesi



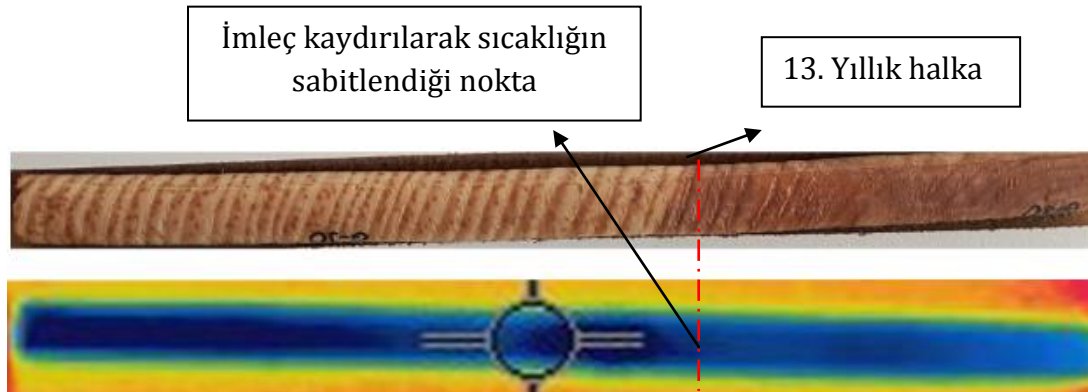
Şekil 4.33. P grubu örneği genç odun kısmının belirlenmesi



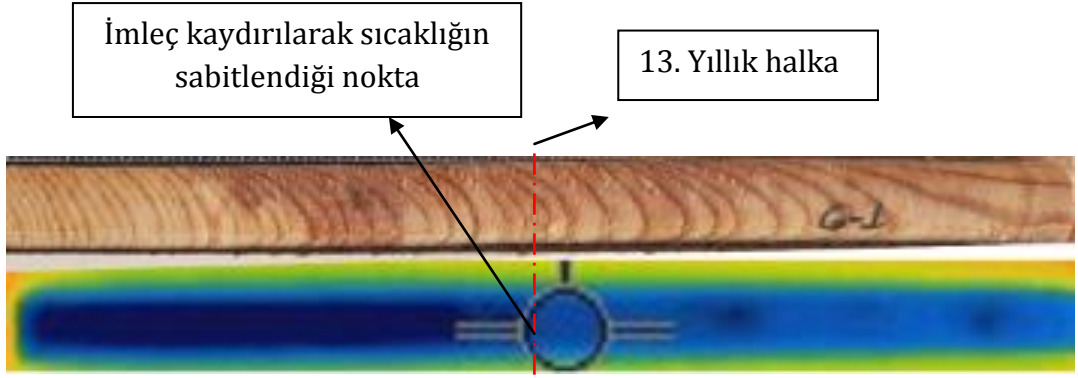
Şekil 4.34. T grubu örneği genç odun kısmının belirlenmesi



Şekil 4.35. T grubu örneği genç odun kısmının belirlenmesi

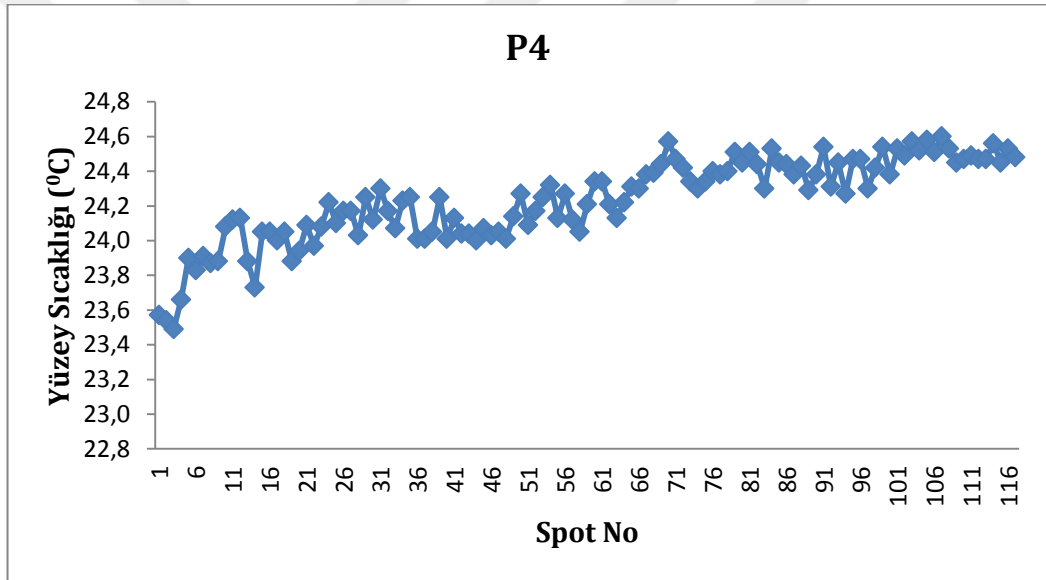


Şekil 4.36. G grubu örneği genç odun kısmının belirlenmesi

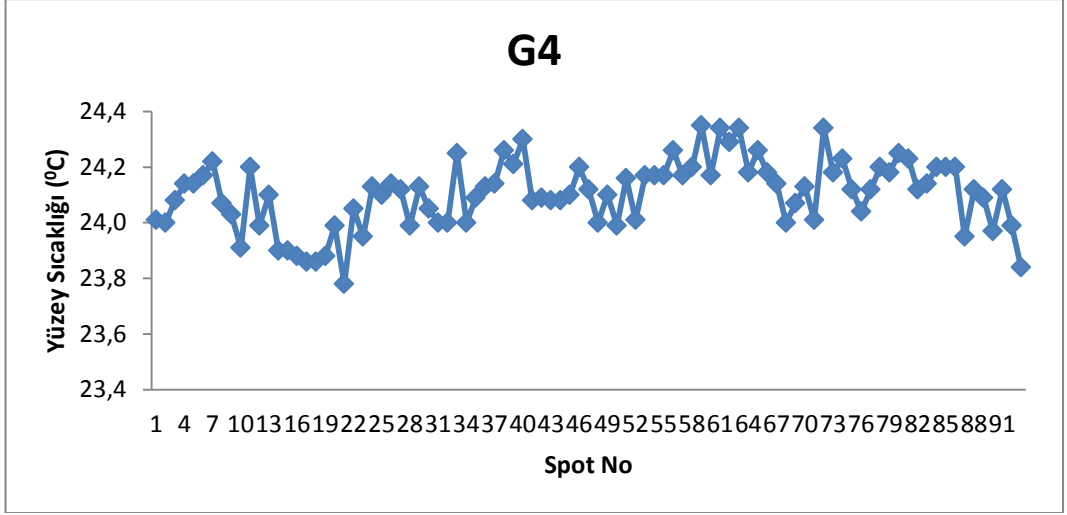


Şekil 4.37. G grubu örneği genç odun kısmının belirlenmesi

3 gün boyunca suda bekletilip nem içeriği artırılan örneklerle ait bulgular verilmiştir (Şekil 4.38, 4.39).



Şekil 4.38. Artım kalemi üzerinde yüzey sıcaklığı ölçüm grafiği (P4)



Şekil 4.39. Artım kalemi üzerinde yüzey sıcaklığı ölçüm grafiği (G4)

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Yapılan bu çalışmada, ülkemizde oldukça geniş bir yayılış alanına sahip olan kızılçamın genç odun kısmının belirlenmesinde termografinin uygulanabilirliği araştırılmıştır. Ağaçlarda genç odundan olgun oduna tedrici bir geçiş olmakta ve bu kısım geçiş zonu (transition zone) olarak isimlendirilmektedir. Grafikler üzerinde yapılan değerlendirmelerde kesin yıllık halkaları belirlemek oldukça güçtür. Bu nedenle bulunan bu değerler artı-eksi birkaç yıllık halka arasında değerlendiren kişiye göre değişebilir. Bu çalışmada elde edilen bulgulara göre ise termal görüntüleme tekniği kullanıldığında bu geçiş yıllık halka bazında daha rahat ayrılabilir. Termografik değerlendirme sonucunda P grubu örneklerinin genç odun kısmı ilk 12 yıllık halka, T grubu örneklerinin genç odun kısmı ilk 12 yıllık halka, G grubu örneklerinin genç odun kısmı ilk 13 yıllık halkayı içerdiği belirlenmiştir. Öncelikle genç odun periyodunun belirlenmesinde genel olarak kullanılan yoğunluk, yaz odunu katılım oranı, hücre çeper kalınlığı ve basınç direnci değerleri ölçülerek yıllık halka-halkalar bazında değerlendirilmiştir. Termal görüntüler üzerinde yapılan inceleme sonucunda elde edilen bulgular, diğer özellikler kullanılarak belirlenen genç odun kısmı ile paralel sonuçlar vermiştir.

Ön arazi çalışmaları sırasında herhangi bir temas gerçekleştirilen ve kusur (çürüklük, budak, kabuk kalıntısı vb.) içeren örneklerden elde edilen IR görüntülerde genç odun periyodunun belirlenmesinde başarılı sonuçlar elde edilmemiştir. Bu nedenle ileride yapılacak çalışmalarda kusur içermeyen örneklerin seçilmesi ve çalışma sırasında artım kalemlerine temas edilmemesi önerilir. Termografi tekniğinin kullanımında geçerli olan tüm temel gereklilikler bu uygulama için de geçerli olup, ileride yapılacak çalışmalarda uygulayıcıların bu konuda en azından temel uygulama bilgilerine hakim olmaları önerilir.

Kuruduktan sonra tekrar rutubetlendirilip termal görüntüleri alınan örneklerin arazide çekilen görüntülere paralel sonuçlar vermediği görülmüştür. Bu nedenle bu tekniğin genç odun kısmının belirlenmesinde kullanılabilmesi için artım kalemlerinin alınmasının ardından, örnekler soğutucu kaplarda 1 saat süreyle

bekletildikten sonra ya da tez danışmanı Bilgin İÇEL'in çalışmasında yaptığı gibi örneklerin rutubet kaybetmesini önleyerek laboratuvar şartlarında IR çekimlerinin yapılması önerilir.

Türkiye'de bazı sektörlerde kalite kontrol amaçlı olarak tahribatsız muayene yöntemleri kullanılmakla birlikte, Ormancılık sektöründe bu yöntemler yaygın olarak kullanılmamaktadır. Dünyada bu yöntemlere büyük bir yönelim söz konusudur. Tezde yapılan bilimsel çalışmalardan elde edilen bulgular, tahribatsız muayene tekniklerinden biri olan termografinin, ormancılık sektöründe belirlenmesi oldukça problemlili olan genç odun kısmının arazide kolay bir şekilde belirlenmesini sağlayacak temel bilgileri oluşturmaktadır.

Bu çalışmada gereken şartlar sağlandığı takdirde termografi ile genç odun kısmının belirlenebileceğini destekleyen oldukça başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Bu konuda elde edilen bilimsel veriler tez danışmanının yaptığı bir çalışma ve bu tezin bulguları ile sınırlıdır. Ayrıca tezdeki zaman kısıtı nedeniyle tez çalışmaları bittikten sonra yöntemin arazide denenmesi ancak 3-4 ağaç üzerinde gerçekleştirilebilmiştir. Bu sebeplerle yöntemin uygulamaya hemen aktarılabilirliği hususunda bir öneri getirilmekten imtina edilmiştir. Bu yöntemin ormancılık sektöründe uygulamada kullanılabilmesi için takip eden çalışmalarla (farklı ağaç türlerinde ve değişik varyasyonlar içeren) bu sonuçların desteklenmesi gereklidir.

KAYNAKLAR

- Adamopoulos, S., Passialis C., Voulgaridis E., 2007. Strength Properties of Juvenile and Mature Wood in Black Locust (*Robinia pseudoacacia* l.). Wood and Fiber Science, 39(2).
- Aiello, A.S., Dosmann, M.S., 2007. The Quest for The Hardy *Cedar-of-lebanon*, Arnoldia: The magazine of the Arnold Arboretum 65(1), 26-35.
- Akgün, K., 2008. Lamine Edilmiş Kestane (*Castanea sativa* Mill.) Odununun Bazı Fiziksel ve Mekanik Özellikleri Üzerine Tanen ve Isıl İşlemin Etkileri. Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 79s, Zonguldak.
- Alan, A., 2012. Termografi ve Veteriner Hekimliğinde Kullanımı. Erciyes Üniversitesi Veterinerlik Fakültesi Dergisi 9(12), 133-140.
- Alteyrac, J., Cloutier, A., Zhang, S., 2006. Characterization of Juvenile Wood to Mature Wood Transition Age in Black Spruce (*Picea mariana* (Mill.) B.S.P.) at Different Stand Densities and Sampling Heights. Wood Sci Technology, 40-124.
- Amarasekara, H., Denne, M.P., 2002. Effect of Crown Size on Wood Characteristics of Corsican Pine in Relation to Definitions of Juvenile Wood, Crown Formed Wood and Core Wood, Forestry, 39(2).
- Anonim, 1998. Kızılçamın Hızlı Gelişen Bir Tür Olarak Yetiştirilmesinin Ekolojik Esasları, Hızlı Gelişen Türlerle Yapılan Ağaçlandırma Çalışmalarının Değerlendirilmesi ve Yapılacak Çalışmalar, Workshop, Orman Bakanlığı Yayın Dairesi Başkanlığı, Yayın No:083, Ankara.
- Anonim, 2012. *Cedrus Libani* Taxonomy, Erişim tarihi: 20.07.2017 <http://en.wikipedia.org/wiki/Cedruslibani>.
- Anonim, 2000. Orman Ağaçları ve Tohumları Islah Araştırma Müdürlüğü 1999 Yılı Çalışma Raporu 2000 Yılı Çalışma Programı, Orman Bakanlığı Yayın No:102, ISBN:975-8273-23-X, Ankara.
- Anonymous, 2015. Erişim tarihi: 22.10.2017 <http://desembouage-circuit-de>
- Anşin, R., Terzioğlu, S., Evcin, M., 1993. Aydın-Çine Çayı Vadisi Kızılçam (*P. brutia* Ten.) Ormanı Florası, Uluslararası Kızılçam Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 35-42, Orman Bakanlığı Yayını, Ankara.
- Arslan, M.B., Aydemir D., 2009. Genç Odun ve Özellikleri. Bartın Orman Fakültesi Dergisi, 16, 25-32.
- Aslan, S., 2016. Mühendislik Uygulamalarında Termal Kamera Kullanımı. İskenderun Teknik üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, 60s, Hatay.

- Astarita, T., Cardone, G., Carlomagno, G.M., 2000. A Survey on Infrared Thermography for Convective Heat Transfer Measurements. *Optics Laser Technology*, 32 (7-8), 593-610.
- Atalay, İ., Sezer, İ., Çukur, H., 1998. Kızılçam Ormanlarının Ekolojik Özellikleri ve Tohum Nakli Açısından Bölgelere Ayrılması, Orman Ağaçları ve Tohumları Islah Araştırma Md. Yayın No:6, Ege Üniversitesi Basımevi, İzmir.
- Bal, B.C., Bektaş, B., Kaymakçı, A., 2012. Toros Sedirinde Genç Odun ve Olgun Odunun Bazı Fiziksel ve Mekanik Özellikleri. *Mühendislik Bilimleri Dergisi*, (15)2.
- Bal, B.C., 2012. Genç Odun ve Olgun Odunun Lif Morfolojisindeki Farklılıklar Üzerine Bir Araştırma. *Ormancılık Dergisi*, 8(2), 29-35.
- Bankowski, J., 1994. Effect of Growing Space on Wood Density in Jack Pine, Master thesis, Faculty of Forestry University of Toronto, 60p Canada.
- Bao, F.C., Jiang, Z.H., Jiang, X.M., Lu, X.X., Luo, X.Q., Zhang, S.Y., 2001. Differences in Wood Properties Between Juvenile Wood and Mature Wood in 10 Species Grown in China, *Wood Science and Technology*, 35, 363-375.
- Bendtsen, B. A., Senft, J., 1986. Mechanical and Anatomical Properties in Individual Growth Rings of Plantation-Grown Eastern Cottonwood and Loblolly pine. *Wood and Fiber Science*, 18(1), 23 - 38.
- Berglind, H., Dillenz, A., 2003. Detecting Glue Deficiency in Laminated Wood-a Thermography Method Comparison. *Non Destructive Evaluation International*, 36, 395-399.
- Berkel, A., 1957. Kızılçamda (*Pinus Brutia* Ten.) Teknolojik Araştırmalar, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, İstanbul.
- Bhat, K.M., Priya, P.B., Rugmini, P., 2001. Characterisation of Juvenile Wood in Teak, Germany. *Wood Science and Technology*, 34, 517-532.
- Biblis, E.J., Brinker, R., Carino, H.F., McKee, C.W., 1992. Effect of Stand Age on Flexural Properties and Grade Compliance of Lumber From Loblolly Pine Plantation Timber, *Forest Product Journal*, 43, 23-28.
- Bozkurt, Y., Erdin N., 1997. Ağaç Teknolojisi Ders Kitabı. İstanbul Üniversitesi. Orman Fakültesi, Yayın no: 445,136-336, İstanbul.
- Bozkurt, Y., Erdin,N., 2000. Odun Anatomisi. İstanbul Üniversitesi, Yayın No:4260, Fakülte Yayın No: 466, İstanbul, 346.
- Bozkurt, A.Y., Göker, Y., 1981. Orman Ürünlerinden Faydalanma. İstanbul Üniversitesi, Yayın No: 2840, 432 s. İstanbul.

- Briggs, D. G., Smith, W.R., 1985. Effects of Silvicultural Practices on Wood Properties of Conifers. A Review, Proceedings of Douglas Fir: Stand Management for the Future, University of Washington.
- Burcham, D.C., Leong, E.C., Fong, Y.K., Tan, T.Y., 2012. An Evaluation of Internal Defects and Their Effect on Trunk Surface Temperature in *Casuarina equisetifolia* L. (Casuarinaceae), Arboriculture and Urban Forestry, 38(6), 277-286.
- Buyruk, E., 2015. Binalarda Isı Yalıtımının Enerji Tasarrufuna Etkisinin Termal Kamera ile Belirlenmesine Yönelik Çalışmalar, Erişim tarihi: 11.09.2017, http://www.emo.org.tr/ekler/07fd505578df62f_ek.pdf.
- Catena, A., Catena, G., 2008. Overview of Thermal Imaging for Tree Assessment, Arboricultural Journal, 30, 259-270.
- Chiu, C.M., Wang, S.Y., Lin, C.J., Yang, T.H., Jane, M.C., 2006. Application of The Fractometer for Crushing Strength: Juvenile-Mature Wood Demarcation in Taiwan (*Taiwanie cryptomerioids*), Journal Wood Science, 52, 9-14.
- Clark III, A., McAlister, R.H., Saucier, J.R., Reitter, K., 1996. Effect of Rotation Age on Lumber Grade, Yield and Strength of Un Thinned Loblolly Pine, Forest Product Journal, 46, 63-68.
- Cole, D.E., Zobel, B.J., Roberds, J.H., 1966. Slash, Loblolly, and Longleaf Pine in a Mixed Naturalitand; a Comparison of Their Wood Properties, Pulp Yields, and Paper Properties. 49(4), 161-166.
- Cown, D.J., 1992. Corewood (Juvenile Wood) in *Pinus radiata* Should We Be Concerned?. New Zealand Journal of Forestry Science, 22(1), 87-95.
- Çalışan, M., Türkoğlu, İ., 2011. Termal Kameralar ve Uygulamaları. Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Sempozyumu, 46-50.
- Çolak, A., Polat, B., Okumuş, Z., Kaya, M., Yanmaz, L.E., Hayırlı, A., 2008. Early Detection of Mastitis Using Infrared Thermography In Dairy cows. Dairy Science, 91(11), 4244-8.
- Deresse, T., Shepard, R.K., Shaler, S.M., 2003. Microfibril Angle Variation in Red Pine (*Pines resinosa* Ait.) and Its Relation to the Strength and Stiffness of Early Juvenile Wood. Forest Products Journal, 53, 34- 40.
- Deresse, T., Shepard, K.R., 1999. Wood Properties of Red Pine (*Pinus resinosa* Ait.), CFRU Information Report: 42, University of Maine, Maine.
- Düzgün, D., Or, M.E., 2009. Termal Kameraların Tıpta Veteriner Hekimlikte Kullanımı. İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa Tıp Fakültesi. Biyofizik Anabilim Dalı, İstanbul Üniversitesi, Veteriner Fakültesi. İç Hastalıkları Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye.

- Eckard, J.T., 2007. Rapid Screening For Solid Wood Quality Traits in Clones of Loblolly Pine (*Pinus taeda* L.) by Indirect Measurements, Master thesis Graduate Faculty of North Carolina State University.
- Faust, D.T., Clark III, A., Courchhene, C. E., Shiver, B.D., Belli, M.L., 1999. Effect of Intensive Forest Management Practices on Wood Properties and Pulp Yield of Young Fast Growing Southern Pines, International Environmental Conference, TAPPI Proceedings, 501-511.
- Genç, M., Güner, T., Fakir, H., 1997. Afyon Çaldağı Kızılçam Meşcereleri, Orman Mühendisliği Dergisi, 6, 7-15.
- Genç, M., 2004. Silvikültürün Temel Esasları, SDÜ Yayın No:44, SDÜ Basımevi, ISBN:975-7929-70-0, Isparta.
- Gorisek, Z., Straze, A., Pervan S., 2004. Juvenile wood in spruce (*Picea abies* Karst.) – Limitation of Use Comparison of Physical and Mechanical Properties Between Juvenile and Adult Wood, 27-34.
- Göker, Y., DüNDAR, T., 1999. Genç Odun Özelliklerinin Odun Kalitesi ve Kullanım Yeri Üzerine Etkileri, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, Seri B, 49.
- Göksel, E., Özden, Ö., 1993. Kağıt Endüstrisinde Kızılçam, Uluslararası Kızılçam Sempozyumu, Bildiriler Kitabı 18-23 Ekim, Marmaris, Türkiye, 643-654.
- Göksel, E., 1984. Kızılçamın Lif Morfolojisi ve Odunundan Sülfat Selülozu Elde Etme Olanakları Üzerine Araştırmalar, İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi, Yayın No: 364, İstanbul.
- Götz, K., Bethge, K., Mattheck, C., 2002. The FractometerII: A Mobile Wood Testing Device, Wissenschaftliche Berichte FZKA, 6704.
- Green, D.W., Winandy, J.E, Kretschmann, D.E., 1999. Mechanical Properties of Wood, Wood Handbook, Wood as an Engineering Material. FPLGTR-113, 32p, Madison.
- Guler, C., Copur, Y., Akgul, M., Buyuksari U., 2007. Some Chemical, Physical and Mechanical Properties of Juvenile Wood from Black Pine (*Pinus nigra* Arnold) Plantations Journal of Applied Science, 7 (5), 755- 758.
- Güller(İçel), B., 2004. Silvikültürel Müdahalelerin Kızılçam Odununun Teknolojik Özellikleri Üzerine Etkisi, Doktora tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Odun Mekaniği ve Teknolojisi Programı.
- Güller(İçel), B., 2005. Doğu Ladininde Yıllık Halka Genişliği ve Birim Alandaki Traheid Sayısının Görüntü Analizi Yöntemi İle Belirlenmesi, Ladin Sempozyumu, Bildiriler Kitabı, (1), 58-66.

- Güller(İçel), B., 2010. Kızılçam'da (*Pinus brutia* Ten.) Odun Yoğunluğunun X-Ray Yoğunluk Ölçer İle Belirlenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi, (2), 97-109.
- Güller(İçel), B., Güller, A., Genç, M., 2011. Dikili Durumdaki Ağaçların İç Kısımlarında Oluşan ve Belirgin Bir Emare Göstermeyen Çürük ve Boşlukların Tahribatsız Belirlenmesi. I. Ulusal Akdeniz Orman ve Çevre Sempozyumu 26-28 Ekim 2011, Kahramanmaraş.
- Güller(İçel), B., Aday, A.G., Doğmuş Lehtişarvi, H.T., Lehtijarvi, A.T., 2011. Isıl işlemin bazı odun çürüklüğü funguslarının gelişimini engelleyici etkisi. Türkiye 1. Orman Entomolojisi ve Patolojisi Sempozyumu, 23-25 Kasım, Antalya.
- Güller(İçel), B., Doğmuş Lehtişarvi, H.T., Lehtijarvi, A.T., 2012. Determination of Fungal activity on Wood at Early Stages of Fungal Colonization Using Thermography. Non Destructive Evaluation for Safety, Defektoskopie, 30 Ekim- 1 Kasım.
- Güller(İçel), B., Işık, K., Çetinay, Ş., 2011. Genetic variationin *Pinus brutia* Ten.: Wood density traits. Bioresources, 6(4), 4012-4027.
- Hygreen, J.G., Bowyer, J.L., 1996. Forest Products and Wood Science 3. Edition IOWA State University Press, ISBN: 0-81382-256-4.
- Hygreen, J.G., Bowyer, J.L., 1996. Juvenile Wood, Reaction Wood, and Wood of Branches and Roots, Forest Products and Wood Science, An introduction, Iowa State University Press/Ames, 102-108.
- Hernandez, R.E., Koubaa, A., Beaudoin, M., Fortin, Y., 1998. Selected Mechanical Properties of Fast-Growing Poplar Hybrid Clones. Wood and Fiber Science, 30(2), 138-147.
- Hoag, M.L., Krahmer, R.L., 1991. Polychromatic X-ray attenuation characteristic and wood density applications. Wood Fiber Science, 23(1),23-31.
- Hunt, M.O., Triche, M.H., McCabe, G.P., Hoover, W.L., 1989. Tensile Properties of yellow-poplar veneerstrands, Forest Product Journal, 39, 31-33.
- Ishiguri, F., Terazawa, E., Matsumoto, K., Sanpe, H., Ishido, M., Ohno, H., Iizuka, K., Yokota, S., Yoshizawa, N., 2009. Difference Between Juvenile Wood and Mature Wood in Compressive and Shear Strength of 55-year-old Sugi (*Cryptomeria japonica* D. Don) Trees Originated from Seedlings. Bull. Utsunomiya University. Forest, 45(3).
- Jackson, M., Megraw, R.A., 1985. Impact of Juvenile Wood on Pulp and Paper Products, Workshop on Juvenile Wood: What Does It Mean to Forest Management and Forest Products? Forest Product Research Society and Society of American Foresters, Oregon/United States.

- Johnson, S.M., 2006. Infrared Thermography and Thermoelastic Stress Analysis of Composite Materials and Structural Systems. Master of Science in the School of Civil and Environmental Engineering, Thesis, 137p.
- Kalay, H.Z., Yavuz, H., Karagül, R., Altun, L., 1993. Kızılçam'ın Orta Karadeniz Bölümü Arazisinde Dikey ve Yatay Yayılışının Bitki Kuşakları ve Türleri Bakımından Ekolojik İncelenmesi, Uluslararası Kızılçam Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Orman Bakanlığı Yayını, 117-129, Ankara.
- Kantarıcı, M.D., 1998. Kızılçamın Hızlı Gelişen Bir Tür Olarak Yetiştirilmesinin Ekolojik Esasları, Hızlı Gelişen Türlerle Yapılan Ağaçlandırma Çalışmalarının Değerlendirilmesi ve Yapılacak Çalışmalar, Workshop, Orman Bakanlığı Yayın Dairesi Başkanlığı, Yayın No:083, Ankara.
- Kasaplıgil, B., 1992. Türkiye'nin Geçmişteki ve Bugünkü Çam Türleri, T.C. Orman Bakanlığı, Orman Genel Müdürlüğü Yayın No:674, Seri No:69, Ankara.
- Kayacık, H., 1980. Orman ve Park Ağaçlarının Özel Sistematiği, I. Cilt Gymnospermae, İstanbul Üniversitesi. Yayın No: 2642, Orman Fak. Yayın No:281, İstanbul.
- Kellison, R.C., 1981. Characteristics Affecting Quality of Timber from Plantations, Their Determination and Scope for Modification. In. Proceedings, 17th World Congress of IUFRO, [Location unknown]. [Place of publication and publisher unknown], 77-88.
- Koga, S., Zhang, S.Y., 2002. Relationship Between Wood Density and Annual Growth Rate Components in Balsam Fir (*Abies balsams*). Wood Fiber Science, 34(1), 146-157.
- Kominsky, J.R., Luckino, J.S., Martin, T.F., 2005. Passive Infrared Thermography A Qualitative Method for Detecting Moisture Anomalies in Building envelopes, Environmental Quality Management, Inc., 1800 Carillon Boulevard, Cincinnati, OH 45240.
- Koubaa, A., Zhang, S.Y.T., Makni, S., 2002. Defining the Transition from Earlywood to Latewood in Black Spruce BASED on Intra-Ring Wood Density Profiles From X-ray Densitometry, Annual Forest Science, 59, 511-518.
- Koubaa, A., Isabel, N., Zhang, S.Y., Beaulieu, J., Bousquet, J., 2005. Transition from Juvenile to Mature Wood in Black Spruce (*Picea mariana* (Mill.) B.S.P.). Wood and Fiber Science, 37(3), 445 - 455.
- Kumar, S., 2004. Genetic Parameter Estimates for Wood Stiffness, Strength, Internal Checking, and Resin Bleeding for Radiata Pine. Canadian Journal of Forest Research, 34, 2601-2610.

- Larson, P.R., Kretschmann, D.E., Clark III., A., Isebrands, J.G., 2001. Formation and Properties of Juvenile wood in Southern Pines, A Synopsis, Forest Product Laboratory, General Technical Report, FPL-GTR-129, 3p.
- Lecleq, A., 1980. Relationships Between Beech Wood Anatomy and Its Phsico-Mechanical Properties, IAWA Bulletin 1, 65-71.
- Lee, R.G., 1985. Integrating Tree-Growing and Wood Utilization, Juvenile Wood What Does it Mean to Forest Management and Forest Products? Proceedings of a Cooperative Technical Workshop, Forest Products Research Society/Society of American Foresters, Ppublished by the Forest Products Research Society, United states, ISBN 0-935018-29-8.
- Lin,C,J,Wang, S.Y., Chiu, M.C., 2007. Crushing Strength Sampling With Minimal Damage to Taiwania (*Taiwania Cryptomerioides*) Using a Fractometer, Wood and Fiber Science, 39(1), 39 – 47.
- Lindeberg, J., 2004. X-ray Based Tree Ring Analyses, Doctoral Thesis, Swedish University of Agricultural Sciences, Sweeden, ISSN 1401-6230, ISBN 91-576-6533-8.
- Louzada, J.L.P.C., 2003. Genetic Correlations Between Wood Density Components in *Pinus pinaster* Ait. Annual Forest Science, 60, 285–294.
- Macdonald, E., Hubert, J., 2002. A Rewiew of The Effects of Silviculture on Timber Quality of Sitka Spruce, Forestry, 75(2), Oxford University Pres, ISSN: 0015-752X.
- Mattheck, C.G., Breloer, H., Bethge, K.A., Albrecht, W.A., Zipse, A.W., 1995. Use of the Fractometer to Determine the Strength of Wood With Incipient Decay, Journal of Arboriculture, 21(3),105-112.
- Meinlschmidt, P., 2000. On-line Detection of Delaminations in Laminated Wood-based Panels Using Thermography. TAPPI Plastic Laminates Symposium, 111–6s.
- Merev, N., 2003. Odun Anatomisi ve Odun Tanıtımı. Karadeniz Teknik Üniversitesi Orman Fakültesi, Genel Yayın No: 210, Fakülte Yayın No: 32, Trabzon.
- Nicholls, J.W.P., Morris, J.D., Pederick, L.A., 1980. Heritability Estimates of Density Characteristics in juvenile *Pinus radiata* Wood, Silvae Genetic, 29, 54–61.
- Örs Y., Keskin H., 2001. Ağaç Malzeme Bilgisi. Gazi Üniversitesi Ders Kitabı, 23-54s, Ankara.
- Panshin, A.J., de Zeeuw, C., 1980. Textbook of Wood Technology. McGraw-Hill Book Co., New York, 772p.

- Passialis, C., Kiriazakos, A., 2004. Juvenile and Mature Wood of Naturally-Grown Fir Trees, Germany. *Holz Roh Werkst*, 62, 476-478.
- Pazdrowski, W., Neyman, S.S., 2003. Stage Growth of Trees and Its Effect on Selected Properties of Norway Spruce (*Picea abies* (L.) Karst) Wood, *J. Polish Agriculture Universities*, 6(2).
- Pearson, R.G., Ross, B.E., 1984. Growth Rate and Bending Properties of Selected Loblolly Pines, *Wood and Fiber Science*, 16(1), 37-47, ISSN:0735-6161.
- Peszlen, I., 1995. Juvenile Wood Characteristics of Plantation Wood Species. Abstract XX, IUFRO, World Congress, Finland. *IAWA Journal*, 16-14.
- Pikk, J., Kask, R., 2006. Mechanical Properties of Juvenile Wood of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) on Myrtillus Forest Site Type. *Baltic Forestry*, 10(1), 72-78.
- Reiterer, A., Lichtenegger H, Tschegg S, Fratzi P., 1999. Experimental Evidence for a Mechanical Function of the Cellulose Microfibril Angle in Wood Cell Walls. *Philosophical Magazine A*, 79(9), 2173–2184.
- Ring, E.F.J., 2004. The Historical Development Of Thermal Imaging In Medicine. *Rheumatology*, 43(6), 800-2.
- Rowell, R. M., 2005. *Handbook of Wood Chemistry and Wood Composite*. CRC Press, 1st Edition, 135- 140p.
- Sauter, U.H., Mutz, R., Munro, B.D., 1999. Determining Juvenile-Mature Wood Transition in Scots Pine Using Latewood Density. *Wood Fiber Science*, 31(4), 416–425.
- Sembach, J., Wu D, Salerno, A., Hora, G., Busse, G., 1997. Non-destructive Evaluation of Delaminations in Laminated Wood-Based Panels by Thermographical Inspection Tools. In: Hague J, editor. *Proceedings of Workshop on Non-destructive Testing of Panel Products*, Llandudnop., 41–8.
- Selik, M., 1963. Kızılcım (*Pinus brutia* Ten.)'ın Botanik Özellikleri Üzerine Araştırmalar ve Bunların Halep Çamı (*P. halepensis* Mill.) Vasıfları ile Mukayesesi, OGM Yayınları No:353, Seri No:36, Yenilik Basımevi, İstanbul.
- Simpson, W.T., 1993. Specific Gravity, Moisture Content, and Density Relationship for Wood, FPLGTR-76, Forest Product Labour, United States.
- Smith, D.M., Larson, B.C., Keltym,J., Ashton, P.M.S., 1996. *The Practice of Silviculture: Applied Forest Ecology*, Chapter 3: The Response of

- Individual Trees to Thinning and Pruning, New York, ISBN:0-471-10941-X.
- Snell, J., 2008. Infrared Thermography:(Nearly) A DailyTool, www.snellinfrared.com.
- Stockton, G., 2003.AerialInfrared– An Asset Management Tool for District Heating System Operators By: Stockton Infrared Thermographic Services, Inc.8472 Adams Farm Road Randleman, NC 273177331, Erişim Tarihi: 02.01.2017, www.StocktonInfrared.com.
- şefik,Y., 1965. Kızılçam (*P.brutia* Ten.)’ın Kozalak ve Tohumu Üzerine Araştırmalar, Orman Genel Müdürlüğü Yayınları, No:420, Ankara.
- Taylor, F.W., Moore, J.S., 1981. A Comparison of Earlywood and Latewood Tracheid Lengths of Loblolly Pine. *Wood and Fiber*, 13(3), 159-165.
- Tibbs, A., 2004. Using Infrared Thermography to Assess Building Problems, President Closer Look In spections.
- Vargas-Hernandez, J., Adams, W.T., 1991. Genetic Variation of Wood Density Components in Young Coastal Douglas-fir. Implications for Tree breeding, *Can. Journal Forest Research*, 21, 1801–1807.
- Wang, S.Y., Chen, J.H., Hsu, K.P., Lin, C.J., Jane, M.C., 2008. Ring Characterizatics and Compressive Strength of Japanese Cedar Tress Grown Under Different Silvicultural Treatments. *Wood and Fiber Science*, 40(3), 384-391.
- Wiedenhoelft, A.C., Miller, R.B., 2005. Structure and Function of Wood, *Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites*, CRC Press, 30p.
- Wu, D., Busse, G. 1996. Remote Inspection of Wood with Lock-Inthermography. *Tappi*, 79(8), 119–23.
- Wu D, Salerno A, Sembach J, Maldague X, Rantala J, Busse G., 1997. Lock in Thermographic Inspection of Wood Particle Boards. 3056, 230–4.
- Xu, Y., Okumura, S., Noguchi, M. 1993. Thermographic Detection of Starved Joints of Wood (in Japanese). *Mukuzai Gakkaishi*, 39(5), 544–9.
- Yaltırık, F., Efe, A., 1994. Dendroloji Ders Kitabı, İstanbul Üniversitesi Yayın No: 3836, Orman Fakültesi Yayın No: 431, ISBN: 975-404-363-9, İstanbul.
- Yang, K.C., Hazanberg, G., 1994. Impact of spacing on traheid length, relative density and growth rate juvenile wood and mature wood in *Picea mariana*. *Can. Journal Forest Research*, 8, 207-226.

- Yang, K., 2002. Impact of Spacing on Juvenile Wood and Mature Wood Properties of White Spruce (*Picea glauca*). Taiwan Journal Forest Science, 17(1), 13-29.
- Yeh, T.F., Braun, J.L., Goldfarb, B., Chang, H.M., Kadla, J.F., 2006. Morphological and Chemical Variations Between Juvenile Wood, Mature Wood, and Compression Wood of Loblolly Pine (*Pinus taeda* L.), Germany. Holzforschung 60, 1-8.
- Yıldız, S., 2002. Isıl İşlem Uygulanan Doğu Kayını ve Doğu Ladini Odunlarının Fiziksel, Mekanik ve Kimyasal Özellikleri. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Doktora Tezi, Trabzon.
- Zhang, S.Y., Zhong, Y., 1992. Structure-Property Relationship of Wood in East-Liaoning Oak, Wood Science Technology, 26, 139-149.
- Zobel, B.J., McElwee, R.L., 1958. Natural Variation in Wood Specific Gravity of Loblolly Pine and Analysis of Contributing Factors, 41, 158-161.
- Zobel, B.J., 1972. Three Rings-per-inch Dense Southern Pine Can It Be Developed. Journal of Forestry, 70, 333-335.
- Zobel, B., Blair, R., 1976. Wood and Pulp Properties of Juvenile Wood and Topwood of the Southern Pines. Applied Polymer Symposium, 28, 421-433.
- Zobel, B.J., van Buijtenen, J.P., 1989. Wood Variation its Causes and Control. Berlin, Springer-Verlag, 418p.
- Zobel, B.J., 1992. Silvicultural Effects on Wood Properties, Instituto de Pesquisas Florestais, 2, 31-38.
- Zobel, B.J., Sprague, J.R., 1998. Juvenile Wood in Forest Trees, Springer -Verlag Berlin Heidelberg, ISBN: 3-540-64032-0.
- URL1. <https://www.ogm.gov.tr/ekutuphane/Yayinlar/T%C3%BCrkiye%20Orman%20Varl%C4%B1%C4%9F%C4%B1-2016-2017.pdf> Erişim Tarihi: 18.07.2017
- URL2. <http://www.boku.ac.at/botanik/wood/woodquality/>) Erişim Tarihi: 05.5.2017
- URL3. <http://adlbelge.com/termal-kameralarin-fiyatlari-ozellikleri-goruntuleri> Erişim Tarihi: 01.06.2017
- URL4. <https://www.ogm.gov.tr/ekutuphane/Yayinlar/Orman%20Atlasi.pdf> Erişim Tarihi: 06.04.2017
- URL 5. <http://www.extech.com> Erişim Tarihi: 01.06.2017

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Yasemin ŞİMŞEK
Doğum Yeri ve Yılı : Bursa, 1992
Medeni Hali : Bekar
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : yl1530132009@stud.sdu.edu.tr



Eğitim Durumu

Lise : Orhangazi Çok Programlı Lise
Lisans : SDÜ, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği

Yayımları

İçel, B., Şimşek, Y., 2017. Isıl İşlem Görmüş Ladin ve Dişbudak Odunlarının Mikroskopik Görüntüleri Üzerine Değerlendirmeler. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 21(2), 414-420.

İçel, B., Şimşek, Y. 2017. Applicability of thermography and increment coring for the determination of juvenile wood zone of Turkish red pine (*Pinus brutia* Ten.). ISFOR 2017-204, oral presentation.