T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ

TRAKYA VE BATI ANADOLU BÖLGELERİ SİLİSLEŞMİŞ AĞAÇLARININ JEOLOJİK, JEOKİMYASAL VE GEMOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Burcu ÜNER

DANIŞMAN
Prof. Dr. Sabah YILMAZ ŞAHİN

II. DANIŞMAN
Prof. Dr. Ünal AKKEMİK

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Jeoloji Mühendisliği Programı

Mayıs, 2022

Bu çalışma 08.06.2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Jeoloji Mühendisliği Programı Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

TEZ JÜRİSİ

Prof. Dr. Sabah YILMAZ ŞAHİN
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi

Prof. Dr. Atiye TUĞRUL
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi

Prof. Dr. H. Haluk SELİM
İstanbul Gelişim Üniversitesi
Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi

Prof. Dr. Yüksel ÖRGÜN TUTAY
İstanbul Teknik Üniversitesi
Maden Fakültesi

Doç. Dr. Namık AYSAL
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi

Biricik oğlum Bora’ya ithaf ediyorum…

BÜTÇE DESTEKLERİ

TRAKYA VE BATI ANADOLU BÖLGELERİ SİLİSLEŞMİŞ AĞAÇLARININ JEOLOJİK, JEOKİMYASAL VE GEMOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Bu çalışma İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir. Proje numarası: 33806

TEŞEKKÜR

Doktora tez çalışmamın başından sonuna kadar olan tüm aşamalarında bilgi birikimi ve tecrübesiyle yolumu aydınlatan, değerli görüş ve katkıları ile yönlendiren, bilimsel olarak gelişmemi sağlayan, ilgisi ve verdiği değer ile her zaman desteğini hissettiğim pek kıymetli danışman hocam Sayın Prof.Dr.Sabah YILMAZ ŞAHİN'e teşekkür ve şükranlarımı sunarım. Silisleşmiş ağaçların tanısında ve yorumlanmasında büyük katkılar sunan, sabır ve özveriyle destek sağlayan, ikinci danışmanım Sayın Prof.Dr.Ünal AKKEMİK'e teşekkürü bir borç bilirim.Doktora tez aşamasında Tez İzleme Komitesi üyeleri Sayın Prof.Dr.Atiye TUĞRUL'a ve Sayın Prof.Dr.H.HalukSELİM'e ilgilerinden ve çok değerli katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Keşan-Malkara bölgeleri arazi çalışmaları ile tezimeverdiği katkılar için kıymetli arkadaşım Dr.Cemile ERARSLAN'a, Konfokal Raman Spektroskopisi çalışmalarını gerçekleştiren Dr.Öğr.Üyesi Kıymet DENİZ'e, jeokimyasal analizlere verdikleri katkılardan dolayı Prof.Dr. Namık AYSAL'a ve Arş.Gör.Dr.Fatma ŞİŞMAN TÜKEL'e, Toplam Karbon ve Kükürt analizleri için Sayın Prof.Dr. Feridun BOYLU'ya, Taramalı Elektron Mikroskobu araştırmaları için Sayın Prof.Dr. Cem KAHRUMAN'a, Jeo.Müh.Mesut İş'e,Yük.Kim.FatihÖZBAŞ'a ve Öğr.Gör.Özge BOSO HANYALI'yagemolojikanalizleri için Uzm.Gemolog Ercüment TANDOĞAN ile Gemolog Emre GÜNAY'a, teşekkür ederim. Silisleşmişağaçların kesimlerinde katkı sağlayan Eğitmen Bahar ÇİÇEK ve Eğitmen Osman SARIKAYA'ya, Kütahya bölgesi saha çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen Tuncay KAHRAMAN'a, arazi çalışmalarına destek veren Jeo.Müh.Ahmet ÖZÇELİK'e ve orman profil çizimleri için Araş.Gör.Ferdi AKARSU'ya teşekkür ederim.

Tüm eğitim hayatım boyunca maddi ve manevi destekleri ile her daim yanımda olan annem ve babama, tez çalışmalarımda beni yalnız bırakmayan eşime ve son olarak, tüm doktora tez aşamalarımda sabırla beni bekleyen, en zorlu arazi çalışmalarına eşlik eden oğlum Bora ÜNER'e sonsuz teşekkür ederim.

Mayıs 2022 **Burcu ÜNER**

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

TEZ KABUL VE ONAYI……ii
BEYAN iii
İTHAF……...iv
BÜTÇE DESTEKLERİ v
TEŞEKKÜR.....vi
İÇİNDEKİLER……...vii
ŞEKİL LİSTESİ x
TABLO LİSTESİ..... xx
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ..... xxi
ÖZET xxiii
ABSTRACT xxvi
1. GİRİŞ.....1
1.1. ÇALIŞMA ALANLARININ TANITIMI.....3
1.1.1. Konum.....3
1.1.2. Morfoloji 5
1.1.3. İklim ve Bitki Örtüsü.....6
1.1.4. Ulaşım 6
1.2. BÖLGESEL JEOLOJİ.....7
1.2.1. Trakya Bölgesi 7
1.2.2. Batı Anadolu Bölgesi 11
1.3. SİLİSLEŞMİŞ AĞAÇLAR 13
1.3.1. Odun Anatomisi 13
1.3.1.1. Gymnospermlerin Odun Anatomisi (İğne Yapraklı Ağaçlar)……..…14
1.3.1.2. Angiospermlerin Odun Anatomisi (Geniş Yapraklı Ağaçlar)……..……19
1.3.2. Ağaçların Fosilleşme Süreçleri 22
1.3.2.1. Kömürleşme…….....22
1.3.2.2. Mumyalaşma……23
1.3.2.3. Taşlaşma (Petrifikasyon)……..24

2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE 31
2.1. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 32
3. YÖNTEM 39
3.1. SAHA ÇALIŞMALARI 39
3.2. LABORATUVAR ÇALIŞMALARI 41
3.2.1. Mineralojik-Petrografik Çalışmalar 44
3.2.2. Jeokimyasal Analiz Çalışmaları 47
3.2.3. Paleobotanik Çalışmalar 49
3.2.4. Gemolojik Çalışmalar 50
3.3. BÜRO ÇALIŞMALARI 54
4. BULGULAR 55
4.1. ÇALIŞMA ALANLARININ JEOLOJİSİ 55
4.1.1. Trakya Bölgesi 55
4.1.1.1. Malkara (Tekirdağ) – Keşan (Edirne) ve Civarının Jeolojisi 55
4.1.1.2. Yalıköy-Silivri-Beylikdüzü (İstanbul) ve Civarının Jeolojisi 64
4.1.2. Batı Anadolu Bölgesi 71
4.1.2.1. Tavşanlı (Kütahya) ve Civarının Jeolojisi 71
4.1.2.2. Osmancalı (Manisa) ve Civarının Jeolojisi 74
4.1.2.3. Banaz (Uşak) ve Civarının Jeolojisi 78
4.2. MİNERALOJİK-PETROGRAFİK BULGULAR 85
4.2.1. Optik Mineraloji 85
4.2.1.1. Trakya Bölgesi 88
4.2.1.2. Batı Anadolu Bölgesi 98
4.2.2. X-Işını Kırınım Yöntemi (XRD) Analizi 105
4.2.2.1. Trakya Bölgesi 105
4.2.2.2. Batı Anadolu Bölgesi 107
4.2.3. Raman ve Konfokal Raman Spektroskopisi Analizi 108
4.2.3.1. Trakya Bölgesi 108
4.2.3.2. Batı Anadolu Bölgesi 111
4.2.4. Fourier Dönüşümlü Kızılötesi (FTIR) Spektroskopisi Analizi 112
4.3. JEOKİMYASAL BULGULAR 115
4.3.1. Taramalı Elekton Mikroskobu (SEM) ve Enerji Dispersiv Spektrum (EDS) Analizi 115
4.3.2. Tümkayaç Jeokimyası (LA-ICP-MS ve ICP-OES) 122

4.4. PALEOBOTANİK BULGULAR 135
4.5. GEMOLOJİK BULGULAR 147
4.5.1. Özgül Ağırlık 147
4.5.2. Rekraktif İndeks (RI) 148
4.5.3. Kesim İşlemleri 148
5. TARTIŞMA 155
5.1. SİLİSLEŞME SÜREÇLERİNE İLİŞKİN DEĞERLENDİRMELER 155
5.2. SİLİSLEŞMİŞ AĞAÇLARIN JEOKİMYASAL DEĞERLENDİRMESİ 159
5.3. PALEOCOĞRAFİK ve PALEOKLİMATOLOJİK DEĞERLENDİRMELER 162
5.4. SİLİSLEŞMİŞ AĞAÇLARIN GEMOLOJİK AÇIDAN DEĞERLENDİRİLMESİ 167
6. SONUÇ VE ÖNERİLER 169
KAYNAKLAR 175
İNTİHAL RAPORU İLK SAYFASI 193
ÖZGEÇMİŞ 194

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1: Trakya Bölgesi silisleşmiş ağaç çalışma alanlarının yer bulduru haritası. 4

Şekil 1.2: Batı Anadolu Bölgesi silisleşmiş ağaç çalışma alanlarının yer bulduru haritası..... 5

Şekil 1.3: Trakya Havzasında Istranca Birliği'ne ait yüzeylenme haritası (Özgül, 2011' den sadeleştirilerek alınmıştır). 8

Şekil 1.4: Menderes Masifi'nin basitlestirilmiş tektonik haritası (Okay et al., 2001'den değiştirilerek alınmıştır). 11

Şekil 1.5: Batı Anadolu'da yer alan Neojen havzalarını gösteren harita (Helvacı and Yağmurlu, 1995'den sadeleştirilerek alınmıştır). 12

Şekil 1.6: Anatomik özelliklerine göre iki ana gruba ayrılan odun dokularının mikroskop altındaki genel görünümleri (Parham and Gray, 1984'ten değiştirilerek alınmıştır). 14

Şekil 1.7: Gymnosperm odununa ait üç boyutlu odun kesiti ve yeralan anatomik elemanların görünümü (Steur, 2020a 'dan Türkçeleştirilerek alınmıştır). 15

Şekil 1.8: İğne yapraklı odununda traheidlerin enine (sol), teğet (orta) ve radyal kesitte (sağ) görünüşleri (ok) (Akkemik, 2018). 15

Şekil 1.9: İğne yapraklı ağaç odununda ilkbahar ve yaz odunu ile yıllık halka boyunun görünümleri (üst), ilkbahar ve yaz odununda hücrelerin yapısal farklılıkları (alt) (Hoadley, 1990'dan Türkçeleştirilerek alınmıştır). 16

Şekil 1.10: Traheidlerin boyuna çeperleri üzerinde bulunan kenarlı geçitler. Tek ve sık sıralı (sol), iki ve sık sıralı (orta), seyrek halde bulunan geçitlerin (sağ) görünümleri (Akkemik, 2018). 16

Şekil 1.11:*Pinuspinea* (çam) kenarları düz enine traheid (sol), *Pinusnigra* (çam) türünde iç kenarları dişli enine traheidlerin (sağ) görünümleri (ok) (Akkemik, 2018). 17

Şekil 1.12: Gymnosperm odununda özışınları. Radyal kesitte yatay çizgiler halinde (sol), teğet kesitte daireler şeklinde (sağ) görünümleri (Akkemik, 2018). 17

Şekil 1.13: Karşılaşma yeri geçit tipleri ve görünümleri (Akkemik, 2018). 18

Şekil 1.14: *Sequoioxylon* (sekoya) odununa ait enine kesitte içi koyu renkli şekilde görülen boyuna paranşimlerin görünümü (Akkemik, 2018). 18

Şekil 1.15: Normal boyuna reçine kanalı (sol), normal enine reçine kanalının (sağ) görünümü (Akkemik, 2018).....19

Şekil 1.16: Gymnosperm odununa ait üç boyutlu odun kesiti ve yeralan anatomik elemanların görünümü (Steur, 2020b 'den Türkçeleştirilerek alınmıştır).....19

Şekil 1.17: Farklı cins ağaçlara ait trahe dizilişlerinin görünümleri; halkalı diziliş (sol), yarı halkalı diziliş (orta), dağınık traheli diziliş (sağ) (Akkemik, 2018'den alınmıştır).....20

Şekil 1.18: Farklı ağaç türlerinde farklı genişliklerde özışınlarının görünümü (Akkemik, 2018).....21

Şekil 1.19: Bir angiosprem odununda kalın çeperli liflerin görünümü (Akkemik, 2018).....21

Şekil 1.20: Kapalı tohumlu oduna ait; enine kesitte içleri kırmızı görülen boyuna paranşim hüreleri (sol), radyal kesitte sekizden daha fazla hücrenin bir araya gelmesiyle oluşan boyuna paranşimlerin görünümü (sağda).....21

Şekil 1.21: Kömür çeşitleri ve karbon içerikleri (Bardet and Pournou, 2015).....23

Şekil 1.22: EDS analizi ile taşlaşmış ağaçlarda tespit edilen kimyasal bileşimleri ve organik madde (C) miktarının farkını gösteren spektrumlar; a) Petrifiye ağaç, b) Mumyalaşmış ağaç (Lee et al., 2018).....24

Şekil 1.23: Petrifiye ağaçların oluşum şeması (Matysová, 2016). 25

Şekil 1.24: Petrifiye ağaçların kömürleşmeyle eş zamanlı oluşan mineralizasyon aşamaları (Bardet and Pournou, 2017).....26

Şekil 1.25: Kırıntılı sedimanlar içerisinde konumlanan ağaç gövdesi ve suyun hareketi (Vitruvius, 2013). 28

Şekil 1.26: Silisifikasyon aşamalarının şematik gösterimi (CC: hücre köşeleri, CML: orta lamel birleşimleri, L: lümen, Q: sütunsal kuvars kristalleri, S1, S2, S3: ikincil duvar katmanları) (Dietrich et al., 2013) 30

Şekil 3.1: Bölgeleri temsilen verilen numune kodlarını gösteren şema. 40

Şekil 3.2: Toz numune hazırlamada kullanılan a) Öğütücü havan makinesi, b) Agat havan...42

Şekil 3.3: a) Silisleşmiş ağaç örneklerine ait üç yönlü ince kesitlerin bir bölümü ile ham örnekleri. b) İnce kesitlerin hazırlandığı İstanbul Teknik Üniversitesi Jeolojik İnce Kesit Laboratuvarı.....43

Şekil 3.4: Silisleşmiş ağaç örneklerinde odun dokusuna göre kesit alım yönlerinin görünümü; a) Enine, b) Radyal, c) Teğet kesit. 44

Şekil 3.5: a) İÜC Jeololji Mühendisliği Bölümünde yeralan XRD cihazının dış görünümü, b) gonyometre, x ışını tüpü, dedektör ve numune tutucu, c) Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Merkezi ARUM'da yer alan Panalytical Empyrean marka XRD cihazın görünümü. 45

Şekil 3.6: İÜC Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü SEM Laboratuvarının görünümü. 46

Şekil 3.7: a) İÜC Merkez Laboratuvarı Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektrometresi (FT-IR), b) GLT'de ve c) IGSL'de kullanılan Gemolojik Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektrometresi cihazları. 46

Şekil 3.8: a) Ankara Üniversitesi YEBİM' de bulunan Konfokal Raman Spektroskopisi (CRS) cihazı, b) Eskişehir Osmangazi Üniversitesi ARUM'da yer alan Raman Spektroskopisi cihazı. 47

Şekil 3.9: İÜC Jeoloji Mühendisliği Bölümü Jeokronoloji ve Jeokimya Laboratuvarı'nda bulunan a)LA modülü, b)ICP-MS, c)ICP-OES cihazının görünümü.....48

Şekil 3.10: Toplam karbon ve toplam kükürt analizinde a) kullanılan cihaz ve b) 1350 °C'de yakma işlemi.....49

Şekil 3.11: İÜC Yılık Halka Araştırmaları ve Odun Anatomisi Laboratuvarı'nda bulunan botanik mikroskobu. 50

Şekil 3.12: a)GLT' de, b)IGSL'de kullanılan özgül ağırlık ölçüm terazisinin görünümü. 51

Şekil 3.13: IGSL'de bulunan GIA üretimi refraktometre cihazının görünümü. 51

Şekil 3.14: a) Büyük dilimleme makinesi b) İnce dilimleme makinesi. 52

Şekil 3.15: a) Kaba taşlama makinesi, b) Altılı combo makinesi.....52

Şekil 3.16: a) Yatay lap makinesi, b) Yatay lap makinesinde kullanılan diskler, c) Keçe makinesi, d) Manuel zımpara kağıtları. 53

Şekil 3.17: a) Fasetron makinesi, b) Bakır zımpara diski, c) Doplama işlemi aşamaları (soldan sağa). 53

Şekil 4.1: Trakya Bölgesi batı kesimi ile çalışma alanlarının jeoloji haritası (Siyako, 2006a'dan değiştirilerek alınmıştır). 55

Şekil 4.2: Trakya Havzası Tersiyer istifinin genelleştirilmiş stratigrafik kesit (Siyako, 2006a'dan değiştirilerek alınmıştır). 56

Şekil 4.3: Trakya Havzası stratigrafisi (Siyako, 2002). 57

Şekil 4.4: Keşan Bölgesinde yer alan Danişmen Formasyonu içerisinde kömür bantlarını ve silisleşmiş ağaç seviyelerini gösteren fotoğraf ve kesit çizimi (SA: Silisleşmiş Ağaç) (Çevik Üner et., 2022'den Türkçeleştirilerek alınmıştır). 60

Şekil 4.5: a,b) Tabaka eğim yönüne dik şekilde konumlanan iri silisleşmiş ağaç gövdeleri ile, tabakalara uyumlu şekilde gözlemlenen daha ince gövde ve dal parçaları, c) İyi korunmuş örneklerde odun dokusunun makro ölçekte görünümü, d) Kömür seviyelerine yakın örneklerde silisleşme ile beraber oluşan kömürleşmenin görünümü (Çevik Üner ve diğ., 2020). 61

Şekil 4.6: Keşan bölgesinde işletilen bir kömür ocağı işletmesinde yol kenarında biriktirilen iri boyutlu silisleşmiş ağaç gövdelerinin görünümü. 62

Şekil 4.7: Malkara bölgesinde yer alan Danişmen Formasyonunun kömür bantları ile silisleşmiş ağaç seviyelerini gösteren fotoğraf ve kesit çizimi (SA: Silisleşmiş Ağaç) (Çevik Üner ve diğ., 2022'den Türkçeleştirilerek alınmıştır). 63

Şekil 4.8: a) Silisleşmiş ağaç örneklerinin bol miktarda çıkarıldığı kömür ocağı işletmesinde kumtaşı-kiltaşı ardalanmalı tabakalar ile kömür ara katmanlarının görünümü, b,c,d) İşletmeden çıkarılan iri boyutlu silisleşmiş ağaç örneklerinin görünümü (Çevik Üner ve diğ., 2020). 64

Şekil 4.9: Yalıköy, Silivri ve Beylikdüzü (İstanbul) ve civarının jeoloji haritası (Özgül, 2011'den değiştirilerek alınmıştır). 65

Şekil 4.10: İstanbul ili çalışma bölgelerini kapsayan genelleştirilmiş sütun kesiti (Özgül, 2011'den değiştirilerek alınmıştır). 66

Şekil 4.11: a,b) Yalıköy çalışma bölgesinde yer alan İstanbul Formasyonu Kıraç Üyesi ait mostraların görünümü, c) Bölgede instu olarak toplanan köşeli silisleşmiş ağaç örnekleri, d)Yalıköy sahilinden toplanan, iyi yuvarlaklaşmış silisleşmiş ağaç örneği. 68

Şekil 4.12: a) Silivri çalışma bölgesinde tutturulmamış kum ve çakıl, yarı tutturulmuş çakıltaşı olarak gözlemlenen İstanbul Formasyonu Kıraç üyesi, b,c) Birim içerisinde tespit edilen silisleşmiş ağacın görünümü, d) İnce kesit yapımı için alınan silisleşmiş ağaç örneğinin görünümü. 69

Şekil 4.13: a) Beylikdüzü bölgesinde İstanbul Formasyonu Kıraç Üyesine ait tutturulmamış çakıl ve kumlu litolojinin görünümü. b) Formasyon içerisinde tespit edilmiş iri gövdeli, opalleşmiş ağacın birim içindeki konumu. c) Bölgede halk arasında dilek taşı olarak bilenen, iri boyutlu silisleşmiş ağaç gövdesi. d) İnce kesit hazırlanması amacıyla alınan silisleşmiş ağaç örneğinin desen ve renk özelliklerinin görünümü. 70

Şekil 4.14: Tavşanlı (Kütahya) ve civarı ile silisleşmiş ağaçların toplandığı çalışma alanının jeoloji haritası (Sarıfakıoğlu, 2011'den değiştirilerek alınmıştır). 71

Şekil 4.15: Tavşanlı ve civarına ait genelleştirilmiş sütun kesit (Baş, 1987). 72

Şekil 4.16: Neojen havzası için karşılaştırmalı stratigrafik sütun kesitler ve Çokköy Formasyonuna ait farklı araştırmacıların yaş değerlendirmeleri: a. Nebert (1960), b. Bas (1986), c. Çelik (1999) d. Helvacı et al., (2016) (Helvacı et al., 2016). 73

Şekil 4.17: Tavşanlı çalışma alanında gözlenen lav akıntıları ve piroklastik malzemenin ilişkisini gösteren sütun kesit. 73

Şekil 4.18: Tavşanlı çalışma arazisinde a) Tüflü birimin, b,c) İri boyutlu sislileşmiş ağaçların, d) Birim içindeki ince dal parçasının, e) Makro olarak görülen korunmuş odun dokusunun, f) Formasyon içinde tespit edilen silis yumrusunun görünümü. 74

Şekil 4.19: Osmancalı (Manisa) ve çevresine ait jeoloji ile çalışma alanının konumunu gösteren harita (Dönmez ve diğ., 2014'den sadeleştirilerek alınmıştır). 75

Şekil 4.20: Osmancalı (Manisa) ve çevresine ait genelleştirilmiş sütun kesiti (Dönmez ve diğ., 2014'den sadeleştirilerek alınmıştır). 76

Şekil 4.21: Dumanlıdağ Volkanı ile Foça Volkanitlerinin ilişkisi (Akay and Erdoğan (2004)'dan değiştirilerek alınmıştır). 77

Şekil 4.22: Osmancalı (Manisa) bölgesinde silisleşmiş ağaç oluşum mekanizmasının gösterimi 77

Şekil 4.23: Osmancalı (Manisa) bölgesinde yüzlekler veren tüflü birim (a, b) ile çalışma alanında tespit edilen silisleşmiş ağaç örneklerinin görünümü (c, d, e, f). 78

Şekil 4.24: Çalışma alanını içine alan Banaz (Uşak) kuzey batısının jeoloji haritası (Konak, 2002'den sadeleştirilerek alınmıştır). 80

Şekil 4.25: Çalışma bölgesi ve çevresine ait stratigrafik sütun kesiti (Aydoğan, 2006'dan değiştirilerek alınmıştır). 81

Şekil 4.26: Banaz bölgesinde yer alan Yeniköy Formasyonunu görünümü (a, b), bölgede tespit edilen silisleşmiş ağaç örnekleri (c, d, e, f) ile korunmuş odun dokusunun makro görüntüsü (f). 82

Şekil 4.27: Çalışma bölgeleri olan Keşan-Malkara (A) ile Yalıköy-Silivri-Beylikdüzü (B) 'ne ait genelleştirilmiş stratigrafik kesitlerin karşılaştırması ve silisleşmiş ağaç içeren seviyelerin korelasyonu. 84

Şekil 4.28: Çalışma bölgeleri olan Tavşanlı (A) – Osmancalı (B) – Banaz (C) 'a ait genelleştirilmiş stratigrafik kesitlerin karşılaştırması ve silisleşmiş ağaç içeren seviyelerin korelasyonu. 85

Şekil 4.29: Tavşanlı (Kü9) örneğinde bir boşluk yapısında gelişen opal, kalsedon, kuvars oluşumlarının enine kesitteki görüntüleri (Çift nikol). 86

Şekil 4.30: Keşan bölgesi (K4a) silisleşmiş ağacına ait a) Enine, b) Radyal, c) Teğet yönlerdeki ince kesitlerin polarizan ışık altındaki görüntüleri ve içerdikleri opal, kalsedon, kuvars oluşumları. 87

Şekil 4.31: Keşan bölgesine ait a,b) K4 örneğinin enine kesitinde, c,d) K14 örneğinin radyal kesitinde, e,f) K16 örneğinin teğet kesitinde; tek nikol altında odun dokuları (a, c, e) ile çift nikol altında silis polimorflarının (c, d, f) görünümleri. 89

Şekil 4.32: Malkara bölgesi (M7) örneğine ait enine kesit üzerinde odun dokusunun ve hücre çeperlerinde tespit edilen organik kalıntının görünümleri (a,b; çift nikol, c,d; tek nikol). 90

Şekil 4.33: Malkara (M7) örneğine ait enine kesitte; a) Odun dokusu ve yaz odunu ile b) İri kuvars kristalleri, radyal kesitte; c) Odun dokusuna ait elemanlar ile d) Dokuya uyumlu gelişmiş mikrokristalen kuvarslar, teğet kesitte ise e) Odun dokusu elemanları ile f) Kuvars ve mikrokristalen kuvarsların görünümü. 91

Şekil 4.34: Malkara bölgesine (M2) ait tamamen kömürleşmiş örneğin tek nikol (a) ve çift (b)nikol altındaki görüntüleri. 92

Şekil 4.35: Danişmen Formasyonu kumtaşlarını oluşturan kuvars, serizit, muskovit minerallerinin tek (sol) nikolve çift (sağ) nikol görünümü. 92

Şekil 4.36: Silisleşmiş ağaçların içerisinde bulunduğu Danişmen Formasyonu silttaşı seviyesinden alınan ince kesit örneğinin polarizan mikroskop altında çift nikoldeki görüntüleri a) Keşan bölgesi (Akç), b) Malkara bölgesi (M10).....93

Şekil 4.37: Yalıköy bölgesinden alınan silisleşmiş ağaç örneğinin (Y10) enine (a, b), radyal (c, d) ve teğet kesitlerinde (e, f); tek nikol altında odun dokusu elemanları (a, c, e) ile çifnikol altındaki kuvars-mikrokristalen kuvars oluşumlarının (b, d, f) görünümleri. 94

Şekil 4.38: Silivri (S4-2) bölgesine ait silislemiş ağaç örneğinde iyi korunmamış odun dokusunun tek nikol görünümleri (a,c,e) ile silis polimorflarının görünümleri (a,c,e) (e,f; radyal yönde kesit).....95

Şekil 4.39: Beylikdüzü örneklerinin polarizan mikroskopta tek nikol (a, c, d) ve çift nikol (b, d, f) altında görünümleri. a-b) G4 örneğinin enine kesiti, c-d) G3 örneğinin radyal kesiti, e-f) G4 örneğinin teğet kesiti. 96

Şekil 4.40: Silivri bölgesinden alınan İstanbul Formasyonuna Kıraç Üyesine ait kumtaşının tek (sol) ve çift (sağ) nikoldeki görünümleri.....97

Şekil 4.41: Yalıköy bölgesinden alınan İstanbul Formasyonu Kıraç Üyesi kumtaşına ait ince kesitte, kuvars, feldispat ve mika minerallerinin tek (sol) ve çift (sağ) nikoldeki görünümleri. 97

Şekil 4.42: Kumtaşlarının kuvars-feldispat-kayaç parçası üçgen diyagram sınıflaması (Folk, 1968).....97

Şekil 4.43: İstanbul Formasyonu içinde saptanan bitki fosilinin tek nikol (sol) ve çift nikol (sağ) görüntüleri. 98

Şekil 4.44: Tavşanlı (Kü11) örneğinin tek nikol atındaki (a,c,e) odun dokusu görünümü ile çift nikol altındaki(b,d,f) odun dokusuna uyumlu gelişmiş kuvars, kalsedon ve opal oluşumlarının (f) görünümleri. (a,b) enine kesit, b,c) radyal kesit, d,e) teğet kesit). 99

Şekil 4.45: Tavşanlı bölgesi andezit tüf örneğinin tek nikol (sol) ve çift nikol (sağ) altında görünümü.....100

Şekil 4.46: Tüf sınıflamasında kullanılan üçgen diyagram (Pettijohn et al., 1987) 100

Şekil 4.47: Osmancalı (Os6) örneğinin; enine kesitte (a), radyal kesitte (b) ve teğet kesitte (c) odun dokularının ve kuvars, kalsedon, opalden oluşan mineralojik bileşiminin görüntüsü (tek nikol; sol, çift nikol; sağ).....101

Şekil 4.48: Osmancalı (Manisa) bölgesindeki Foça Tüfüne ait örnek içindeki kayaç parçası, plajiyoklaz ve kuvars mineralerinin ait tek nikol (sol) ve çift nikoldeki (sağ) görünümleri. .102

Şekil 4.49: Pettijohn et al. (1987) tüf sınıflamasında Osmancalı bölgesi yan kayacının tanımlaması (sarı alan).....102

Şekil 4.50: Banaz bölgesine ait U1 (a,b), U3 (c,d) ve U2 (e,f) örneklerinde; korunmamış odun dokusunun tek nikol altındaki görünümleri (a,c,e) ile çift nikol altında tespit edilen silis polimorflarının (b,d,f) görünümlleri. 103

Şekil 4.51: Banaz (Uşak) bölgesindeki Yeniköy Formasyonu içindeki andezitik-riyolitik tüfler içerisinde, plajiyoklaz, biyotit, amfibol mineralleri ve porfirik dokunun tek nikol (sol) ve çift nikol (sağ) altında görünümü. 104

Şekil 4.52: Malkara örneğine (M7) ait kesitte; a) Bol miktarda orta-iri tane boyuna sahip kuvars kristallerinin (çift nikol) ve b) Kısmen korunmuş odun yapısının (tek nikol)görünümü ileTavşanlı örneğine (Kü1) ait kesitte c) İnce-orta taneli kuvars kristaller ve d) Kısmen korunmuş odun dokusunun görünümleri. 104

Şekil 4.53: Trakya Bölgesi silisleşmiş ağaç örneklerine ait XRD analizlerinde elde edilen silis polimofları (Q: Kuvars/Kalsedon, Opal-CT: Kristobalit-Tridimit). 106

Şekil 4.54: Batı Anadolu Bölgesi silisleşmiş ağaç örneklerine ait XRD analizlerinde elde edilen silis polimofları (Q: Kuvars/Kalsedon, Opal-CT: Kristobalit-Tridimit). 107

Şekil 4.55: Yalıköy (Y10), Silivri (S4-2) ve Beylikdüzü (G3) silisleşmiş ağaç örneklerine ait raman spektrumları ve silis polimoflarına ait pik değerleri (Q: kuvars, Ch: Kalsedon, M: Moganit). 109

Şekil 4.56: Keşan (K14) ve Malkara (M7) silisleşmiş ağaç örneklerinde hücre çeperi ile lümenden alınan CRS okumaları ve silis polimoflarına ait pik değerleri (Q: kuvars, Ch: Kalsedon, M: Moganit, G(C): Karbon). 110

Şekil 4.57: Tavşanlı (Kü5), Osmancalı (Os4) ve Banaz (U2) silisleşmiş ağaç örneklerine ait raman spektrumları ve silis polimoflarına ait pik değerleri (Q: kuvars, Ch: Kalsedon, M: Moganit). 112

Şekil 4.58: Trakya Bölgesi silisleşmiş ağaç örneklerine (K14, M9, Y4, S4-2, G3) ait FTIR spektrumları ile elde edilen tridimit (T) ve kuvars (Q) pikleri. 114

Şekil 4.59: Batı Anadolu Bölgesi silisleşmiş ağaç örneklerine (Kü3, Os2, U2) ait FTIR spektrumları ile elde edilen tridimit (T) ve kuvars (Q) pikleri. 115

Şekil 4.60: Tavşanlı (Kü5) örneğinde tespit edilen özşekilli kuvars kristallerinin görüntüsü. 116

Şekil 4.61: a,b,c) Tavşanlı (Kü5) örneğinde lümen içlerinde gelişmiş iri kuvars kristalleri ile mikrokristalen kuvarslar. d) Osmancalı (Os3) silisleşmiş ağaç örneğinde ışınsal şekilde görünen kalsedon, mikrokristalen kuvars ve opal-CT, e) Odun yapısında içleri opal-CT ile dolmuş lümen ve kalsedon içeren hücre çeperi ile f) Büyütülmüş görüntüsü. 117

Şekil 4.62: Osmancalı (Os3) örneğinin a) Lümen içerisinde uzun kristaller şeklinde görülen opal-CT ve b) büyütülmüş görüntüsü, c) Lümen içlerinde yer alan opal-CT ve hücreler arası boşlukta gelişmiş mikrokristalen kuvars ile az miktarda kalsedon ve d) Büyütülmüş görüntüsü, e) İçi tam dolmamış, boşluklu lümende yer alan opal-A görüntüsü. 118

Şekil 4.63: Keşan (K12) örneğinin SEM altında silis polimorflarının (kalsedon ve opal) görüntüsü ile EDS yarı kantitatif analiz sonuçları. 119

Şekil 4.64: a) Keşan (K4) örneğinin, b) Keşan (K14) örneğinin, c) Malkara (M7) örneğinin SEM altında silis polimorflarının (kalsedon ve opal) görüntüsü ile EDS yarı kantitatif analiz sonuçları. 120

Şekil 4.65: a) Silivri (S4-1) örneğinin, b)) Silivri (S4-2) örneğinin, c) Beylikdüzü (G2) örneğinin SEM altında silis polimorflarının görüntüsü ile EDS yarı kantitatif analiz sonuçları. 121

Şekil 4.66: a) Tavşanlı (Kü5), b) Osmancalı (Os3) örneğinin SEM altında silis polimorflarının ve EDS analiz sonuçlarının difraktogram görüntüleri. 122

Şekil 4.67: Trakya (Mavi: Keşan (K), Malkara (M),Yalıköy (Y), Silivri (S), Beylikdüzü (G)) ve Batı Anadolu (Kırmızı: Tavşanlı (Kü), Osmancalı (Os), Banaz (U)) örnekleri SiO_2 değerlerine ait karşılaştırmalı histogram. 123

Şekil 4.68: Trakya Bölgesi (Keşan (K), Malkara (M),Yalıköy (Y), Silivri (S), Beylikdüzü (G)) silisleşmiş ağaç örneklerinin ana element oranlarının % ağırlık cinsinden histogramlarının görünümleri. 124

Şekil 4.69: Trakya Bölgesi (Keşan (K), Malkara (M),Yalıköy (Y), Silivri (S), Beylikdüzü (G)) silisleşmiş ağaç örneklerine ait bazı iz element değerlerinin ppm cinsinden histogramda görünümleri. 125

Şekil 4.70: Trakya Bölgesi silisleşmiş ağaç örneklerinin ve Hisarlıdağ Volkanitlerinden alınan bazı örmeklerin (Güçtekin, 2017) a) Örnek/PRIM-İz element (Sun and McDonough, 1989) diyagramında, b) Örnek/CHON-REE normalleştirme diyagramındaki (Boynton, 1984) görünümleri. 126

Şekil 4.71: Batı Anadolu Bölgesi (Osmancalı (Os), Tavşanlı (Kü), Banaz (U)) silisleşmiş ağaç örnekleri ana elementlerinin oksit cinsinden değerlerinin % ağırlık olarak histogramda görünümleri……132

Şekil 4.72: Batı Anadolu Bölgesi (Osmancalı (Os), Tavşanlı (Kü), Banaz (U)) silisleşmiş ağaç örneklerine ait bazı iz element değerlerinin ppm cinsinden histogramda görünümleri. 127

Şekil 4.73: Batı Anadolu Bölgesi sislisleşmiş ağaç örnekleri ile volkanik kayaç örneklerinin (: Ersoy and Helvacı, 2016; : Ersoy ve diğ., 2012; : Karaoğlu, 2012) a) Örnek/PRIM-İz element diyagramında (Sun and McDonough, 1989) b) Örnek/CHONDRITE-REE normalleştirme diyagramında (Boynton, 1984) görünümleri. 129

Şekil 4.74: Trakya Bölgesi (mavi) ve Batı Anadolu bölgesi (kırmızı) sislisleşmiş ağaç örneklerinin a) P-V-As, b) Nd-Ce-Y üçgen diyagramlarındaki görünümleri. 131

Şekil 4.75: Trakya Bölgesi (Keşan (K), Malkara (M),Yalıköy (Y), Silivri (S), Beylikdüzü (G)) ve Batı Anadolu (Tavşanlı (Kü), Osmancalı (Os), Banaz (U)) silisleşmiş ağaç örneklerinin toplam karbon (TC) ve toplam kükürt (TS) oranlarının ppm cinsinden histogramlarının görünümleri. 132

Şekil 4.76: Trakya (Keşan (K), Malkara (M), Yalıköy (Y), Silivri (S), Beylikdüzü (G)) ve Batı Anadolu (Tavşanlı (Kü), Osmancalı (Os), Banaz (U)) bölgeleri silisleşmiş ağaç örneklerine ait ateşte kayıp analiz değerlerini gösteren histogram. 133

Şekil 4.77: Silisleşmiş ağaçlarda renklenmeyi sağlayan elementler (Mustoe, 2016'dan derlenmiştir). 135

Şekil 4.78: K5 örneğinin a) Enine b) Teğet, c) Radyal kesit görünümleri. 136

Şekil 4.79: M7 örneğinin a) Enine b) Teğet, c) Radyal kesit görünümleri. 137

Şekil 4.80: K17 örneğinin a) Enine b) Teğet, c) Radyal kesit görünümleri. 138

Şekil 4.81: K11 örneğinin a) Enine b) Teğet, c) Radyal kesit görünümleri. 139

Şekil 4.82: S5 örneğinin a) Enine b) Teğet, c) Radyal kesit görünümleri. 140

Şekil 4.83: G3 örneğinin a) Enine b) Teğet, c) Radyal kesit görünümleri. 141

Şekil 4.84: S4-1 örneğinin a) Enine b) Teğet, c) Radyal kesit görünümleri. 142

Şekil 4.85: G4 örneğinin a) Enine b) Teğet, c) Radyal kesit görünümleri. 143

Şekil 4.86: Kü6 örneğinin a) Enine b) Teğet, c) Radyal kesit görünümleri. 144

Şekil 4.87: Os3 örneğinin a) Enine b) Teğet, c) Radyal kesit görünümleri. 145

Şekil 4.88: Kü11 örneğinin a) Enine b) Teğet, c) Radyal kesit görünümleri. 146

Şekil 4.89: Os11 örneğinin a) Enine b) Teğet, c) Radyal kesit görünümleri. 147

Şekil 4.90: Elde edilen tüm özgül ağırlık değerlerinin silis polimorfları ile ilişkilerini gösteren diyagram. 148

Şekil 4.91: Parlatılmış Tavşanlı (Kü2) örneğinin refraktometrede görülen 1,54 RI değeri. .. 148

Şekil 4.92: a) Tavşanlı, b) Silivri silisleşmiş ağaç örneğinin kabaşon form verilmiş ve cilalanmış görünümü ile farklı formlarda faset kesim yapılmış c) Silivri bölgesi örneğinin cilasız görünümü, d) Beylikdüzü bölgesi örneğinin cilalı görünümü. 149

Şekil 4.93: Tavşanlı (a,b) ve Beylikdüzü (c,d) silisleşmiş ağaç örneklerinin, ham (a,c) ve kaboşon form verilerek cilalanmış (b,d) görünümleri. 150

Şekil 4.94: a, b) Tavşanlı bölgesi silisleşmiş ağaçlarının ham halleri (a, c) ile kaboşan kesim ve cilalama işlem sonuçları (b, d). 151

Şekil 4.95: Silisleşmiş ağaçlarda cilanın önemi. a, c) Kaboşon kesilmiş örneklerin cila öncesi ve b,d) Cilalama işlemi sonrası görünümleri. 152

Şekil 4.96: İşlemler sırasında kırılmış silisleşmiş ağaç örneklerine örnekler (a,b). 152

Şekil 4.97: a) Yuvarlak kabaşon formda Keşan örneği ile broş, b) Dikdörtgen formda Silivri örneği ile kolye ucu,c) Yuvarlak kabaşon kesilmiş Beylikdüzü örneği ile kolye ucu, d) Damla kabaşon formda Osmancalı örneği ile kolye ucu ve e) Dikdörtgen kabaşon kesimli Beylikdüzü örneği ile tasarlanan yüzük çalışmasının görünümü.....153

Şekil 4.98: Os2 (Manisa) silisleşmiş ağaç örneğine ait, kesilmiş ince dilimin a) Cilasız, b) Cilalı görünümü.....154

Şekil 5.1: Doğal sedimanter ortamda silis fazlarının dönüşüm oranları (Mustoe and Dillhohh, 2022'den alınmıştır). 157

Şekil 5.2: Osmancalı (Os6) örneğinin XRD analiz spektrumu ile kalsedon/kuvarsa ait ideal spekturumunun karşılaştırılması.....158

Şekil 5.3: Trakya (Mavi: Keşan (K), Malkara (M), Silivri (S), Yalıköy (Y), Beylikdüzü (G)) ve Batı Anadolu (Kırmızı: Osmancalı (Os), Tavşanlı (Kü), Banaz (U)) Bölgeleri silisleşmiş ağaç örneklerine ait ana oksit değerlerini gösteren histogram. 160

Şekil 5.5: Keşan (üst) ve Malkara (alt) bölgelerinde tayini yapılan ağaçların simgesel dağılımı ve olası orman yapıları. 163

Şekil 5.6: Silivri bölgesinde tayini yapılan ağaçların simgesel dağılımı ve olası orman yapısı. 163

Şekil 5.7: Yalıköy bölgesinde tayini yapılan ağaçların simgesel dağılımı ve olası orman yapısı.....164

Şekil 5.8: Beylikdüzü bölgesinde tayini yapılan ağaçların simgesel dağılımı ve olası orman yapısı.....164

Şekil 5.9: Tavşanlı (Kütahya) bölgesinde tayini yapılan ağaçların simgesel dağılımı ve olası orman yapısı. 165

Şekil 5.10: Osmancalı (Manisa) bölgesinde tayini yapılan ağaçların simgesel dağılımı ve olası orman yapısı. 165

Şekil 5.11: Banaz (Uşak) bölgesinde tayini yapılan ağaçların simgesel dağılımı ve olası orman yapısı.....166

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 1.1: Trakya Havzasında yer alan Tersiyer birimleri (Siyako, 2006a'dan tablolaştırılarak alınmıştır). 9

Tablo 1.2: Gymnospermlerde odun elemanları. 14

Tablo 1.3: Gymnosperm odununda anatomik elemanlar. 20

Tablo 1.4: Petrifiye ağaçlarda mineralizasyon çeşitleri (Matysová, 2016). 27

Tablo 3.1: Çalışma bölgelerine ait konum bilgilerini gösteren tablo. 39

Tablo 3.2: Laboratuvar çalışmalarının yapıldığı kurum ve cihaz bilgilerine ait tablo. 41

Tablo 3.3: Silisleşmiş ağaç örneklerinde gerçekleştirilen toplam karbon ve kükürt analizi sayıları. 49

Tablo 3.4: Odun teşhisinde incelenen özellikler. 50

Tablo 4.1: Trakya Bölgesi örneklerine ait pik değerleri. 108

Tablo 4.2: Batı Anadolu Bölgesi örneklerinin raman spektroskopisi pik değerleri. 111

Tablo 4.3: Silisleşmiş ağaç örnekleri FT-IR analizlerinde elde edilen %T değerleri ile ait oldukları silis polimorfları. 113

Tablo 4.4: Trakya ve Batı Anadolu Bölgelerine aitsilisleşmiş ağaçlarda bulunan ana oksit değerleri ile 900℃ LOI, TC ve TS ölçüm değerleri 123

Tablo 4.5: Trakya ve Batı Anadolu Bölgelerindeki silisleşmiş ağaç örneklerinin ortalama iz element değerleri (ppm cinsinden verilmiştir). 128

Tablo 4.6: Trakya ve Batı Anadolu bölgelesi örneklerine ait TC ve TS değerleri. 132

Tablo 4.7: Trakya ve Batı Anadolu Bölgelesi örneklerine ait LOI değerleri. 133

Tablo 4.8: Çalışma bölgelerine ait örneklerin özgül ağırlık değerleri. 147

Tablo 6.1. Trakya ve Batı Anadolu Bölgelerindeki silisleşmiş ağaçların jeolojik-mineralojik-jeokimyasal-botanik ve gemolojik özelliklerinin karşılaştırılması. 173

Tablo 6.1 (Devam): Trakya ve Batı Anadolu Bölgelerindeki silisleşmiş ağaçların jeolojik-mineralojik-jeokimyasal-botanik ve gemolojik özelliklerinin karşılaştırılması. 174

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
~	: Yaklaşık
°	: Derece
%	: Yüzde

Kısaltmalar	Açıklama
XRD	: X- Işını Kırılım Yöntemi
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskop
EDS	: Enerji Dağılım Spektroskopisi
CRS	: Konfokal Raman Spetroskopisi
FTIR	: Fourier Dönüşümlü Kızıl Ötesi Spektroskopisi
LOI	: Ateşte kayıp
TC	: Toplam karbon
TS	:Toplam kükürt
RI	: Refraktif indeks (kırılma indeksi)
Q	: Kuvars
Ch	: Kalsedon
M	: Moganit
Opal-A	: Sulu amorf silis
Opal-CT	: Kristobalit-Tridimit
K	: Keşan bölgesinden alınan örneklerin kodu (Rakam ile)
M	: Malkara bölgesinden alınan örneklerin kodu (Rakam ile)
Y	: Yalıköy bölgesinden alınan örneklerin kodu (Rakam ile)
S	: Silivri bölgesinden alınan örneklerin kodu (Rakam ile)
G	: Beylikdüzü bölgesinden alınan örneklerin kodu (Rakam ile)
Kü	: Tavşanlı bölgesinden alınan örneklerin kodu (Rakam ile)
Os	: Osmancalı bölgesinden alınan örneklerin kodu (Rakam ile)
U	: Uşak bölgesinden alınan örneklerin kodu (Rakam ile)
cm	: Santimetre

m	: Metre
ppm	: Milyonda bir
İÜC	: İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
YEBİM	:Ankara Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve araştırma Merkezi
ARUM	: Merkezi Araştırma Laboratuvarı Uygulama ve Araştırma Merkezi
İBB KUDEB	:İstanbul Büyükşehir Belediyesi Koruma Uygulama ve Denetim Büroları
MSGSU	: Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi

ÖZET

DOKTORA TEZİ

TRAKYA VE BATI ANADOLU BÖLGELERİ SİLİSLEŞMİŞ AĞAÇLARININ JEOLOJİK, JEOKİMYASAL VE GEMOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Burcu ÜNER

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Jeoloji Mühendisliği Programı

Danışman : Prof. Dr. Sabah YILMAZ ŞAHİN

II. Danışman :Prof. Dr. Ünal AKKEMİK

Trakya ve Batı Anadolu'da farklı lokasyonlarda saptanan silisleşmiş ağaçların jeolojik, jeokimyasal ve gemolojik özelliklerinin karşılaştırmalı incelemesi doktora tez çalışması ile gerçekleştirilmiştir. Bu bölgeler, Trakya'da; Keşan (Tekirdağ), Malkara (Edirne), Yalıköy (İstanbul), Silivri (İstanbul), Beylikdüzü (İstanbul) ve civarı ile Batı Anadolu'da; Tavşanlı (Kütahya), Osmancalı (Manisa), Banaz (Uşak) ve civarını kapsamaktadır. Her iki bölgenin jeolojisinde, Tersiyer (Neojen) yaşlı karasal kırıntılı sedimanter kayaçlar içerisinde yer alan silisleşmiş ağaçlar ve çevre kayaçlarıyla ilişkisi incelenmiştir.

Silisleşmiş ağaçlar, karasal ortamda kırıntılı sedimanlarla birlikte gömülen odun dokularına, silisçe zengin suların mineralizasyonu ile oluşan fosillerdir. Bulundukları bölgede gerçekleşen eş zamanlı volkanik aktivite ile doğrudan ilişkili olan bu silisleşme mekanizması sonucunda, oduna ait dokular kısmen veya tamamen korunmaktadır. İçerdikleri silis polimorflarının incelenmesi ile petrifikasyon (taşlaşma) süreci hakkında bilgiler elde edilmektedir. Ayrıca,

odun dokusunun korunduğu örneklerde, fosil ağaç cinslerinin tespiti ile yaşadıkları dönemin botanik, klimatolojik ve coğrafik özellikleri hakkında yorumlar yapılabilmektedir.

Silisleşmiş ağaç örneklerinden, odun anatomisine uygun şekilde enine, teğet ve radyal olmak üzere üç yönlü ince kesitler alınmış ve mineralojik-petrografik açıdan incelenen örneklerde silisin polimorfları olan kuvars, kalsedon, moganit, opal-CT ve opal-A tespit edilmiştir. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM), X-Işını Kırılım Yöntemi (XRD), Raman ve Konfokal Raman Spektroskopisi (CRS), Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR) analizleri ile polarizan mikroskop altında tanımlanan silisin polimorflarının farklı yöntemlerle de tanımlanması sağlanmıştır. Jeokimyasal çalışmalar kapsamında, silisleşmiş ağaçların ana ve iz element içerikleri, SEM-Enerji Dağılım Spektroskopisi analizi (EDS), LA-ICP-MS, ICP-OES yöntemleriyle analiz edilmiştir. Buna göre, Trakya ve Batı Anadolu'daki silisleşmiş ağaç örnekleri %95,16-99,30 arasında SiO_2 içerirken, Al_2O_3, Fe_2O_3, TiO_2, MnO, CaO, MgO, K_2O, Na_2O ve P_2O_5 gibi diğer oksit değerlerini ise genellikle %1'in altında içerdiği saptanmıştır. Yalnızca Osmancalı (Manisa) örneğinin Fe_2O_3 değeri %1,26 olarak ölçülmüştür. İz elementler açısından ise Rb, Sr, Ba, Zr, Sc, Li, As, V ile Cu, Pb, Zn, Cr gibi elementler bakımından zenginliği gözlenmiştir. Nadir Toprak Elementleri (REE)'nden hafif REE'ce ise nispeten zenginleşmiştir. Her iki bölgenin örneklerinde ölçülen Toplam Karbon (TC) değerleri ortalama 0,05 ile 7,30 ve Toplam Kükürt (TS) analizleri ise ortalama 0,19-23,76 olarak tespit edilmiştir.

Paleobotanik çalışmalar kapsamında, Trakya Bölgesinde *Glyptostroboxylon rudolphii* (Bataklık servisi - Trakya Oligosen-Erken Miyoseninde ilk defa), cf. *Quercoxylon caucasicum* (Herdem yeşil meşe) ile cf. *Ginkgoxylon lesboense* (Ginkgo) (Türkiye'de ilk defa), *Taxodioxylon gypsaceum* (Bataklık servisi), cf. *Sassafrasoxylon* sp. (Defneler), *Dichrostachyoxylon zirkelii* (Fosil akasya), *Pterocaryoxylon tuncayi* (Cevizler), *Laurinoxylon* sp. (Defneler) ve *Quercus* sect. *Ilex* (Herdem yeşil meşe) odun cins ve türleri saptanmıştır. Batı Anadolu Bölgesinde ise, *Taxodioxylon* (Bataklık servisi), *Pinuxylon* (Çam), *Pterocaryoxylon* (Cevizler) ve *Quercoxylon* (Herdem yeşil meşe) fosil ağaç cinsleri tayin edilmiştir. Saptanan silisleşmiş ağaçların yaşam ortamları göz önüne alındığında, Trakya ve Batı Anadolu Bölgelerinde benzer özelliklere sahip olarak günümüzden daha sıcak, nemli subtropik bir iklimin varlığı ortaya konmuştur.

Gemolojik çalışmalar kapsamında yapılan ölçümlerde, silis polimorfları olan opal-kalsedon-kuvarsların zengin olduğu örneklerin özgül ağırlıkları 1,9-2,6 g/cm^3 arasında iken; kırılma indisleri (Refraktif İndeks-RI) 1,53-1,55 değerleri arasında ölçülmüştür. Silisleşmiş ağaçlardan seçilen örneklerde kabaşon ve daha az örnekte faset formda kesimler yapılmıştır. Sonrasında cilalanan örnekler, gümüş ile montürlenerek takıya dönüştürülmüştür. Gemolojik çalışmalar; silisleşmiş ağaçların sert malzemeler olmalarına karşın, zayıf zonlar içermeleri, dayanımsız olmaları, renk/desen çeşitliliği açısından kısıtlı ve heterojen özellik sergilemeleri nedeniyle süstaşı olarak kullanıma çok da uygun olmadığını göstermiştir. Bu nedenle, ülkemizde sınırlı alanlarda ve miktarlarda bulunan, bilimsel açıdan bulunduğu ortamın jeolojik ve paleocoğrafik evrimini tanımlamada önemli veriler sununan silisleşmiş ağaçların, jeolojik miras kapsamında yerlerinde korunmaları ve açık hava müzesi olarak topluma sunulmaları önerilmektedir.

Mayıs 2022 , 223 sayfa.

Anahtar kelimeler: Silisleşmiş ağaç, Trakya-Batı Anadolu, Herdem yeşil meşe, Opal-kalsedon-kuvars, Ana ve iz element, Özgül ağırlık

ABSTRACT

Ph.D. THESIS

GEOLOGICAL, GEOCHEMICAL AND GEMOLOGICAL INVESTIGATION OF THE SILICIFIED WOODS IN THE THRACE AND WESTERN ANATOLIAN REGIONS

Burcu ÜNER

İstanbul University-Cerrahpaşa

Institute of Graduate Studies

Department of Geological Engineering

Geological Engineering Programme

Supervisor: Prof. Dr. Sabah YILMAZ ŞAHİN

Co-Supervisor: Prof. Dr. Ünal AKKEMİK

A comparative study of the geological, geochemical and gemological properties of silicified woods found at different locations in two different regions in West-Northwestern Anatolia was carried out. These regions are in Thrace; Keşan (Tekirdağ), Malkara (Edirne), Yalıköy (Istanbul), Silivri (Istanbul), Beylikdüzü (Istanbul) and its vicinity and in Western Anatolia; it covers Tavşanlı (Kütahya), Osmancalı (Manisa), Banaz (Uşak) and its surroundings. In the geology of both regions, silicified woods in Tertiary (Neogene) aged terrestial clastic sediments were investigated.

Silicified woods are fossils formed by the mineralization of silica-rich waters into wood tissues buried with clastic sediments in the terrestrial environment. As a result of this silicification mechanism, which is directly related to the simultaneous volcanic activity in their region, the tissues of the wood are partially or completely preserved. By examining the silica polymorphs they contain, information about the petrification process is obtained. In

addition, in the samples where the wood texture is preserved, it is possible to make comments about the climate and paleogeography of the period in which they lived, by determining the fosil wood species.

Using Scanning Electron Microscopy (SEM), X-Ray Diffraction Method (XRD), Raman and Confocal Raman Spectroscopy (CRS), Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) analysis, polymorphs of silica identified under polarizing microscope can be identified by different methods. Within the scope of geochemical studies, major and trace element contents of silicified woods were analyzed by SEM-Energy Distribution Spectroscopy analysis (EDS), LA-ICP-MS, ICP-OES methods. Accordingly, silicified wood samples in Thrace and Western Anatolia contain between 95.16-99.30% SiO_2, while other oxide values such as Al_2O_3, Fe_2O_3, TiO_2, MnO, CaO, MgO, K_2O, Na_2O and P_2O_5 are generally found below 1%. In only one sample, the Fe_2O_3 value of the Osmancalı (Manisa) sample was measured as 1.26%. In terms of trace elements, it is rich in metals such as Rb, Sr, Ba, Zr, Sc, Li, As, V and Cu, Pb, Zn, Cr. Relatively enriched in REE lighter than Rare Earth Elements (REE). Average Total Carbon (TC) values measured in the samples of both regions were found to be between 0.05 and 7.30, and Total Sulfur (TS) analyzes were determined as 0.19-23.76.

Paleobotanical studies, *Glyptostroboxylon rudolphii* (Swamp cypress - for the first time in Thrace Oligocene-Early Miocene), cf. *Quercoxylon caucasicum* (Evergreen oak) with cf. *Ginkgoxylon lesboense* (Ginkgo) (for the first time in Turkey), *Taxodioxylon gypsaceum* (Swamp cypress), cf. *Sassafrasoxylon* sp. (Laurel), *Dichrostachyoxylon zirkelii* (Fossil acacia), *Pterocaryoxylon tuncayi* (Walnut), *Laurinoxylon* sp. (Laurel) and *Quercus* sect. *Ilex* (Evergreen oak) wood genus and species were determined in Thrace Region. In the Western Anatolia Region, fossil tree species *Taxodioxylon* (Swamp cypress), *Pinuxylon* (Pine), *Pterocaryoxylon* (Walnut) and *Quercoxylon* (Evergreen oak) were determined. Considering the identified silicified wood species living environments, a similarly warmer, humid subtropical climate than today was found in Thrace and Western Anatolia regions.

In the measurements made within the scope of gemological studies, the specific gravity of the samples rich in silica polymorphs opal-chalcedony-quartz was between 1.9-2.6 g/cm^3; refractive indices (Refractive Index-RI) were measured between 1.53-1.55. Cabochon cuts were made in samples selected from silicified woods, and facet cuts were made in less samples. Afterwards, the polished samples were turned in to jewelry by mounting with silver.

Gemological studies showed that although silicified woods are hard materials, they are not very suitable for use as gemstones because they contain weak zones, are unstable and exhibit limited and heterogeneous features in terms of color/pattern diversity. Consequently, it is recommended that silicified woods which are scientifically found in limited areas and quantities in our country and are important guiding materials in describing the geological and paleogeographic evolution in their own scientific environment should be preserved in situ within the scope of geological heritage and presented to the public as an open-air museum,

May2022, 223 pages.

Keywords: Silicified wood, Thrace/Western Anatolia, Evergreen oak, Opal-chalcedony-quartz, Major and trace element, Specific gravity

1. GİRİŞ

Jeolojik dönemler boyunca dünyanın farklı bölgelerinde, farklı coğrafik ve iklimsel koşullarda yaşamış olan silisleşmiş ağaçlar, kırıntılı sedimanlarla birlikte gömülen gövde, dal gibi odun dokularına, bulunduğu bölgede eş zamanlı olarak gerçekleşen volkanik aktivite ile zenginleşen silisli suların yerleşmesiyle meydana gelmiş fosillerdir. Birkaç farklı mekanizma ile gerçekleşen petrifikasyonda (taşlaşma), en sık görüleni silisleşme mekanizması olup, karbonatlaşma, karbonlaşma (kömürleşme), fosfatlaşma, manganlaşma gibi süreçlerle de gerçekleşebilir (Matysová, 2016; Mustoe, 2017; Viney et al., 2019). Oksijensiz ortamda gerçekleşen taşlaşma sırasında, ağacın dokularında yer alan organik maddeler bozularak yerlerini başta silis olmak üzere, zenginleşen su içerisinde yer alan diğer inorganik maddelere (karbonat, fosfat, demir, bakır vb.) bırakırlar. Bu şekilde oluşan fosil ağaçlarda, odun yapısına ait hücresel dokular kısmen veya tamamen korunarak cins/tür tayinleri gerçekleştirilebilir. Böylelikle, yaşadıkları dönemin botanik, coğrafik, klimatolojik açıdan yorumlanmasına olanak tanırlar. Silisleşmiş ağacın petrifikasyonunda rol oynayan elementler, çoğunlukla odun dokularına uyumlu şekilde mineral oluşumları meydana getirirler. Söz konusu minerallerin, özellikle de silis polimorflarının ayrıntılı mineralojik-petrografik ve jeokimyasal incelemeleri sonucunda volkanik aktivitenin etkileri ile silisleşme mekanizmasının işleyişi hakkında yorumlar yapılabilmektedir.

Dünyada, Endonezya, Tayland, Amerika, Yunanistan, Almanya, Mısır, Çin başta olmak üzere birçok lokasyonda, Paleozoyik, Mesozoyik ve Senozoyik'e ait çok farklı jeolojik dönemlerde, volkanik aktiviteler ile doğrudan veya dolaylı şekilde etkileşimli olarak meydana gelmiş fosil ağaç ormanları bulunmaktadır (Dolezych and van der Burgh, 2004; Kvaček et al., 2005; Voudouris et al., 2007; Kim et al., 2009; Dietrich et al., 2013; Mustoe, 2017; Mustoe and Viney, 2017; Chopparapu and Rajanikanth, 2018; Hassan, 2019; Lukens et al., 2019; Mustoe et al., 2019; Pe-Piper et al., 2019). Ülkemizde ise günümüze kadar yapılmış olan çalışmalarda silisleşmiş ağaçların, İç Anadolu, Kuzeybatı Anadolu, Batı Anadolu, Trakya ve Karadeniz Bölgelerinde Tersiyer volkanizmasına bağlı olarak oluşan volkanosedimanter-sedimanter birimler içerisinde yer aldıkları tespit edilmiştir (Özgüven-Ertan, 1971; Şanlı, 1982; Kayacık et al., 1995; Aras et al., 2004; Akkemik et al., 2005; Sakınç ve diğ., 2007; Hatipoğlu and

Türk, 2009; Akkemik and Sakınç, 2013; Akkemik et al., 2016; Acarca Bayam et al., 2018; Yurtseven 2018; Akkemik et al., 2019a; Akkemik et al., 2019b; Denk et al., 2019; Polat ve diğ., 2019; Çevik Üner ve diğ., 2020). Özellikle Ankara ve Bolu civarında geniş alanlarda ve nispeten daha bol miktarlarda bulunan silisleşmiş ağaçlarda, farklı araştırmacılar tarafından paleobotanik ve kısıtlı sayıda da jeolojik incelemeler yapılmasına karşın, ağaçların yer aldığı diğer bölgelerdeki çalışmalar oldukça sınırlı kalmıştır.

Doktora tez çalışması başlığında yer alan jeolojik, jeokimyasal ve gemolojik incelemeler ile silisleşmiş ağaçlar hakkında bilimsel açıdan kısıtlı veya eksik kalmış konuların aydınlatılması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda Trakya Bölgesi'nde; Keşan (Edirne), Malkara (Tekirdağ), Yalıköy (İstanbul), Silivri (İstanbul) ve Beylikdüzü (İstanbul) ile Batı Anadolu'da; Tavşanlı (Kütahya), Osmancalı (Manisa), Banaz (Uşak) ve civarında silisleşmiş ağaç örneklerinin yer tespiti ile bölge jeolojisinin incelenmesi için arazi çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bölgelerdeki silisleşmiş ağaçlar, Tersiyer döneminde bölgede gerçekleşen volkanik faaliyetin olduğu alanlarda ve yakınlarındaki karasal sedimanlar içerisinde tespit edilmiştir. Botanik mikroskobu incelemelerinde, odun dokusu korunmuş örneklerin cins ve tür tayinleri ile elde edilen veriler ışığında, ağaçların yaşadıkları bölgedeki jeolojik döneme ait orman yapısının yorumlamaları gerçekleştirilmiştir. Trakya ve Batı Anadolu Bölgelerinden temsilen seçilen silisleşmiş ağaç ve kayaç örneklerinde, polarizan mikroskop altında gerçekleştirilen çalışmalar ve çeşitli analizlerde (X-Işını Kırılım Yöntemi (XRD), Raman Spektroskopisi, Konfokal Raman Spektroskopisi (CRS), Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR), Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM), Özgül Ağırlık ve Refraktif indeks (RI)) içerdikleri silis polimorfları ve diğer oluşumlar saptanmış, mineralojik-petrografik yorumlamalar gerçekleştirilmiştir. Jeokimyasal çalışmalar kapsamında gerçekleştirilen Enerji Dispersiv Spektrum Analizi (EDS), LA-ICP-MS, ICP-OES, Ateşte Kayıp (LOI), Toplam Karbon (TC), Toplam Kükürt (TS) analizleri ile de elementer düzeyde sonuçlar elde edilmiş, silisleşme mekanizması ve bölge volkanizması hakkında yaklaşımlarda bulunulmuştur.

Çalışma kapsamında gerçekleştirilen gemolojik incelemelerde, çalışma bölgelerini en iyi temsil eden, en fazla renk ve desene sahip silisleşmiş ağaç örneklerinde yapılan kesme-cilalama-monturleme işlemlerinde bu ağaçların süstaşı olabilme potansiyelleri yorumlanmıştır.

1.1. ÇALIŞMA ALANLARININ TANITIMI

Doktora tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen silisleşmiş ağaç araştırmaları için iki ana bölge seçilmiştir. Bu bölgeler;

- ✓ Trakya Bölgesi ve
- ✓ Batı Anadolu Bölgesi'dir.

Seçilen temel çalışma bölgelerinin ayrıntılı olarak incelenmesi ile jeolojik açıdan (ortam, yaş vb) uygun olan birimlere sahip lokasyonlar saptanmıştır. Trakya Bölgesinde beş (5), Batı Anadolu Bölgesinde üç (3) olmak üzere toplamda sekiz (8) adet silisleşmiş ağaç lokasyonunda arazi çalışmaları yapılmıştır.

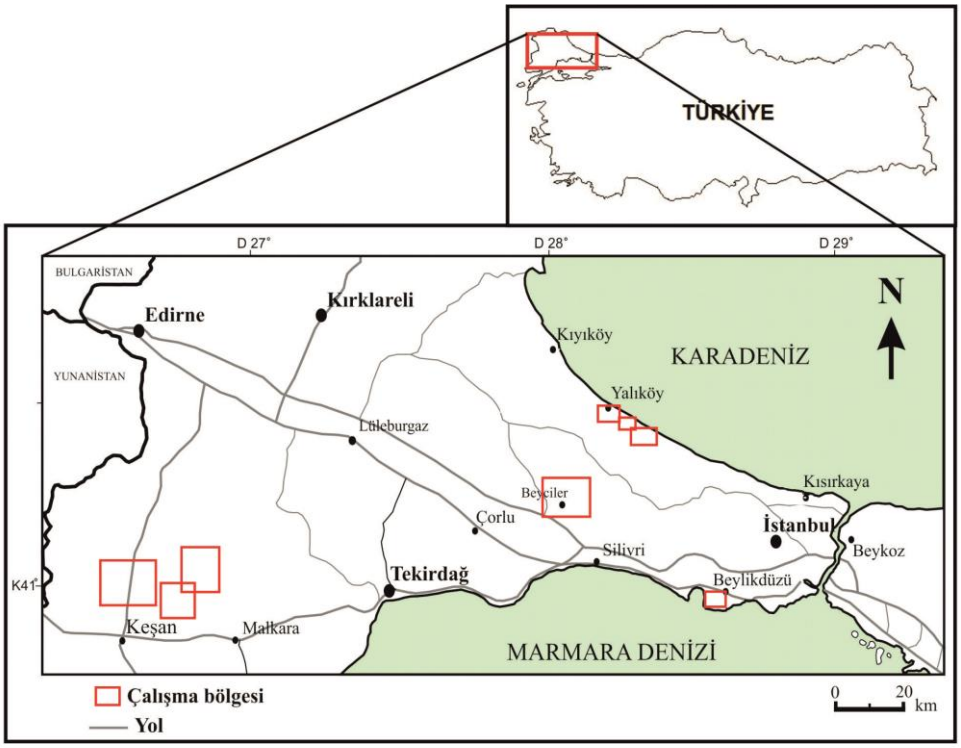
1.1.1. Konum

Doktora Tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen silisleşmiş ağaç çalışmalarına ait bölgelerden biri olan Trakya Bölgesi; 23.764 km^2 olan yüz ölçümü ile Balkan Yarımadası'nın güneydoğusunda yer almaktadır. Batıda Yunanistan ve kuzeyde Bulgaristan ile sınırlara sahip olan bölge, kuzey-kuzeydoğuda Karadeniz, güney-güneybatıda Marmara ve Saros Körfezi ile çevrilmiştir.

Çalışma bölgelerinden; Keşan, Tekirdağ iline; Malkara, Edirne iline bağlı olup, Trakya Bölgesi'nin güneybatısında bulunmaktadırlar. Güneyde yer alan Silivri ve Beylikdüzü ile Karadeniz sahilinde yer alan Yalıköy, ise İstanbul iline bağlıdır (Şekil 1.1).

Silisleşmiş ağaç çalışmalarının gerçekleştirildiği lokasyonlar;

- ✓ Malkara ve Keşan kuzeyinde yer alan Pirinççeşme ve Paşayiğit civarı,
- ✓ Yalıköy (Podima) sahil ve iç kısımları,
- ✓ Beylikdüzü güneyinde yer alan Kavaklı sahil ve iç kısımları,
- ✓ Silivri kuzeyinde yer alan Beyciler ve Sinekli civarıdır (Şekil 1.1).



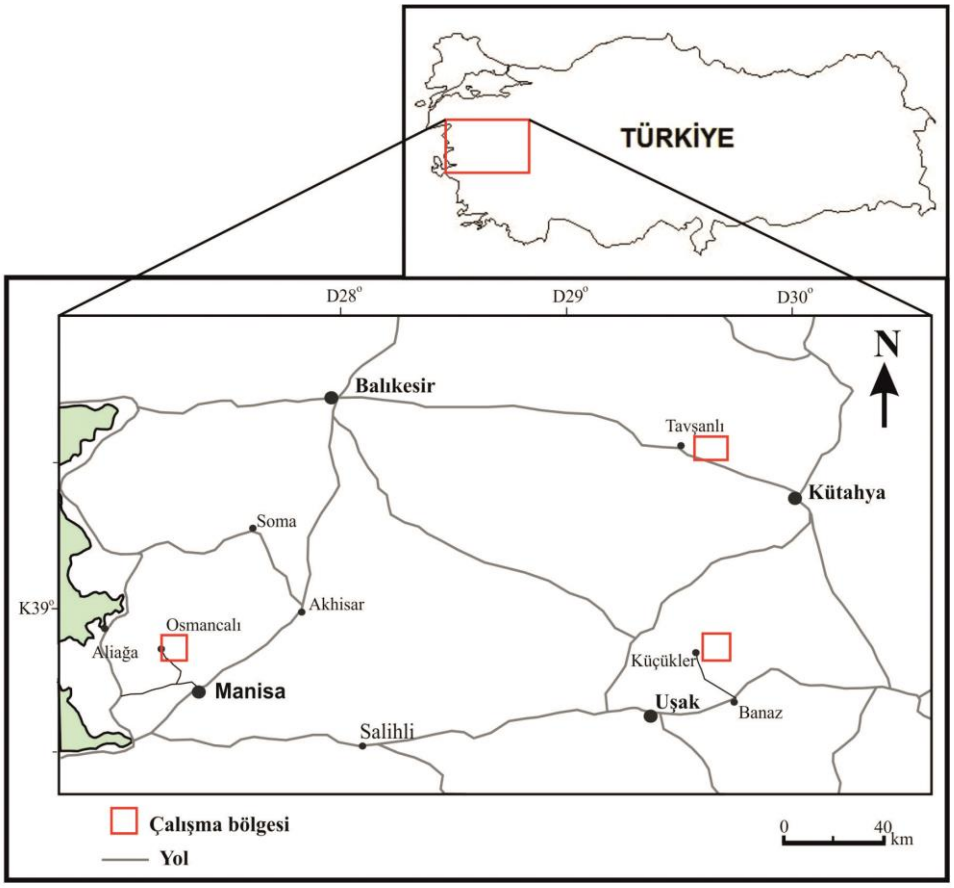
Şekil 1.1: Trakya Bölgesi silisleşmiş ağaç çalışma alanlarının yer bulduru haritası.

Silisleşmiş ağaç çalışmalarının gerçekleştirildiği diğer bölge ise Batı Anadolu Bölgesi'dir. Kuzeyde Balıkesir, güneyde Muğla, doğuda Afyon ile Muğla güneyine kadar devam eden bir kıyı şeridi ile çevrelenmektedir.

Çalışma bölgelerinden; Manisa Batı Anadolu Bölgesi'nin batı kısmında yer alırken, Kütahya kuzeyde, Uşak ili ise daha doğuda yer almaktadır (Şekil 1.2). Silisleşmiş ağaçların toplandığı ve jeolojik çalışmaların gerçekleştirildiği Tavşanlı ilçesi Kütahya iline; Osmancalı (Yunusemre ilçesi) Manisa iline; Banaz ilçesi Uşak iline bağlıdır.

Silisleşmiş ağaç örneklerinin toplandığı alanlar;

- ✓ Kütahya kuzeybatısı ve Tavşanlı doğusunda yer alan Çukurköy ve civarı,
- ✓ Manisa batısında yer alan Osmancalı ve civarı,
- ✓ Uşak kuzeydoğusundaki Küçükler Barajı ve çevresidir (Şekil 1.2).



Şekil 1.2: Batı Anadolu Bölgesi silisleşmiş ağaç çalışma alanlarının yer bulduru haritası.

1.1.2. Morfoloji

Trakya Bölgesi'nin en önemli yükseltileri kuzeyde bulunan Istranca (Yıldız) Dağları (1031 m) ile güneyde yer alan Ganos Dağı (945 m) ve Koru Dağı (726 m)' dır. Kuzeyde ve güneyde yer alan yükseltilerin arasında konumlanan Ergene Hazvası ile Trakya Bölgesi orta kısmı çukur bir çanak biçimindedir. Bölge genel olarak farklı yükseltilere sahip tepeler, sırtlar ve bunlar arasında kalan düzlükler ile kuru ve akar derelerden oluşmaktadır. Trakya Bölgesi'nin başlıca akarsuları, Meriç Nehri ve onun kolları olan Arda, Tunca, Ergene nehirleridir.

Batı Anadolu Bölgesi ise genellikle engebeli bir topografyaya sahip olup, doğu-batı doğrultulu dağ sıraları ve dağ dizileri yer almaktadır. Bakırçay, Gediz, Küçük ve Büyük Menderes Grabenleri bölgede hâkim morfolojiyi sunmaktadır. Bölgenin başlıca yükseltileri; en kuzeyde Kaz Dağı (1774 m), Babadağ (2300 m), Yunt Dağı (1076), Boz Dağlar (2159 m), Murat Dağı (2334 m), Honaz Dağı (2571 m), Manisa Dağı (1513 m), Yamanlar Dağı (1076 m), Simav Dağı (1801 m) ve Akdağ (2446 m)'dır. Bölgenin en önemli akarsuları Gediz Nehri, Susurluk, Büyük ve Küçük Menderes Nehri ile Porsuk, Değirmencik, Adırnaz Çayları ve Akarçay'dır. Yükseltiler arasında alüvyon ile örtülmüş ovalar ile vadiler yer almaktadır.

Çandarlı, Menemen, Selçuk, Edremit, Banaz ovaları bölgedeki geniş yayılım gösteren ovalardandır. Ayrıca Batı Anadolu Bölgesi, Gediz Ovası'na dik yamaçlarla inen Gördes-Uşak Platosu ile Uşak ilinde yer alan Ulubey Kanyon'u gibi çeşitli morfolojik yapılara sahiptir.

1.1.3. İklim ve Bitki Örtüsü

Trakya Bölgesi'nde yarı nemli iklim hâkimdir ve Akdeniz iklim tipi ile Karadeniz iklim tipi arasında bir geçiş gösterir. Orta kısımlarda ise karasal iklim görülür. Yazlar sıcak ve kurak, kışlar ise genellikle ılık, orta-kuzey kısımlar soğuk ve kar yağışlıdır. Yıllık sıcaklık ortalaması 13,2 °C, Ocak ayı ortalaması 2,8 °C ve Temmuz ayı ortalaması 23,9 °C'dir. Yıllık ortalama 559 mm olan yağışın çoğu ilkbahar ve sonbahar mevsimlerinde düşmektedir. Trakya Bölgesi'nin bitki örtüsü; nemli ormanlar, kuru ormanlar, stepler, maki ve kıyı bitkileri olmak üzere beş grupta toplanmıştır. Zengin içerikli orman arazileri ise genellikle kayın, meşe, çam, gürgen, kızılçam, karaçam, dişbudak, çınar türündeki ağaçlar ile kaplanmıştır. Farklı bir ekolojik yapıya sahip olasından dolayı İğneada Lagünü bitki örtüsü açısından öneme sahiptir. Bölgenin merkezinde yer alan Ergene Ovası'nın ise büyük bir kısmı ormanlık alanlardan yoksun olan steptir.

Batı Anadolu Bölgesi'nde Ege Denizi kıyı kesimlere yakın alanlarda Akdeniz iklim tipi, Kütahya ve Uşak'ında yer aldığı İç Batı Anadolu Bölgesi'nde ise karasal iklim görülmektedir. Yazları sıcak ve kurak, kışları ise kıyı kesimlerde ılık, iç kesimlerde soğuk ve yağışlı geçmektedir. Kıyı kesimler yıllık sıcaklık ortalaması 17 °C olup, ocak ayı yıllık sıcaklık ortalaması 7 °C, temmuz ayı yıllık sıcaklık ortalaması ise 28 °C' dir. Bu ölçümler iç kesimlerde ise daha düşük değerlerdedir. Bölgede yıllık ortalama yağış yaklaşık 699 mm'dir. Batı Anadolu Bölgesi'nde alçak kesimlerde maki, yükseltiye sahip kısımlarda ise orman bitki örtüsü görülmektedir. Genelinde çam, kızılçam, karaçam, meşe, kestane, kayın, ıhlamur ağaçları yaygındır. Bununla beraber maki türleri varlığını gösterirler.

1.1.4. Ulaşım

Trakya Bölgesi'nin diğer şehir ve sınır ülkeleriyle ulaşımında önemli rol oynayan ana yollar; O3 otoyolu ile D020, D100, D110,D550, D567 numaralı Devlet yolları ve E80, E87, E90 numaralı Avrupa e-yollarıdır. İlçe ve köyler arasındaki ulaşım ise kuzey-güney ve doğu-batı yönündeki çeşitli stabilize ve asfalt yollar ile sağlanmaktadır. Ayrıca Halkalı-Edirne/Kapıkule demir yolu hattı başta olmak üzere çeşitli tren aksları mevcuttur.

İstanbul istikametinden çalışma alanları olan

- ✓ Keşan (Edirne)-Malkara (Tekirdağ) sahalarına; D100 / E80 ve D550-02 / 22-56 yolları ile,
- ✓ Yalıköy (İstanbul)'e; E80 veya D100, sonrasında D569, D020 yolları ile,
- ✓ Silivri (İstanbul) bölgesi sahalarına; E80 ve 34-90 numaralı yol ile,
- ✓ Beylikdüzü (İstanbul) sahasına; D100 kara yolu sonrasında Kavaklı Caddesi üzerinden ulaşılmaktadır.

Batı Anadolu Bölgesi ulaşım açısından gelişmiş bir bölge olup, kuzey-güney ve doğu-batı doğrultuda konumlanmış birçok kara ve demir yolu bulunmaktadır. Anadolu'yu kuzey-güney doğrultusunda geçen D560 karayolu başta olmak üzere, İzmir-Uşak, İzmir-Balıkesir, İzmir-Ankara karayolları ile D230, D240, D250 devlet yolları ile Kuzey Ege Otoyolu önemli karayolu güzergâhlarıdır.

İstanbul istikametinden,

- ✓ Tavşanlı/Kütahya çalışma alanına; O5, D200 ve sonrasında D595 yolu ile,
- ✓ Osmancalı/Manisa çalışma alanına; O5, D565 ve sonrasında Osmancalı köy yolu ile,
- ✓ Banaz/Uşak çalışma alanına; O5, D200, D650 ve D615 yolu ile sağlanabilmektedir.

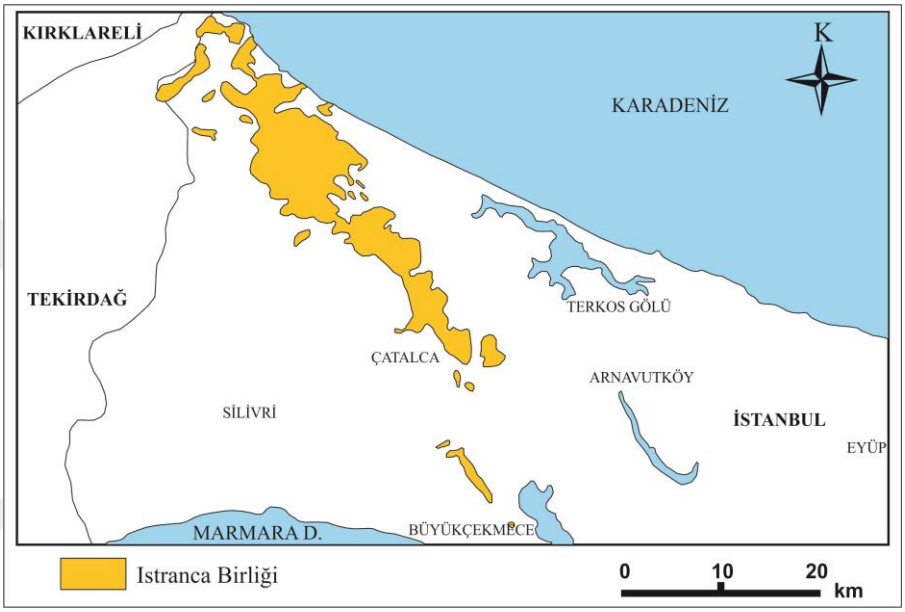
Her iki çalışma bölgeleri içerisinde farklı konumlarda yer alan silisleşmiş ağaç lokasyonları için stabilize köy yolları ve patikalar ile ulaşım sağlanabilmektedir. Ayrıca bölgede bulunan ocak işletmesi yolları, orman yolları ve Maden Tetkik ve Arama Müdürlüğü'ne ait yollar arazi çalışmalarında kolaylık sağlamaktadır.

1.2. BÖLGESEL JEOLOJİ

1.2.1. Trakya Bölgesi

Doktora Tez konusu olan silisleşmiş ağaçların bulunduğu Trakya Havzası, Pontid Tektonik Birliği'nin batısında, kuzeyde Istranca Zonu'nun kristalin kayaçlarından, güneyde ise Trakya havzasının sedimanter kayaçlarından oluşmaktadır (Okay et al., 2001; Siyako, 2006a; Siyako and Huvaz, 2007). Havzanın kuzey kesimlerini oluşturan Istranca Masifi kayaçları, Edirne-Kırklareli-Saray-Çorlu-Çatalca hattında KB-GD gidişli konuma sahip olup, Bulgaristan ve Yunanistan'a kadar uzanarak, Rodop-Pontid kuşağı olarak devam etmektedir (Şekil 1.3). Amfibolit ve yüksek yeşil şist metamorfizması geçirmiş, Prekambriyen yaşlı metagranitoyidler ile Paleozoyik yaşlı metamorfik temel kayaçları içeren masif, Geç Karbonifer-Erken-Geç Permiyen yaşlı plütonik kütleler tarafından kesilmektedir (Okay et al.,

2001; Özgül, 2011; Sunal et al., 2011; Yılmaz Şahin et al., 2014; Aysal et al., 2018). Bu birimlerin üzerine Triyas-Jura yaşlı yeşil şist metamorfizması geçirmiş metasedimanter kayaçlar uyumsuz olarak gelmektedir (Çağlayan et al., 1988; Okay et al.. 2001; Natal'in et al., 2005a;b; Sunal et al., 2006; Özgül, 2011; Sunal et al., 2011). Geç Jura-Erken Kretasede bölgede gerçekleşen yükselme sonrasında oluşan Geç Kretase yaşlı sedimanter kayaçlar ile volkanik kayaçlar ise daha yaşlı birimleri uyumsuz olarak örtülmektedir (Okay et al., 2001; Sunal et al., 2011).



Şekil 1.3: Trakya Havzasında Istranca Birliği'ne ait yüzeylenme haritası (Özgül, 2011' den sadeleştirilerek alınmıştır).

Trakya Havzasının doğu kesiminde bulunan İstanbul ili ve civarında temelde yer alan Istranca Masifine ait birimlerin yanı sıra, daha çok Anadolu yakasında yüzlekler veren, Paleozoyik (Ordovisiyen-Erken Karbonifer) - Mesozoyik (Orta-Geç Triyas, Geç Kretase) yaşlı metamorfizma göstermeyen bir istif yer almaktadır. Şengör (1984) tarafından İstanbul Napı adı verilen istife, Özgül (2005) tarafından İstanbul Birliği adlaması yapılmıştır (Özgül, 2011).

Metamorfik kayaçlar ile temsil edilen Istranca Masifinin güneyinde yüzeylenen Trakya Havzası ise, orta kesimlerinde 10.000 m kalınlığa kadar ulaşan kırıntılı ve karbonatlı sedimanter kayaçlardan oluşmaktadır (Şengüler, 2013). Trakya havzasını oluşturan birimler, Bozcaada, Gelibolu Yarımadası, Gökçeada ile Marmara Denizi güneyinde Biga Yarımadası'ndan Armutlu Yarımadası'na kadar uzanmaktadır (Akartuna, 1968; Siyako ve diğ., 1989; Siyako 2006a). Değişik dönemlerde gerçekleşen çökelim, havza kenar kısımlarında yer yer kesintiye uğramış, orta kesimler de ise devamlılık sağlayarak kalın bir

istif oluşturmuştur (Burke and Uğurtaş, 1974; Perinçek, 1987; Turgut et al., 1991; Perinçek et al., 2015). Bölgede sedimantasyon Erken Eosen zamanında transgresif bir istifle başlamış (Doust and Arıkan, 1974; Keskin, 1974; Turgut ve diğ, 1983; Saner, 1985;Siyako and Huvaz, 2007; Perinçek et al., 2015) ve Orta Oligosen-Erken Miyosen döneminde regresif karakterli olarak devam etmiştir (Keskin, 1974; Turgut ve diğ., 1983; Saner, 1985;Ediger ve Batı, 1988; Perinçek et al. 2015). Orta Eosen–Erken Oligosen döneminde havzada büyük bir nehrin meydana getirdiği delta ve türbititik ortam çökelleri birikirken, havza kuzeyinde ise karbonat çökelimi gerçekleşmiştir (Keskin, 1974; Turgut ve diğ., 1983). Geç Eosen–Erken Oligosen döneminde sedimantasyona eş zamanlı olarak oluşan aktif volkanizmanın sonucu ürünler olan dasitik, andezitik, riyolitik küller havzadaki sedimanlar içerisinde ince tabakalar şeklinde yer almıştır. Trakya Havzasında Paleojenin üzerine uyumsuzlukla gelen Neojen, Erken Miyosen sonunda batıda akarsu ve göl ortamında, kuzeydoğuda ise Paratetis etkisinde denizel karakterde başlamıştır (Sakınç ve diğ., 2000). Geç Olisen-(?) Erken Miyosen sürecinde Batı Anadolu'daki K-G yönlü hareket nedeniyle Trakya Havzasında genel bir yükselme ve önemli aşınmalar meydana gelmiştir. Akarsularla taşınan çakıl, kum, kil gibi kırıntı malzemeler çukur alanlarda geniş alanlar kaplamışlardır (Özgül, 2011). Akarsu faaliyetinin Orta-Geç Miyosen boyunca da devam etmesiyle çökelimler kuzeye doğru genişlemeye başlamış, bu arada çukur alanlarda birçok sığ göl meydana gelmiştir (Sakınç ve diğ., 1995).

Genellikle klastiklerden oluşan, şelf alanlarında ise ayrıca karbonatları da içeren Trakya Tersiyer birimleri, havzada meydana gelen önemli yükselme ve aşınma evrelerinden dolayı aralarında açısal uyumsuzluk bulunan yedi farklı zaman aralığında çökelmiştir. (Siyako, 2006a; Tablo 1.1).

Tablo 1.1: Trakya Havzasında yer alan Tersiyer birimleri (Siyako, 2006a'dan tablolaştırılarak alınmıştır).

Dönem	Birim
Paleosen-Alt Eosen	Çeltik kireçtaşı ve Gelibolu Yarımadası'nda görülen Lört Formasyonu
Alt Eosen-Orta Eosen	Güney Trakya'da Gaziköy Formasyonu ve Keşan Formasyonu. Gelibolu yarımadasında Karaağaç ve Fıçıtepe Formasyonları, kuzey Trakya'da Hamitabat Formasyonu
Orta Eosen-Alt Miyosen	Koyunbaba Formasyonu, Soğucak Formasyou, havzanın giderek derinleşmesiyle Ceylan Formasyonu, Keşan-Hayrabolu civarında Yenimuhacir Grubu (Mezardere, Osmancık, Danişmen Formasyonu), Çantaköy Formasyonu

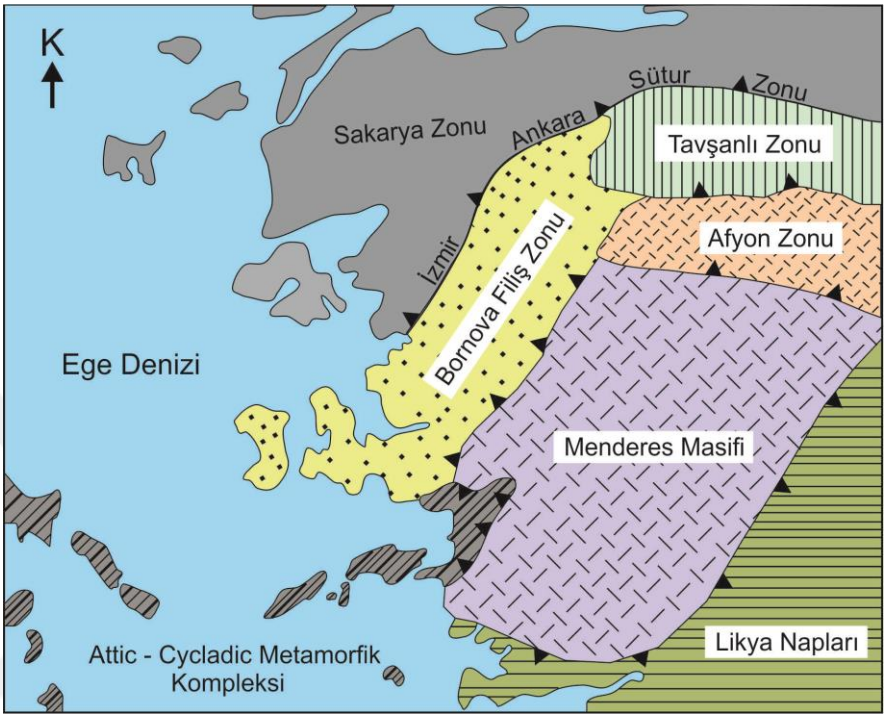
Üst Oligosen-Orta Miyosen	Havzadaki sedimantasyona eşlik eden Hisarlıdağ Volkanikleri ile Miyosen yaşlı Karatepe Bazaltı
Miyosen	Çanakkale Gurubu, Çekmece Grubu, Ergene Formasyonu
Üst Miyosen-Pliyosen	Kuzey Trakya'da Kırcasalih Formasyonu
Pleyistosen	Marmara Denizi çevresinde Marmara Formasyonu

Trakya Havzasında yer alan sedimanter kayaçların yanı sıra, Siyako (2006a) tarafından Hisarlıdağ Formasyonu olarak tanımlanan volkanikler, Güneybatı Trakya'da yüzlekler vermektedir. Hisarlıdağ Volkanikleri birçok araştırmacı tarafından Trakya Havzasındaki bütün volkanikleri kapsar şekilde çalışılmış olup, bütün istifin Orta Eosen-Pliyosen boyunca bu volkanikler tarafından kesildiği ve eş zamanlı olarak sedimantasyona eşlik ettiği ifade edilmiştir (Fytikas et al., 1984; Ercan, 1992; Yılmaz and Polat, 1998; Kaymakçı et al., 2007). Volkanikler; riyodasitik tüfler, andezit, andezitik tüfler, kırmızımsı ve yeşil lahar akmaları ile başlayıp, üste doğru sırasıyla beyaz tüf, riyodasit, andezit, bazalt ve bazalt aglomerası, ignimbirit ve aglomeralarla devam eder (Sümengen et al., 1987; Ercan, 1992; Siyako, 2006a). Havzada yer alan Miyosen yaşlı Karatepe Bazaltı da Hisarlıdağ Volkanikleri tanımlaması kapsamında değerlendirilmiştir.

Trakya Havzasında oldukça kalın bir istif olan Tersiyer sedimanter kayaçları, içerdikleri linyit kömürü seviyeleri ile petrol ve doğal gaz potansiyelleri açısından önemli yere sahip olup, çeşitli araştırmacılar tarafından incelenmiştir (Erarslan et al., 2014; Perinçek et al., 2015; Erarslan and Örgün, 2017; Güçtekin, 2017; Erarslan, 2018; Okay et al., 2020; Şengüler, 2013). Havzada yer alan kömür (genellikle linyit) oluşumları kenar kısımlarda ince bantlar şeklinde, havza ortasına doğru ise kalınlaşmakta ve derinleşmektedir (Şengüler, 2013; Erarslan and Örgün 2017; Erarslan, 2018). Trakya Bölgesinde, kömür oluşumlarının yoğun gözlendiği alanlar genellikle Istranca Masifi eteklerinde yer almakta olup, İstanbul-Sinekli, Tekirdağ-Küçük Yoncalı, Safaalan ve Edirköy (Perinçek et al., 2015; Erarslan and Örgün 2017; Erarslan, 2018) ile güneybatısında Tekirdağ-Malkara, Edirne-Keşan, Uzunköprü ve Meriç sahaları olarak belirlenmiştir (Erarslan, 2018). Trakya Havzası Tersiyer birimleri sahip oldukları fosil içeriği ile de önem taşımaktadır. Bu fosillerden olan ve doktora tez konusunu oluşturan silisleşmiş ağaçlar havzanın güney kesimlerinde yer almakta ve bölge jeolojisi, paleocoğrafyası, paleobotaniği hakkında önemli veriler sunmaktadır (Akkemik and Sakınç 2013; Çevik Üner ve diğ., 2020; Çevik Üner et al., 2022).

1.2.2. Batı Anadolu Bölgesi

Diğer temel çalışma bölgesi olan Batı Anadolu'da, Tavşanlı Zonu, Afyon Zonu, Bornova Filiş Zonu ve Menderes Masifi olmak üzere dört ayrı zon yer almakta, kuzeyde de İzmir-Ankara kenet kuşağı ile sınırlandırılmaktadır (Okay and Tüysüz, 1999; Şekil 1.4).

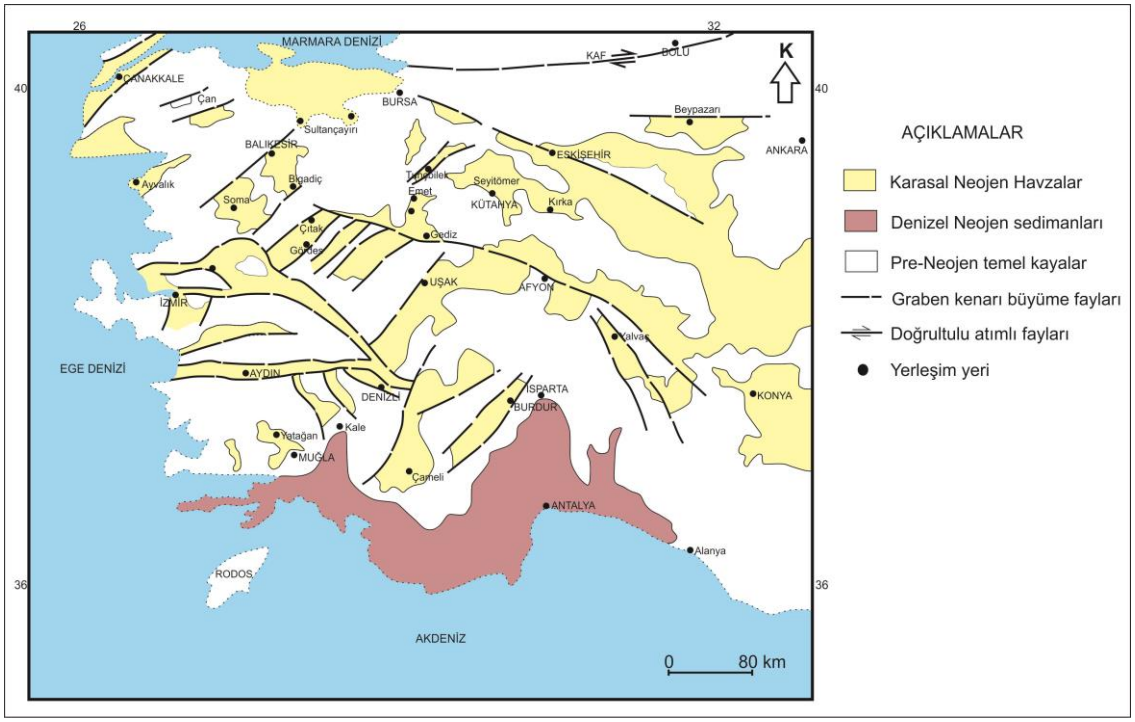


Şekil 1.4: Menderes Masifi'nin basitlestirilmiş tektonik haritası (Okay et al., 2001'den değiştirilerek alınmıştır).

Neojen öncesi bu zonlara ait temel kayaçlar, metamorfik ve metamorfik olmayan kayaçlar olarak iki farklı grup olarak sınıflandırılırlar. Temelde yer alan metamorfik kayaçlar, Menderes, Kazdağ ve Eğrigöz Masiflerine aittir (Kaya, 1981). Metamorfik olmayan temel birimler ise karmaşık bir içyapıya sahip olup İzmir-Ankara Zonu birimleri ile temsil edilir (Kaya, 1981).

Temel kayaçlar üzerinde uyumsuz olarak yer alan ve Batı Anadolu'da geniş yayılım gösteren volkanosedimanter Neojen havzaları (Gördes, Kırka, Emet, Bigadiç, Soma, Yatağan, Tunçbilek, Domaniç, Gediz, Uşak, Denizli, Ilgın, Sandıklı, Alpu vb.) stratigrafik açıdan karmaşık bir yapıya sahiptir ve akarsu, fluviyal, göl ortamları ile temsil edilirler. Karasal birimleri oluşturan kırıntılılar, temel kayaçlardan beslenmiş olup, karbonatlı kayaçlar ile birlikte bölgede yaygın olan eş zamanlı volkanik kayaçlarla iç içe bulunurlar (Yılmaz et al., 2000). Kuzeydoğu-güneybatı uzanımlı havzalar (Ersoy et al., 2014; Ersoy and Helvacı, 2016), Menderes Masifi'nin genellikle kuzey kesimlerinde yer almaktadır (Helvacı, 2015). Geç

Miyosen boyunca meydana gelen KD-GB ve KB-GD gidişli faylar ile Pliyosen-Kuvaterner'de oluşan doğu-batı yönelimli faylanmalar ile denetlenmiş ve deforme olmuşlardır (Helvacı and Yağmurlu, 1995; Helvacı, 2015). Kaya (1981)'e göre ise Miyosen yaşlı havzalar KD-GB, KKD-GGD ve K-G gidişli; Geç Miyosen ve daha genç sedimanlar ile doldurulan havzalar ise D-B, KB-GD gidişlidir. Karasal ortamı temsil eden birimlere göre daha az yayılım gösteren denizel ortam birimleri GB ve KB Anadolu'da yayılım gösterir (Şentürk, 2017). Kaya (1981) Muğla-Denizli tektonik hattının güneyindeki, İnci (1983) ise Kazdağ Masifi güneyinde yer alan denizel Neojen sedimanlarını vurgulamıştır (Şekil 1.5).



Şekil 1.5: Batı Anadolu'da yer alan Neojen havzalarını gösteren harita (Helvacı and Yağmurlu, 1995'den sadeleştirilerek alınmıştır).

Batı Anadolu Neojen havzalarında ayırtlanan alüvyonal fasiyesler çevre kayaçlarından türemiş malzemelerin oluşturduğu bloktaşı, çakıltaşı, kumtaşı ile temsil edilir. Akaru fasiyesinde çökelen kayaçlar ise daha ince taneli malzemelerden oluşmaları, çamurtaşı içermeleri ve kanal dolgusu, çapraz tabaka gibi sedimanter yapılara sahip olmaları alüvyonal fasiyeslerden ayırtlanır (Şentürk, 2017). Gölsel sedimanlar, alttan üste doğru çakıltaşı, kumtaşı, kiltaşı, volkanik kırıntılılar ile yer yer kireçtaşı ara tabakaları içermelerinden dolayı farklı bir litoloji sergiler. Neojen havzalarındaki ince taneleri kırıntılı katmanlar arasında bitümlü şeyl ara katmanları yer alır ve içerdikleri bol karasal fosil içeriği ile bulundukları birime yaş verirler (Şentürk, 2017). Genellikle alüvyonal sedimanlar üzerinde uyumsuz

olarak yer alan gölsel birimler bol miktarda alg ve gastropod fosili içerir (Helvacı ve diğ., 1987; Helvacı and Yağmurlu, 1995).

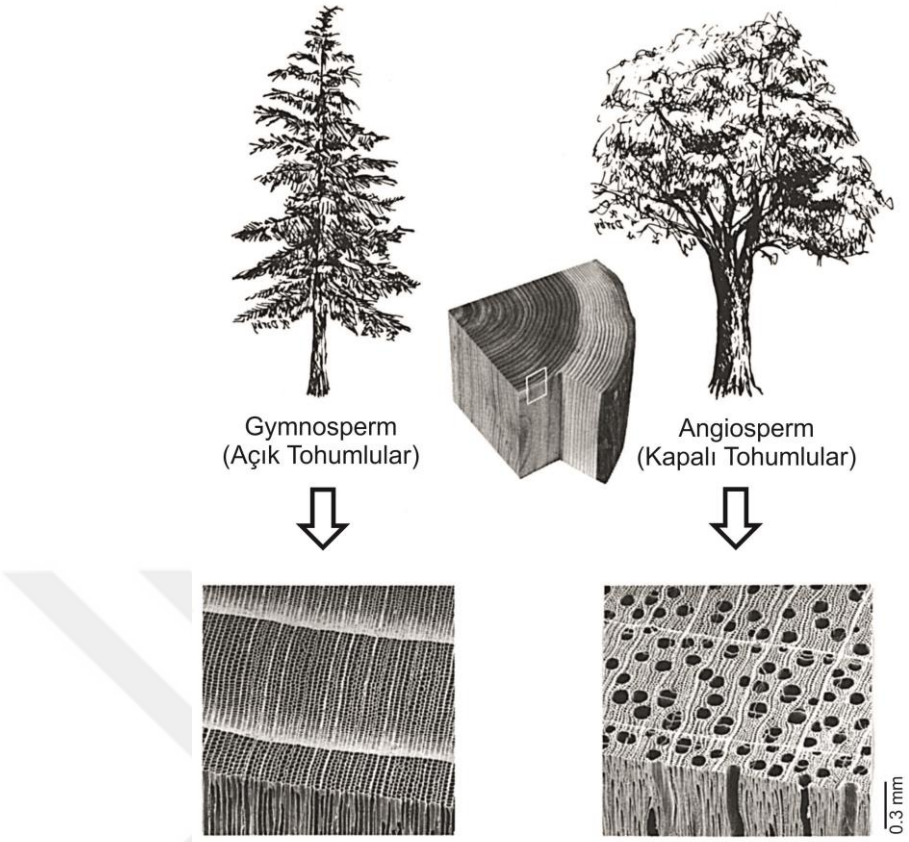
Batı Anadolu Neojen havzaları, Dünya borat rezervinin %70'ine yakın bir bölümü bulundurmalarından dolayı büyük öneme sahiptirler (Helvacı, 1983; Helvacı and Alonso, 2000; Helvacı and Orti, 1998).

1.3. SİLİSLEŞMİŞ AĞAÇLAR

1.3.1. Odun Anatomisi

İnsanlık tarihi ve hominid türlerinin varlığından çok daha eski bir dönem olan Geç Devoniyen döneminde (370 milyon yıl) damarlı bitkiler suyu ağacın üst bölgelerine taşıyabilmek için ikincil bir büyümenin ardından ksilem üretmeye başlamışlardır (Schweingruber et al., 2006). Bu doku ağaçların odun kısımlarını oluşturduğundan, fosil odun dünya çapında yalnızca Devoniyen sonrası istiflerde bulunmaktadır (Falcon-Lang, 2005; Taylor et al., 2009). Doktora tez çalışması kapsamında çeşitli özellikleri incelenen silisleşmiş ağaç örnekleri, jeolojik zamanlarda yaşamış olsalar da, günümüz ağaçlarına benzer odun anatomisine sahiptirler. Farklı fosilleşme mekanizmaları (silisleşme, kömürleşme vb.) neticesinde sahip oldukları anatomik dokuyu tamamen veya kısmen koruyabilir ya da kaybedebilirler. Mikroskobik olarak incelendiklerinde farklı anatomik özellikler sunan ağaçlar iki ana gruba ayrılırlar. Bunlar;

- Gymnospermler (açık tohumlular)
- Angiospermler (kapalı tohumlular)'dir (Şekil 1.6).



Şekil 1.6: Anatomik özelliklerine göre iki ana gruba ayrılan odun dokularının mikroskop altındaki genel görünümleri (Parham and Gray, 1984'ten değiştirilerek alınmıştır).

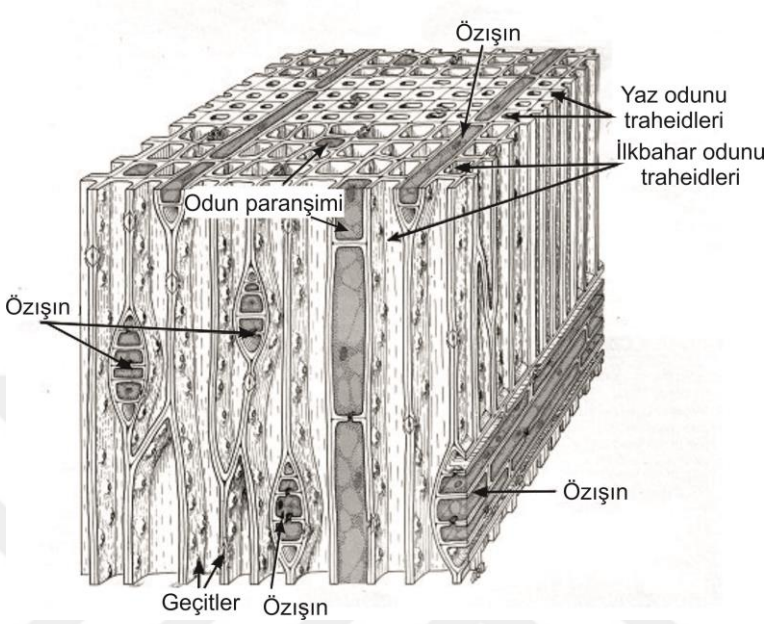
1.3.1.1. Gymnospermlerin Odun Anatomisi (İğne Yapraklı Ağaçlar)

Gymnosperm odunlar (yumuşak odunlar) ya da diğer bir ifadeyle iğne yapraklı ağaç odunları, anatomik yapısı basit ve homojen olup temelde iki ana elemandan oluşmaktadırlar. Bunlardan birincisi ağaç ekseni yönünde uzanan boyuna traheidler, ikincisi ise merkezden dış kısma (özden kabuğa) doğru yatay yönde gelişen özışınlardır. Bu iki temel eleman ile birlikte, enine traheidler, odun paranşimleri, ve reçine kanalları da yer almaktadır (Tablo 1.2). Ağacın toplam yapısında traheidler % 90-95, diğer elemanların toplamı ise %10-15 oranında bulunmaktadır (Akkemik, 2018).

Tablo 1.2: Gymnospermlerde odun elemanları.

Anatomik Elemanlar	
Asıl Elemanlar	**Yan Elemanlar**
Boyuna traheid	Enine traheid
Özışın	Odun paranşimi
	Reçine kanalı

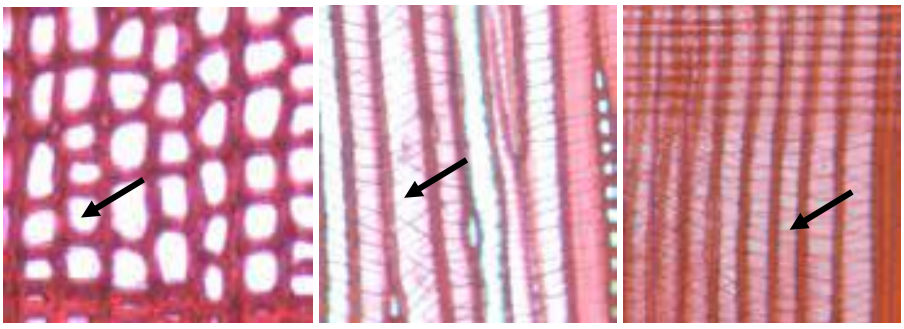
Silisleşmiş ağaçlardan alınan üç yönlü ince kesitlerde her yönde farklı şekillerde görülen bu elemanların incelenmeleri ile varlıkları, yapıları ve düzenleri belirlenerek cins/tür teşhisleri yapılmaktadır (Şekil 1.7).



Şekil 1.7: Gymnosperm odununa ait üç boyutlu odun kesiti ve yeralan anatomik elemanların görünümü (Steur, 2020a 'dan Türkçeleştirilerek alınmıştır).

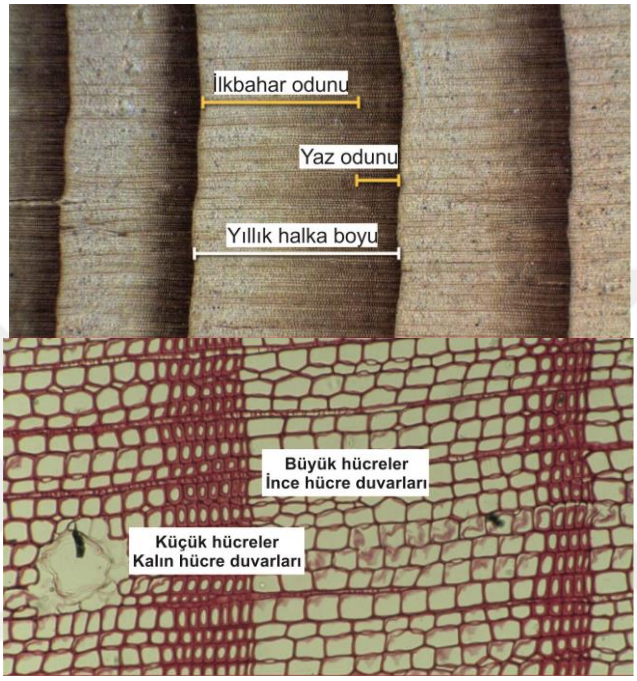
Traheidler, gymnosperm odun yapılarında en fazla bulunan temel elemanlar olup boyuna ve enine yönde olmak üzere iki çeşittirler (Şekil 1.8).

Boyuna traheidler, ağaçlarda köklerden alınan su ve mineral maddelerin yapraklara iletilmesini ve ağaca fiziki destek sağlayan elemandır. Enine kesitte içi boş (yuvarlak/köşeli) hücreler, teğet ve radyal kesitlerde ise uçları kapalı borular şeklinde gözlenmektedirler.



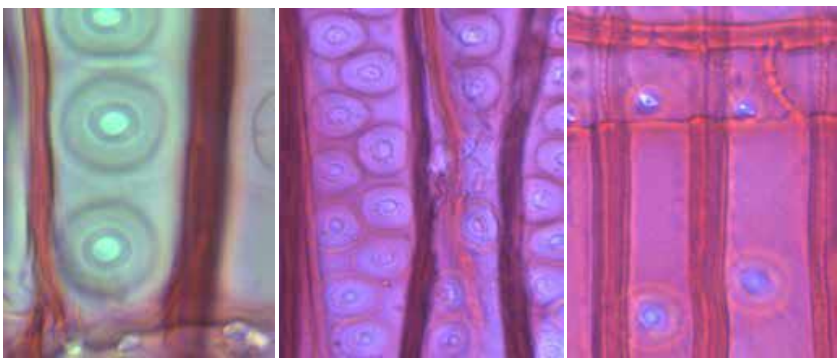
Şekil 1.8: İğne yapraklı odununda traheidlerin enine (sol), teğet (orta) ve radyal kesitte (sağ) görünüşleri (ok) (Akkemik, 2018).

Ağacın enine kesitinde görülen yıllık halkalar, ilkbaharda ilkbahar odunu ve yaz odunu olarak iki şekilde gözlemlenirler (Şekil 1.9 üst). Açık renkli ilkbahar odununda, suyun bol olması, büyümeyi sağlayan hormonlarının (öksin) fazla salgılanması nedeni ile traheidler ince çeperli, geniş çaplıdır. Koyu renkli yaz odununda ise suyun azalması, büyümenin durması nedeniyle traheidler kalın çeperli, dar çaplı gelişir (Şekil 1.9 alt).



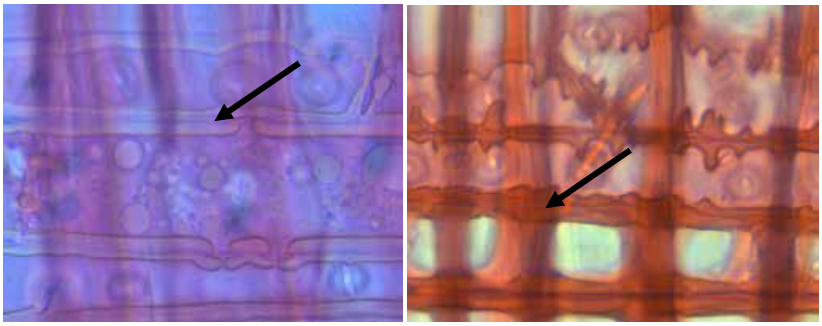
Şekil 1.9: İğne yapraklı ağaç odununda ilkbahar ve yaz odunu ile yıllık halka boyunun görünümleri (üst), ilkbahar ve yaz odununda hücrelerin yapısal farklılıkları (alt) (Hoadley, 1990'dan Türkçeleştirilerek alınmıştır).

Boyuna traheidlerin bir diğer özellikleri de uç kısımlar kapalı olmasıdır. Bundan dolayı su ve madde iletimini boyuna çeperleri üzerinde yer alan, kenarlı geçit adı verilen açıklıklardan gerçekleştirirler. Ağaç cinsine göre değişen ve radyal kesitte görülen geçitler genellikle bir sıralı ya da 2-3 sıralıdırlar (Şekil 1.10).



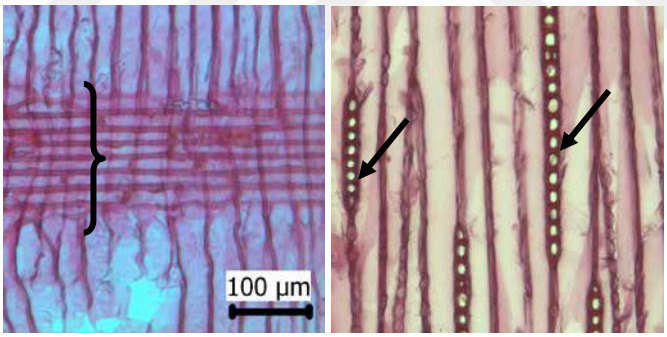
Şekil 1.10: Traheidlerin boyuna çeperleri üzerinde bulunan kenarlı geçitler. Tek ve sık sıralı (sol), iki ve sık sıralı (orta), seyrek halde bulunan geçitlerin (sağ) görünümleri (Akkemik, 2018).

Enine traheidler (Özışını traheidleri), bazı gymnosperm odunlarda özışınları ile aynı yönünde bulunan hücrelerdir. Ağaçta yatay yönde su ve madde iletimi sağlarlar ve cinslere göre varlık durumları, sıraları, şekilleri değiştiğinden ağaç teşhisinde kullanılmaktadır (Şekil 1.11).



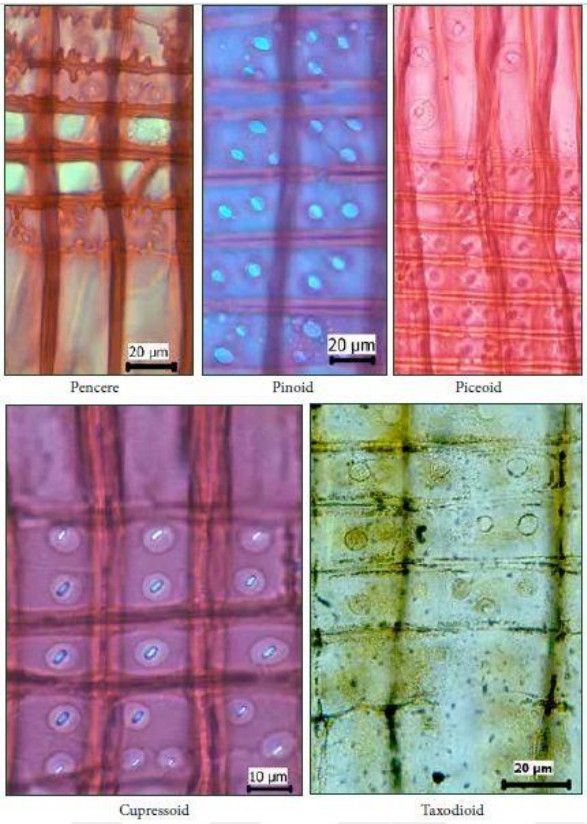
Şekil 1.11:*Pinuspinea* (çam) kenarları düz enine traheid (sol), *Pinusnigra* (çam) türünde iç kenarları dişli enine traheidlerin (sağ) görünümleri (ok) (Akkemik, 2018).

Özışınları, ağacın özünden kabuğa doğru yatay yönde uzanan, traheidlere dik yönde bulunan paranşim hücrelerinden oluşan elemanlardır. Özışınları, ağacın diri odun kısmında canlı, öz odun kısmında ise ölü hücrelerden oluşmaktadır. Besin maddelerinin depolar ve bunların yatay yönde iletilmesini sağlarlar (Şekil 1.12).



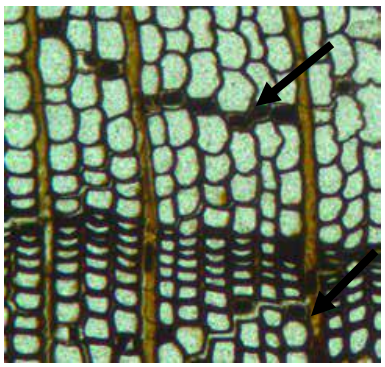
Şekil 1.12: Gymnosperm odununda özışınları. Radyal kesitte yatay çizgiler halinde (sol), teğet kesitte daireler şeklinde (sağ) görünümleri (Akkemik, 2018).

Özışınların çeperlerinde yer alan ve madde alışverişini sağlayan geçitler bunmaktadır. Bunlar Pencere, Pinoid, Piceoid, Cupressoid, Taxodioid tip geçitler olup, teşhislerinde önemli rol oynamaktadır (Şekil 1.13). Eğer bir özışını sadece kökenleri aynı özışını paranşimlerinden oluşuyorsa bunlara homojen-homoselüler özışını, paranşim hücreleri yanında kökenleri farklı yatay reçine kanalları veya enine traheidler ile bulunuyorsa heterojen-heteroselüler özışınları denmektedir.



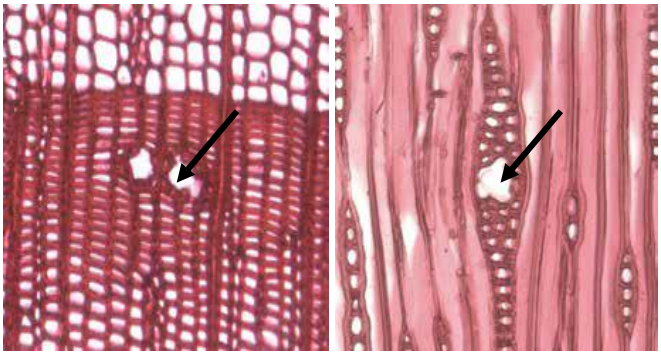
Şekil 1.13: Karşılaşma yeri geçit tipleri ve görünümleri (Akkemik, 2018).

Bazı cinslerde traheidler arasında aynı yönde uzanmış boyuna paranşim (Odun paranşimleri) hücreleri yer almaktadır. Hücrelerin genellikle 3-4 tanesi uç uca eklenerek bir boyuna paranşimi oluşturmakta ve bunlar arasındaki morfolojik yapı teşhislerde önem kazanmaktadır (Şekil 1.14).



Şekil 1.14: *Sequoioxylon* (sekoya) odununa ait enine kesitte içi koyu renkli şekilde görülen boyuna paranşimlerin görünümü (Akkemik, 2018).

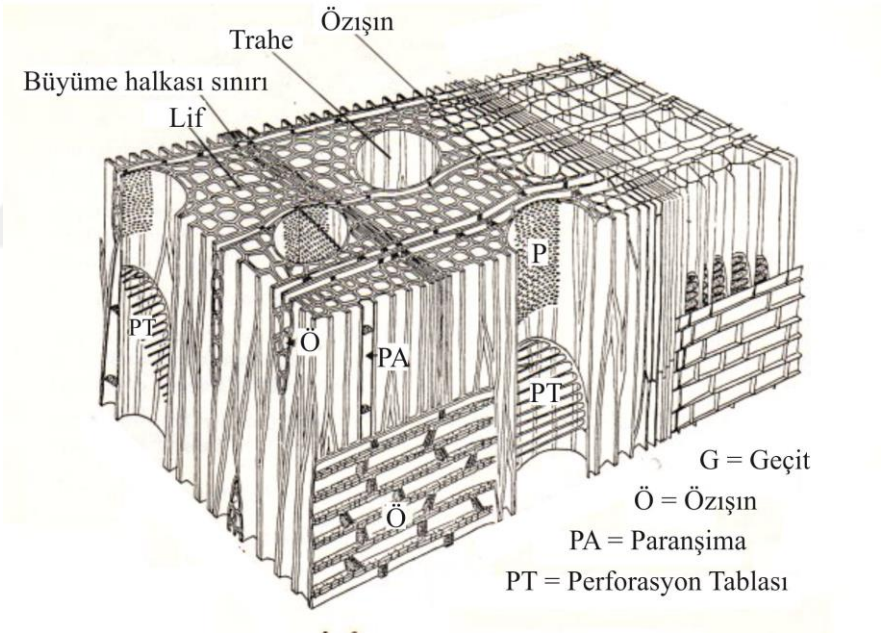
Reçine kanalları, bazı cinslerde bulunan reçine salgılayan epitel hücrelerdir. Enine ve boyuna konumlarda yer alan salgı hücrelerinin çeper kalınlık ve sayıları cinslere göre değişiklik göstermekte ve tayinlerde kullanılmaktadır (Şekil 1.15).



Şekil 1.15: Normal boyuna reçine kanalı (sol), normal enine reçine kanalının (sağ) görünümü (Akkemik, 2018).

1.3.1.2. Angiospermlerin Odun Anatomisi (Geniş Yapraklı Ağaçlar)

Angiospermlerin (Kapalı tohumlular) odun anatomisi gymnopermlere (Açık tohumlular) göre karmaşık bir yapıya sahiptir ve farklı görevler üstlenen daha fazla sayıda hücre tipine bulunmaktadır (Şekil 1.16).



Şekil 1.16: Gymnosperm odununa ait üç boyutlu odun kesiti ve yeralan anatomik elemanların görünümü (Steur, 2020b 'den Türkçeleştirilerek alınmıştır).

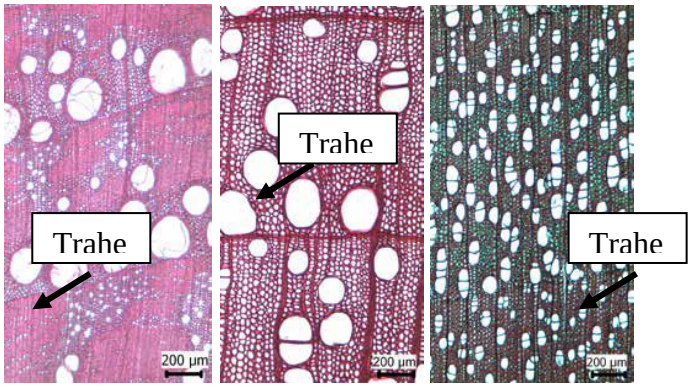
Mikroskop altında ince kesitlerde gerçekleştirilen incelemelerde asıl ve yan elemanlar belirlenmektedir ve bu hücrelerin tipleri, dizilimleri, boyutları gibi özelliklerin belirlenmesi ile de cins/tür tayinleri yapılmaktadır (Tablo 1.3).

Tablo 1.3: Gymnosperm odununda anatomik elemanlar.

Anatomik Elemanlar	
Asıl Elemanlar	**Yan Elemanlar**
Traheler	Traheidler
Lifler	Tiller
Özışınları	Yalancı Özışınları
Odun Paranşimi (Boyuna Paranşim)	Salgı Elemanları

Traheler, ağaçta boyuna yönde uzamış su iletim görevini yerine getiren, iki ucu açık, enine kesitte yuvarlak veya oval formda görülen, genellikle büyük çaplı ve kısa hücreler olup, geniş yapraklı ağaç odunlarının tayininde önemli rol oynamaktadırlar. Türlere göre uzunlukları, çapları, yapıları, dizilimleri değişmekte ve odun içerisindeki yerleşim durumlarına göre üç farklı dizilişte bulunmaktadır (Şekil 1.17):

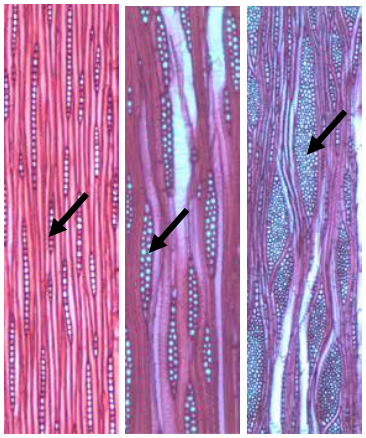
- Halkalı diziliş; halka şeklinde dizilen traheleri ilkbahar odununda büyük, yaz odunu ise küçüktür.
- Yarı halkalı diziliş; trahelerin dizilişleri halkalı ile dağınık dağılım.
- Dağınık diziliş; yıllık halka içinde dağınık olarak yerleşmiş trahelerin çapları birbirine yakındır.



Şekil 1.17: Farklı cins ağaçlara ait trahe dizilişlerinin görünümleri; halkalı diziliş (sol), yarı halkalı diziliş (orta), dağınık traheli diziliş (sağ) (Akkemik, 2018'den alınmıştır).

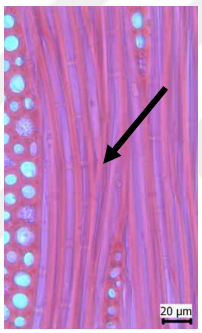
Traheidler, geniş yapraklı ağaçlarda yedek iletim elemanı olan, uçları kapalı, boyuna çeperlerinde geçitler yer alan hücrelerdir. Türlere göre yükseklikleri, çapları, şekilleri ve yapıları değişmektedir.

Özışınları, enine kesitte ince çizgiler şeklinde görülen, merkez özden çepere doğru uzanan, yatay yönde besin iletimi ve depolama görevini yerine getiren hücrelerdir. Boyları, genişlikleri, mm' deki sayıları, sıra adedi türe göre değişiklik gösterir (Şekil 1.18).



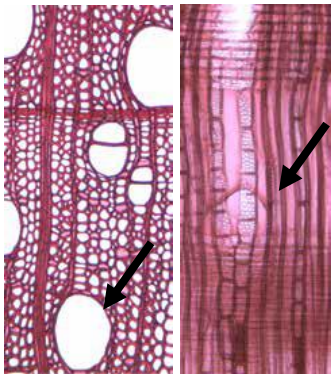
Şekil 1.18: Farklı ağaç türlerinde farklı genişliklerde özışınlarının görünümü (Akkemik, 2018).

Lifler sadece yapraklı ağaç odununda bulunan, fiziki destek görevini gerçekleştiren hücrelerdir. Çapları küçük, boyları uzun, kalın çeperli ve uçları kapalı yapıdadır (Şekil 1.19).



Şekil 1.19: Bir angiosprem odununda kalın çeperli liflerin görünümü (Akkemik, 2018).

Boyuna paranşimler, kapalı tohumlu ağaç odununda depolama görevini üstlenen, boyuna yönde uzayan, küçük ve köşeli hücrelerdir. Konum, sayı ve şekillerine göre ağacın tanınmasında kullanılırlar (Şekil 1.20).



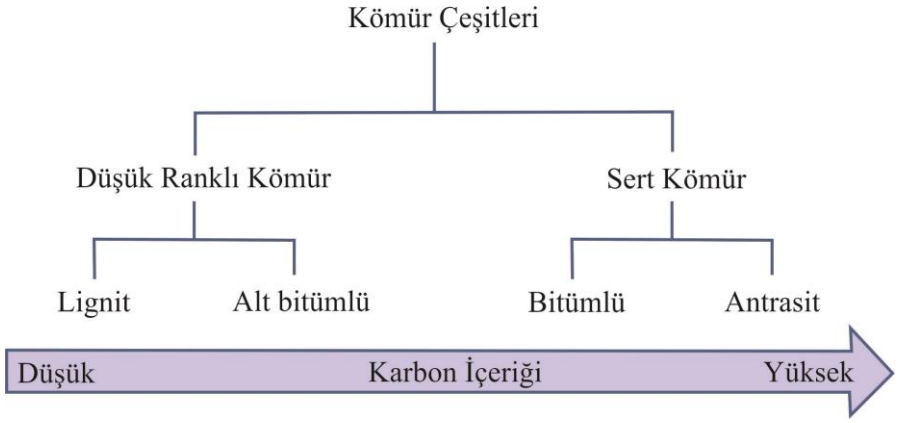
Şekil 1.20: Kapalı tohumlu oduna ait; enine kesitte içleri kırmızı görülen boyuna paranşim hüreleri (sol), radyal kesitte sekizden daha fazla hücrenin bir araya gelmesiyle oluşan boyuna paranşimlerin görünümü (sağda).

1.3.2. Ağaçların Fosilleşme Süreçleri

Fosil ağaç terimi, jeolojik dönemlere ait kırıntılı kayaçların içerisinde doğal olarak korunmuş olan odun yapılarının, değişime maruz kalmış kanıtlarını ifade etmektedir (Schopf, 1975). Odun, büyük oranda selüloz, hemiselüloz ve ligninden oluşan, oldukça dayanıklı bir yapıya sahip bir komplekstir (Poole et al., 2004) ve uğradığı değişim, organik yapıları fosile dönüştüren karmaşık bir süreçtir (Buurman, 1972; Dernbach et al., 1996; Jones and Rowe, 1999; Taylor et al., 2009) Bu süreç, iki veya daha fazla benzer yada farklı sürecin kombinasyonu olarak oluşabilir (Sweeney et al., 2009; DiMichele and Falcon-Lang, 2011). Silisleşmiş ağaçlar en temel anlatımla, sedimanlarla gömülen ağacın hücresel yapısına, ortamda var olan çeşitli inorganik elementlerin yerleşmesi ve/veya bozulan organik maddenin (lignin vb) yerine geçmesi ile oluşmaktadır. Fosilleşme koşulları, çok değişkenli bir sistemi yansıttıkları için, gömülme ortamı ve süresi, ağacın türü, taşlaşma mekanizması gibi çeşitli sayıda çevresel parametre ile yönetilir. Bir ağacın fosile dönüştürülmesinde fiziko-, biyo- ve jeokimyasal koşullara bağlı olarak, *kömürleşme* (coalification, carbonisation), *mumyalaşma* (mummification) ve *taşlaşma* (petrification) olmak üzere üç ana mekanizma ortaya çıkmaktadır (Schopf, 1975; Blackwell and Marak, 1989; Spicer, 1991; Poole et al., 2004).

1.3.2.1. Kömürleşme

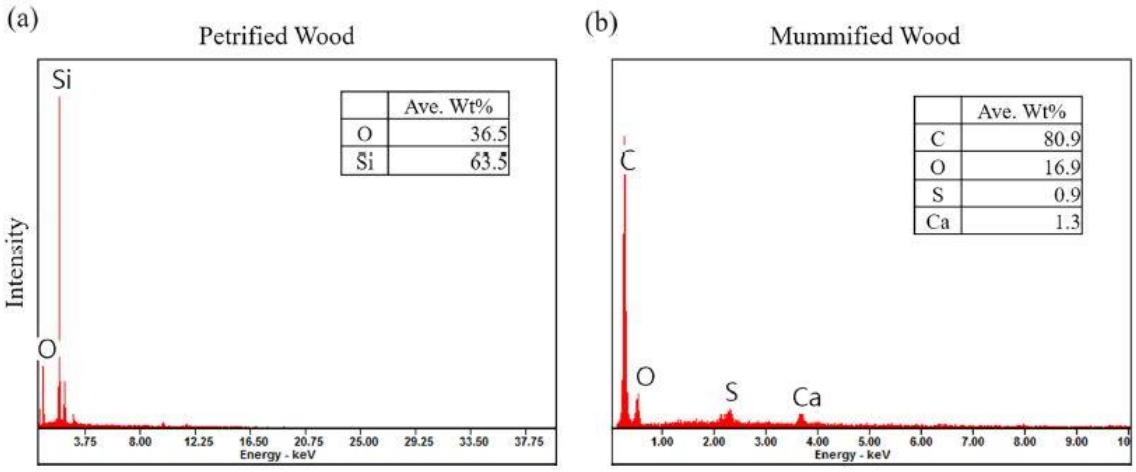
Ağacın kömürleşmesi, biyokimyasal ve jeokimyasal süreçlerden geçen karmaşık bir mekanizmadır (Matysová, 2016) ve odun dokusunun çok kısıtlı kalmasına ya da tamamen yok olmasına sebebiyet verir. Bu mekanizma, odunsu kısımların turbaya (turbalaşma) ve ardından aerobik ve anaerobik reaksiyonlar ile linyite dönüştürüldüğü biyokimyasal süreçle başlar (Russel and Barron, 1984; Hatcher et al., 1989). Daha sonra başlayan jeokimyasal süreç vasıtasıyla da yüksek sıcaklık ve basınç koşularında linyitin antrasite dönüşmesiyle kömürleşme gerçekleşir (Russel and Barron; 1984, Yao et al., 2006; Taylor et al., 2009; Şekil 1.21).



Şekil 1.21: Kömür çeşitleri ve karbon içerikleri (Bardet and Pournou, 2015).

1.3.2.2. Mumyalaşma

Mumyalaşma süreci ile fosilleşen ağaç odunu, orijinal organik maddesi korumuş ve minimum düzeyde alterasyona maruz kalmış olarak tanımlanır (Spicer, 1991; Şekil 1.22). Hücresel boyuttaki selüloz, hemiselüloz ve karonhidratların tahrip edilip yerlerine lignin polimerlerinin geçtiği ve yumuşak dokunun korunduğu bu süreç, oldukça karmaşık bir yapıda olup, diğer süreçler gibi detaylı olarak henüz çalışılmamıştır. Mumyalaşma oluşumu ile ilgili birçok araştırmacı tarafından farklı teoriler ortaya atılmıştır (Bardet and Pournou; 2017). Örneğin; Taylor et al. (2009), bitkilerin önce kuru bir ortamda dehidrasyona maruz kaldığını ve sonra gömüldüğünü varsaymaktadır. Lee et al. (2018) ise permineralizasyona uğramayan ağaç dokusunun, bölgede meydana gelen ani su baskınları gibi katastrofik bir olaydan dolayı oldukça hızlı bir şekilde gömüldüğünü sonra dehidrasyona uğradığını, bu sebeple nemli/ıslak ortamın varlığını söylemektedir. Oluşum mekanizması ne olursa olsun, araştırmacıların ortak görüşü; çeşitli biyokimyasal reaksiyonlar neticesinde mumyalaşan odunun, karbon içeriğini koruyarak makroskobik ve mikroskobik yapısının, diğer mekanizmalara göre en iyi şekilde korunduğu örnekler olduğudur (Blackwell and Marak, 1989; Lewis et al., 2003; Bardet and Pournou, 2015; Şekil 1.22). Diğer fosilleşme süreçlerine göre çok daha az miktarda bulunan mumyalaşmış ağaçlar; Mississipi (ABD)'de (Brown, 1938) ve Avrupa, Antarktika ve Arktik'te Eosen yaşlı çökeller içerisinde tespit edilmiştir (Jefferson, 1982; Jahren, 2007; Vassio et al., 2008; Erdei et al., 2009; Wolfe et al., 2012).



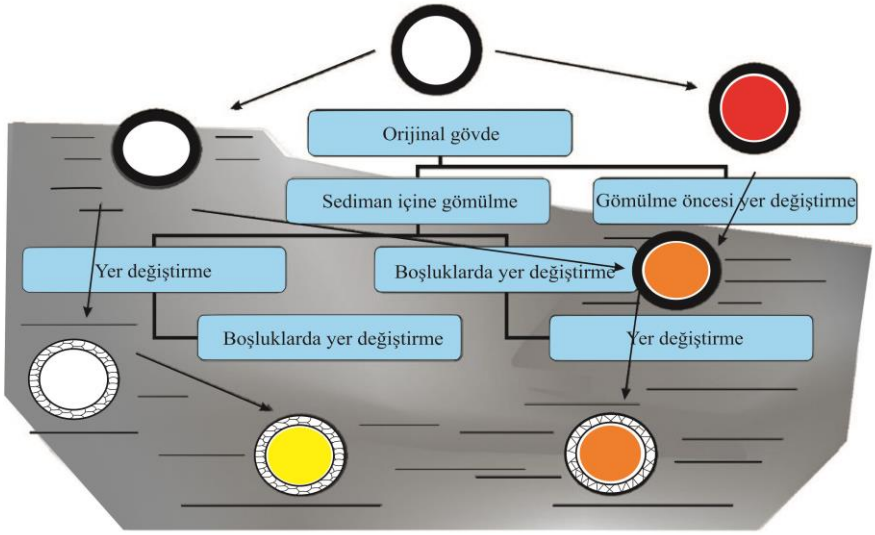
Şekil 1.22: EDS analizi ile taşlaşmış ağaçlarda tespit edilen kimyasal bileşimleri ve organik madde (C) miktarının farkını gösteren spektrumlar; a) Petrifiye ağaç, b) Mumyalaşmış ağaç (Lee et al., 2018).

1.3.2.3. Taşlaşma (Petrifikasyon)

Fosil ağaçların en sık rastlanan oluşum mekanizması olan ve kökeni Yunanca 'petro (taş) kelimesinden gelen taşlaşma (Petrifikasyon), bir organizmanın organik kısmının mineralize olduğu ve orijinal yapısının üç boyutlu olarak korunduğu bir süreçtir. Petrifikasyon temel olarak;

- ✓ inorganik maddeler ile organik malzemenin (silis, karbonat vb) yer değiştirmesi (replacement)
- ✓ inorganik malzemelerin dokular içine gömülerek yeniden kristallenmesi (permineralization) olmak üzere iki farklı yol ile meydana gelmektedir (Siurek et al., 2004; Mustoe, 2008; Sweeney et al., 2009; Bardet and Pournou, 2017; Mustoe, 2017; Mustoe and Viney, 2017; Viney et al., 2019).

Yeniden kristallenme ile odun dokusu içerisinde mineral birikimleri gelişir ve orijinal kimya kısmen de olsa korunur. Yer değiştirme de ise odun yapısındaki organik bileşenler çözünür ve bunların yerlerine mineraller oluşumları yerleşir (Bardet and Pournou, 2017; Şekil 1.23).



Şekil 1.23: Petrifiye ağaçların oluşum şeması (Matysová, 2016).

Teoride taşlaşma iki jeolojik ortamda gerçekleşir. Bunlar; ağaçların volkanik malzeme tarafından gömüldüğü, diğeri ise ağaçların akarsu sediamlarına veya taşkın yataklarına gömüldüğü koşullardır (Mustoe, 2003). Ayrıca, yapılan çeşitli araştırmalarda, Japonya ve Yellow Stone Ulusal Parkı (ABD) gibi güncel sıcak su kaynaklarında, silika yüklü suya maruz kalan ağaçların petrifikasyonun başlangıç aşamasındaki mineralizasyonu sergiledikleri gözlemlenmiştir (Lee et al., 2018; Liesegang and Gee, 2020).

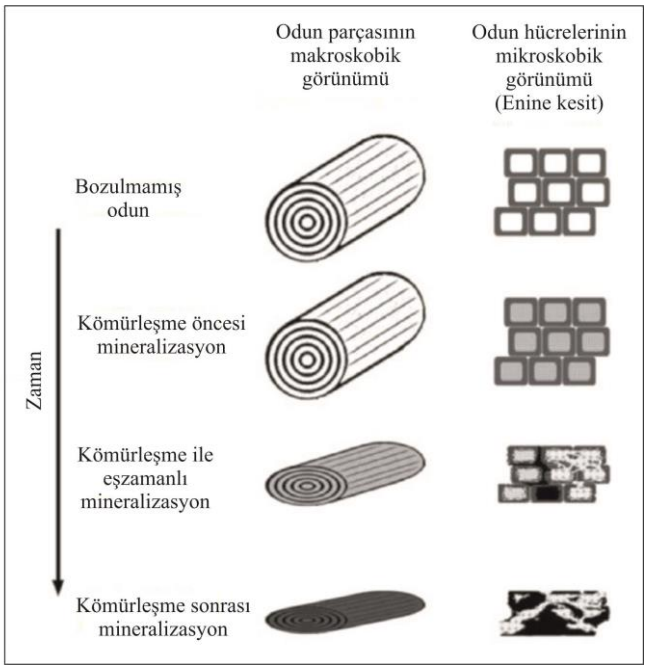
Ağaçlarda taşlaşma mekanizması, esas olarak çökelme ortamı ve odunun durumu tarafından kontrol edilen multiparametrik bir süreçtir (Bardet and Pournou; 2017). Çevresel parametreler, ortamın Eh ve pH değerleri, gömülme sıcaklığı ile içinde yer aldığı sedimanın kimyasal ve hidrolik özelliklerini (porozite, permabilite vb gibi) içerir (Bardet and Pournou, 2017). Ağaç ile ilgili değişkenler ise, odunun geçirgenliği, yoğunluğu, nem içeriği ile anatomik farklılıklarıdır (Bardet and Pournou, 2017). Matysová, (2016) taşlaşma sürecinde rol oynayan temel faktörleri şu şekilde sıralamıştır:

- ✓ Sedimentlerin fiziksel karakterleri
- ✓ Çevre koşulları
- ✓ Su, SiO_2 ve diğer minerallerin varlığı
- ✓ Sıcaklık
- ✓ Basınç
- ✓ Sıvıların aktivitesi
- ✓ Sedimanların mineral bileşimi

- ✓ Ağacın cinsi
- ✓ Tektonik
- ✓ Zaman

Bu kadar farklı etkenin rol oynadığı bir süreçte, aynı ağaç parçası içinde, farklı mineralizasyon modelleri meydana gelebilir ve birkaç mineral fazı mevcut olabilir. Ayrıca, iki aşamalı permineralizasyon yolu ile bir mineral hücre duvarı katmanlarına yerleşirken, bir diğer mineral hücre lümenini (hücre içi boşluk) doldurabilir. Örneğin hücre duvarları ilk önce kuvars ile doyurulurken, ikinci aşamada, lümen başka bir mineral olan kalsit ile dolabilir (Nowak et al., 2005; Sweeney et al., 2009). Sonuç olarak, fosilleşmiş ağaçlar çok çeşitli taşlaşma modellerinde oluşabilir ve değişik mineralojik bileşimler içerebilir (Bardet and Pournou, 2017).

Mineralizasyon ve kömürleşme, fosilleşmenin herhangi bir aşamasında birlikte gerçekleşmekte ve böylelikle aynı fosil oluşumunda dokusu korunmuş mineralize odun kısımları ile kömürleşmiş kısımlar birlikte bulunabilmektedir (Sen, 1963; Sweeney et al., 2009). Bu ortak süreçte, odun dokusunun mineralizasyonunun kömürleşmeden önce gerçekleştiği, aksi takdirde taşlaşmak için yeterli odun dokusunun kalmayacağı kabul edilmektedir (Sweeney et al., 2009, Şekil 1.24).



Şekil 1.24: Petrifiye ağaçların kömürleşmeyle eş zamanlı oluşan mineralizasyon aşamaları (Bardet and Pournou, 2017).

Fosil ağaçlar, dünyanın çeşitli bölgelerinde değişik ortamlarda, farklı mineraller ile taşlaşırlar ve en bol rastlanılanları silis, kalsit ve dolomit ile daha az miktarda pirit, fosfat mineralidir (StJohn, 1927; Buurman, 1972; Schopf, 1975; Stein, 1982; Scott and Collinson, 2003;Siurek et al., 2004; Tablo 1.4). Silisçe zengin suların varlığı ile meydana gelen silisleşme, çoğunlukla karasal ortamda gelişen bir süreçtir. Buna karşılık, fosfatlanmış odun, özel karasal koşullar altında oluşsa da sıklıkla denizel ortamda, demir oksit oluşum mekanizması karasal ortamda ve karbonatlaşma ise hem karasal hem denizel ortamda oluşabilmektedir (Buurman, 1972). Ayrıca çok daha az miktarlarda floritleşme, piritleşme, götitleşme ile manganlaşma da görülebilmektedir (Matysová, 2016).

Tablo 1.4: Petrifiye ağaçlarda mineralizasyon çeşitleri (Matysová, 2016).

Mineral grubu	Mineral
Silikatlar	Opal, hyalit, tridimit, moganit, laumontit, kuvars
Karbonatlar	Kalsit, aragonit, dolomit, siderit, malakit/azurit
Sülfitler	Pirit/markazit, zinober, galenit, kalkopirit, bornit, kovellit
Fosfatlar	Ca-fosfat, apatit, fosforit
Demir oksit ve hidroksitler	Hematit, limonit, götit, lepidokrokit
Floritler	Florit

Doktora tez çalışması kapsamında çalışılan fosil ağaçlarda da görülen ***silifikasyon***, odun fosilleşmesinin en yaygın biçimi olarak kabul edilir (Stein, 1982) ve jeolojik dönemler boyunca oluşmuş çeşitli sedimanlarda bol miktarda örnekleri yer alır. Silisleşme sıklıkla; var olan orman yapısının bölgede gerçekleşen volkanik faaliyetler ile tahrip olması ve sürüklenen yahut yerinde kalan ağaçların, atmosferik etkilerden korunarak eş zamanlı olarak kırıntılı sedimanlar içerisine gömülmesi ile başlar. Bu sedimantasyon sırası ve sonrasında, volkanik ürünler (lahar akıntıları, piroklastik malzemeler vb) ile silis açısından önemli ölçütte zenginleşen yer altı/yüzey sularının sedimanlar içerisindeki ağacın odun dokusundaki geçirimli hücrelere (traheid, trahe, öz ışını vb) nüfuz ederek, hücre çeperi ve lümene (hücre boşluğu) yerleşmesi ve onu anatomisine uyumlu şekilde taşlaştırması ile son bulur. Daha az oranda olsa da aktif bir fluviyal ortamda da silisleşmiş ağaçlar korunarak silisleşebilir, bu süreçte silisin kaynağını, olgunlaşmamış kumtaşlarındaki feldspat gibi mineraller ya da silisçe zengin kumlar oluşturabilir (Matysová, 2016). Asidik bir ortam gerektiren bu mekanizmalarda (Ballhaus et al., 2012), ağaçların konumlandığı sedimanın, suyun rahatça hareket edebilmesi

açısından geçirgen özellikte olması (kumtaşı, tüf gibi) gerekmektedir. Silisleşmedeki bu koşul taşlaşmanın oluşumunda sedimanter çevre karakterinin önemini vurgulamaktadır (Şekil 1.25). Diğer bir faktör ise ortamdaki silis ile ağacın gözenek ve çatlaklarına difüzyon sırasında silisin taşınmasını ve birikimini kontrol eden silisik asittir (H_4SiO_4) Silisik asit bu hareketi sırasında odun dokusuna silis elementini bırakırken, organik dokuda çözülen karbon ile bağ yaparak karbonik asit (H_2CO_3) şeklinde ortamdan uzaklaşmaktadır (Matysová, 2016).



Şekil 1.25: Kırıntılı sedimanlar içerisinde konumlanan ağaç gövdesi ve suyun hareketi (Vitruvius, 2013).

Silisleşmiş ağaçlar içerisindedört çeşit silika polimorfu tanımlanmıştır, bunlar;

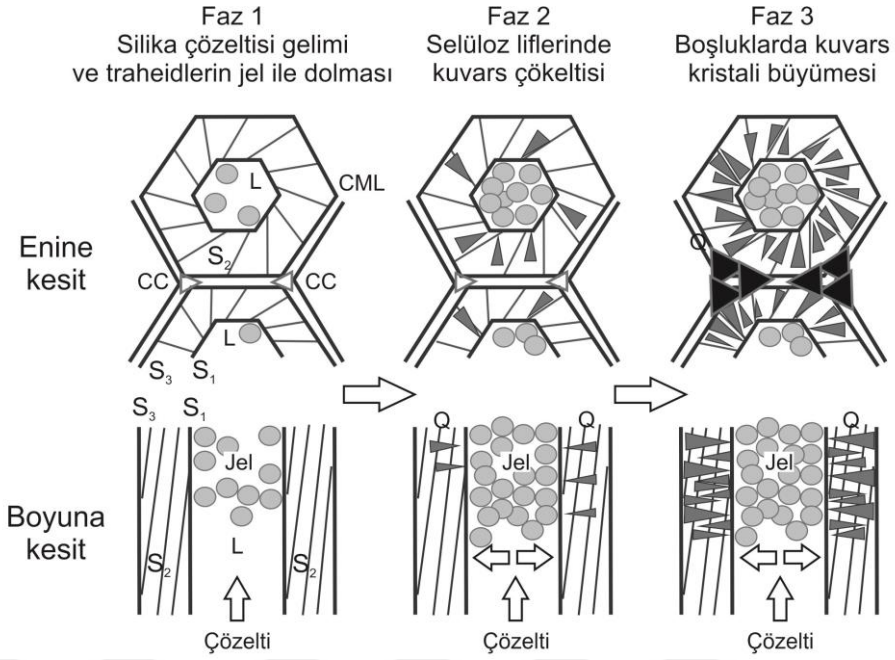
1) Opal-A (yüksek derecede düzensiz, sulu amorf SiO_2),
2) Opal-CT (kristobalitin yeni başlayan kristalleşmesi ve tridimit),
3) Kalsedon (mikro lifli kuvars),
4) Kuvars (mikrokristalin) (Scurfield and Segnit, 1984; Mustoe, 2015).

Opal-A polimorfu genellikle az bulunmaktadır. Taşlaşmış ağaçlarda yapılan opal tanımlaması opal-A'dan değil, genellikle opal-CT' den oluşmaktadır, fakat mikroskop tanımlamarında yaşanan zorluk nedeniyle genellikle opal-A olarak adlandırılır. Lapidari çalışmaları için en değerli çeşit olan agatlaşmış ağaç ise kalsedondan oluşmaktadır. (Mustoe, 2015)

Ağacın odun dokusunda biriken silika, opal-A'dan opal-CT'ye ve opal-CT'den de kuvarsa kristalleşerek geçmektedir (Bardet and Pounou, 2017) ve bunlardan en yaygın olanları kalsedon ile mikrokristalen kuvarsdır (Buurman, 1972; Stein, 1982; Dietrich et al., 2020). Silisleşme sürecinin başlangıcında gözenekli dokuya ve hücre çeperine nüfuz eden silis amorf

haldedir ve kararsızdır. Daha kararlı hale gene kadar yavaş yavaş kristalleşir (Stein, 1982). Bazı araştırmacılar, odunun başlangıçta tamamen opal ile taşlaştığını ve daha sonra oluşan kalsedonun opalin dönüşümünün ürünü olduğunu öne sürse de, opal-CT ve kalsedon birlikteliği bu hipotezle çelişmektedir. Odun silisleşmesinin tek bir dönüşüm serisi ile oluştuğu fikri yerine, birden fazla dönüşüm kombinasyonunu içermesi ihtimali daha yüksek görülmektedir (Mustoe, 2008).

Silifikasyon mekanizması, araştırmacılar arasında tartışmalı bir konu olmuştur (Buurman, 1972; Leo and Barghorrn, 1976; Sigleo, 1978). Bazı görüşler hücre çeperindeki organik malzemenin silika ile yer değiştirdiğini desteklerken, diğerleri, silika mineralizasyonunun çatlaklarda, hücreler arasındaki açıklıklarda ve hücre sıvılarının bıraktığı boşluklarda biriktiğini savunmuştur (Bardet and Pournou, 2017). Silifikasyon mekanizması için Dietrich et al. (2013), silika çözeltisinin traheidlerin lümenine girdiğini ve silika jeli oluşturduğunu, ardından burada opal-CT ile kalsedonun kristallendiğini, lümen içinde kristallenme devam ederken, hücre duvarında lifler ile uyumlu şekilde silis çökeliminin başladığını, daha sonra ise hücreler arası boşluklarda kristal büyümelerinin meydana geldiği modeli öne sürmüştür. (Dietrich et al., 2015; Şekil 1.26). Viney (2008) ise volkanik bir kaynaktan gelen silisin öncelikle hücreleri birbirine bağlayan geçitlere herhangi bir yer değiştirme (replacement) olmadan amorf halde yerleştiğini ve süreç ilerledikçe hücre duvarında bozunan selülozun boşluklarına silisin çökeldiğini belirtmiştir. Daha sonraki evrede hücre boşluğunu silis doldururken, hücre çeperleri içerisinde bozunmadan kalan daha dayanıklı lignin bir şablon görevini görmektedir.



Şekil 1.26: Silisifikasyon aşamalarının şematik gösterimi (CC: hücre köşeleri, CML: orta lamel birleşimleri, L: lümen, Q: sütunsal kuvars kristalleri, S1, S2, S3: ikincil duvar katmanları) (Dietrich et al., 2013)

Mustoe (2015)'e göre ise, petrifikasyonun tipik birinci adımı, hücre duvarındaki lignin ve hemiselüloz yapılarının bozularak silisin duvara çökelmesidir. Daha sonraki adım ise silisin hücre içlerinde (lümen), hücreler arası boşluklarda ve ağacın yapısında bulunan mikro çatlaklarda çökelmesidir. Yapılan bazı çalışmalarda, bazı örneklerde son adımın gerçekleşmediği, hücre duvarının silisleştiği fakat lümenin mineralize olmadan boş kaldığı tespit edilmiştir. Silisleşme sürecinde silis kaynağını oluşturan hidrotermal suda başka inorganik bileşenler de yer alıyorsa, silisin polimorflarının çökelimi sırasında çok sık olmamakla birlikte bunlarda (kalsit, hematit, barit, zeolit) kristallenebilmektedir (Mustoe, 2015).

Silisleşme sırasında odun yapısına ait çeşitli formdaki hücreler, lümenler ve hücreler arası boşluklar silisin polimorfları ile dolarken, ağaç bu mekanizma için biyoşablon olarak hizmet etmekte ve hücre ile kristal ilişkisi değişiklik göstererek farklı dokular oluşmaktadır. Weibel (1996) silisleşen ağaç hücrelerinin dört tip dokuda sınıflandırılabileceğini öne sürmüştür. Bunlar;

• poliblastik tip – bitki hücresi birden fazla kristal içerir,

• oligoblastik tip – bitki hücresi sadece bir kristal içerir,

• hiperblastik tip – kristaller hücre duvarlarından büyür,

• idioblastik tip – hücre özşekilli kristaller içerir.

2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

Doktora tez çalışma konusu olan silisleşmiş ağaçların makro olarak incelemeleri, silisleşme süreci ile bağlantılı olarak oluşan çeşitli renk ve desenleri, mikroskobik incelemeleri ise içerdikleri silis polimorfları ile ağaç türlerini sunmaktadırlar. Silisleşmiş ağaçlar bu farklılık ve çeşitliliğe sahip olmaları nedeniyle jeolojik ortamların çözümlenmesinde ve palebotanik yorumlamaların yapılmasında ayrı bir önem taşımaktadır. Bu yorumların yapılabilmesi için saha araştırmalarında jeolojik konumlarının ortaya konulmasının yanısıra, yabancı literatürde daha modern ve güncel analitik çalışmalar yer almaktadır (Dolezych and van der Burgh, 2004; Matysová, 2016; Bardet and Pournou, 2017; Mustoe, 2017; Hassan, 2019; Lukens et al., 2019; Viney et al., 2019; Mustoe and Dillhoff, 2022). Ülkemizde silisleşmiş ağaçlar üzerinde, önceki araştırmacıların gerçekleştirdiği paleobotanik ağırlıklı çalışmalar bulunmaktadır (Özgüven-Ertan, 1971; Şanlı, 1982; Kayacık ve diğ., 1995; Aras et al., 2004; Akkemik et al., 2005; Sakınç ve diğ., 2007; Hatipoğlu and Türk, 2009; Akkemik and Sakınç, 2013; Akkemik et al., 2016; Acarca Bayam et al., 2018; Yurtseven 2018; Akkemik et al., 2019a;b; Denk et al., 2019; Güngör et al., 2019; Polat ve diğ., 2019). Fakat analitik veri üretmeye dayalı jeolojik, jeokimyasal çalışmalar kısıtlı kalmıştır. Bu nedenle doktora tez çalışmasında detaylı jeolojik ve jeokimyasal araştırma ve incelemelerin yapılması esas alınmış, silisleşmiş ağaçlar kapsamında bilimsel açıdan kısıtlı veya eksik kalmış konuların aydınlatılması amaçlanmıştır. Doktora tez çalışmasının diğer bir konusu gemolojik incelemelerdir. Fosil ağaçlar, farklı renk ve desenler ile yüksek dayanıma sahip olanlarından dolayı, özellikle başta Tayland, Endonezya, Amerika Birleşik Devletleri gibi ülkede gemolojik olarak incelenmekte ve süstaşı ya da süs eşyası olarak kullanılmaktadır. Ülkemizde ise seçili bölgelerde yer alan kısıtlı miktardaki silisleşmiş ağaçların bilimsel kapsamda gemolojik açıdan incelendiği çalışmalar bulunmamaktadır. Bu nedenle, renk, sertlik, silisleşme derecesi, cins/tür olarak birbirlerinden farklı olan bu ağaçların, gemolojik açıdan bilimsel olarak analitik incelenmelerinin gerçekleştirilmesi, kesilme ve parlatılma gibi atölye işlemlerine uygunluklarının saptanması diğer bir amaçtır.

Doktora tez kapsamında inceleme alanı olarak Trakya ve Batı Anadolu olmak üzere iki ana bölge seçilmiştir. Bu bölgelerde gerçekleştirilen jeolojik çalışmalar incelendiğinde, silisleşmiş ağaçlarla ilgili paleocoğrafik ve paleobotanik konularda az sayıda çalışma ve veri bulunmaktadır (Aras ve diğ., 2004; Akkemik et al., 2005; Sakınç ve diğ., 2007; Akkemik et al., 2013; Yurtseven, 2018; Akkemik et al., 2019a;b; Polat ve diğ., 2019). Bu nedenle bölge seçimlerinde doktora tezinin özgünlüğüne önem verilerek, daha önce ağaçlar konusunda detaylı çalışmaların yapılmadığı alanların seçilmesi amaçlanmıştır.

Bu doğrultuda;

- Silisleşmiş ağaç bulunduran bölgelerin belirlenmesi ve jeolojik çalışmalar yapılarak birbirleriyle karşılaştırılması,
- sistematik olarak toplanan ağaç ve kayaç örneklerinde mineralojik-petrografik ve jeokimyasal incelemeler ile silisleşme sürecinin araştırılması,
- fosil ağaç cins ve tür tayinlerinin yapılarak yaşadıkları dönemin botanik, coğrafik ve klimatolojik özelliklerinin belirlenmesi,
- gemolojik çalışmalar kapsamında renk/desen, dayanım, kesilebilirlik gibi özelliklerinin tespiti ile süstaşı olabilme potansiyeline yaklaşımlarda bulunulması hedeflenmiştir.

2.1. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Trakya ve Batı Anadolu Bölgelerinde yer alan doktora tez çalışma alanlarında, yerli ve yabancı araştırmacılar tarafından günümüze kadar birçok jeolojik incelemeler ile farklı disiplinlerden araştırmalar yapılmıştır. Başta, stratigrafi, sedimantoloji, yapısal jeoloji, paleontoloji, mineraloji-petrografi, cevherleşme, volkanizma gibi alanlarda yapılan çalışmalarla bölgelerin zengin jeolojileri ve özellikleri yorumlanmıştır. Silisleşmiş ağaçlar açısından ise çalışma bölgelerinde paleontolojik ve paleocoğrafik çalışmalar haricinde araştırmalar oldukça kısıtlıdır.

Çalışma bölgeleri ve silisleşmiş ağaçlara ait çeşitli konularda gerçekleştirilen önemli araştırmalardan bazıları şöyledir:

Baykal (1954), Batı Anadolu bölgesinde yer alan Murat Dağı'nın güney kısımlarını inceleyerek, Mesozoyik-Senozoyik yaşlı birimlerin stratigrafisi ile metamorfik kayaçları tanımlamıştır.

Nebert (1960), bölgedeki ilk ayrıntılı jeolojik çalışmayı yaparak, Tunçbilek serisi (Miyosen) ve Domaniç serisi (Pliyosen) olarak iki ayrı seri belirlemiştir.

Nebert (1962), çalışmasında Tunçbilek havzasında yer alan birimlerden ve linyitli seviyelerden bitki fosil örnekleri derlemiş, tayin ettiği cins ve türlerle bölge paleoflorasına önemli katkılar sağlamıştır.

Keskin (1971), araştırmasında Pınarhisar ve civarında yüzlekler veren Koyunbaba, Soğucak ve Pınarhisar formasyonlarını inceleyerek, fasiyes değişimlerini yorumlamıştır.

Bingöl (1977), Uşak'ta yer alan Murat Dağı ve civarında yayılım sunan magmatik, metamorfik, sedimanter birimlerin petrolojisini ve jeokronolojilerini ayrıntılı olarak incelemiştir.

Ercan et al. (1978), Uşak ve civarında yer alan mağmatik kayaçları 'KaraboldereVolkanitleri' olarak adlandırmış ve ilk volkanik evre için Orta-Geç Pliyosen yaşını vermiştir.

Turgut ve diğ. (1983), çeşitli jeolojik veriler ışığında Trakya Havzasının oluşumunu inceleyerek, havza jeolojisini ortaya koymuş, hidrokarbon olanaklarını değerlendirmiştir.

Baş (1986), Domaniç, Tavşanlı, Kütahya ve Gediz bölgelerinin Tersiyer Jeolojisi ayrıntılı olarak ortaya koyarak, Oğulcaktepe Kireçtaşı'nı ilk defa adlamıştır.

Günay ve diğ. (1986), Murat Dağı (Uşak) ve civarının ayrıntılı stratigrafini çalışarak, 1/100000 ölçekli jeoloji haritalarını hazırlamış, ayrıca bölgede yer alan Baklan Graniti ile bölgedeki cevherleşmelerinin (Pb-Zn-Cu) bağını belirtmiştir.

Baş (1987), Taşvşanlı-Domaniç volkanizmasını ve birimlerini ayrıntılı olarak incelemiş, Batı Anadolu'da kabuk ergimesini sağlayan ısı kaynağının kökeni ile ilgili görüşlerini bildirmiştir.

Sümengen ve Terlemez (1991), Güneybatı Trakya'da yer alan Eosen yaşlı birimleri çalışarak, bölgenin ayrıntılı stratigrafi, sedimantoloji ve paleontolojisini incelemiştir.

Ercan (1992), Trakya'da mostralar veren Senozoyik volkanitlerini inceleyerek, detaylı petrografik çalışmalar ile volkaniklerin karakterlerini tespit ederek yayılımlarını ortaya koymuştur.

Aysal (1994), Banaz-Hatipler-Bahadır Köyleri (Uşak) civarının jeolojisini lisans tezi konusu kapsamında çalışarak, bölge kayaçların mineralojik-petrografik açıdan incelemiştir.

Sakınç ve diğ. (1995), Trakya bölgesinin geç Oligosen-Erken Miyosen regresyonunu ve örgülü akarsuların etkinliğini vurgulayarak, bölge genelindeki fosil kayıtlar ile birlikte Neojen paleocoğrafyasını yorumlamıştır.

Batı (1996), doktora tez çalışmasında, Trakya bölgesindeki kömürlerin petrografik ve palinolojik analizlerini yaparak, havzanın paleocoğrafyasını, kömür oluşum mekanizmasını ve volkaniklerin manto kökenli olduklarını ortaya koymuştur.

Ercan ve diğ. (1996), Batı Anadolu'da yüzeylenen çeşitli mostralardan derledikleri örnekler derleyerek K/Ar ve Rb/Sr yöntemleri ile radyometrik yaş tayinleri yapmıştır.

Aydar (1998), Batı Anadolu'da yer alan Erken Miyosen ve Kuvaterner yaşlı volkanizmaları incelemiştir..

Sakınç ve diğ. (2000), Trakya havzası paleocoğrafyası üzerinde çalışarak, havza gelişiminin Geç Oligosen-Erken Miyosen'de başladığını, batıda akarsu-göl, kuzeydoğuda ise Paratetis denizel etkisi olduğunu belirtmiştir.

Şengüler ve diğ. (2000), Keşan, Malkara ve Uzunköprü kömürlerinde petrografik incelemeler yaparak limnik oluşum ortam koşullarını yorumlamıştır.

Turgut and Eseller (2000), Trakya havzası doğu kesiminin stratigrafisini, kuyu logu, çekirdek ve yansıma sismik yöntemleriyle çalışarak tektonik ve stratigrafik açıdan incelemiş, beş karakteristik çökel serisini ortaya koymuştur.

Aras et al. (2004), Trakya Neojen Havzasında yaptıkları çalışmalarda Trakya Formasyonu içerisinde tespit ettikleri angiosperm fosil ağaç odunları ile bölge paleocoğrafyasını yorumlamıştır.

Siyako (2006a), 'Trakya Bölgesi Litostratigrafi Birimleri' adlı kitabın Tersiyer bölümü hazırlayarak, Paleosen-Pleyistosen stratigrafisini detaylı olarak ele almıştır.

Siyako (2006b), Trakya Havzası'nın Linyitli Kumtaşları adlı çalışmasında Oligosen stratigrafisini inceleyerek, linyitli kumtaşları için Danişmen ve Osmancık Formasyonları olarak iki ayrı formasyonda ayırtlamıştır.

Kaymakçı et al. (2007), Trakya Neojen Havzasının Geç Miyosen tektoniğini inceleyen araştırmacılar, paleomanyetizma ve ^{40}Ar-^{39}Ar yaşlandırma çalışmaları yaparak, bölgesel tektonik aktiviteyi ve dönem boyunca gelişen alkalı lavların gelişimini incelemiştir.

Siyako and Huvaz (2007), Trakya Havzası Eosen stratigrafisini mostra, kuyu ve sismik veriler ile inceleyerek havzanın farklı kesimleri için tektonik ve stratigrafik modeller geliştirmişlerdir. Ayrıca ölçülü stratigrafik korelasyonları yaparak, tektonostratigrafik ortamları yorumlamışlardır.

Matysová et al. (2008), Batı Bohemia (Çekya)' da yer alan Permo-Karbonifer havzasındaki silisleşmiş ağaçlar üzerinde çalışan araştırmacılar, gerçekleştirdikleri katodolüminesans, XRD ve SEM çalışmaları ile silisin polimorfları hakkında yorumlar yapmıştır.

Kim et al. (2009), Tersiyer yaşlı Pohang havzası (Kore)'nda yer alan silisleşmiş ağaçları inceleyerek, SEM çalışmaları ile odunsu dokunun yapısı hakkında detaylı botanik çalışmalarda bulunmuştur.

Rückert-Ülkümen ve diğ. (2009), Doğu Paratetis'in güneydoğu kolu olan Ergene havzasında yüzlekler veren Ergene Formasyonunu paleontolojik açıdan inceleyerek, mikro flora ve fauna bulgularıyla Sarmasiyen yaşını tespit etmiştir.

İslamoğlu et al. (2010), Trakya Havzasının Oligosen depolanma ortamını, paleobiyocoğrafyasını ve paleoekolojisini araştırarak, havzada üç bölümlü yeni bir yapı önermiştir.

Okay et al. (2010), "Güney Trakya Havzası Oluşumu, Temel Tipleri Alt Eosen Serisi, ve Üst Eosen Olistostromları, Kuzeybatı Türkiye" çalışması ile bölgede yer alan sedimanter istifleri detaylı bir şekilde incelemiş, ayrıntılı stratigrafik korelasyonlar oluşturmuştur.

Ballhaus et al. (2012), güncel ağaç örnekleri ve öğütülmüş riyolitik cam kullanarak, 100 ℃ sıcaklıkta kapalı bir sistemde, silisleşme mekanizmasının anlaşılması için deneyler gerçekleştirmiştir.

Elmas (2012), Trakya havzasında yer alan Paleojen formasyonlarının ayrıntılı stratigrafi ve tektonik-paleocoğrafik evrimini incelemiş, havza evriminde fayların etkin olduğunu ilk kez ifade etmiştir.

Akkiraz et al. (2012), tespit ettikleri fosil bitki örnekleriyle Tunçbilek-Domaniç-Seyitömer havzalarındaki kömürlü istiflerin çökeldiği dönemin paleoiklimini ile vejetasyonunu araştırmıştır.

Karaoğlu and Helvacı (2012), Uşak-Güre Havzasında çeşitli alanlarda mostra veren birimleri inceleyerek, bölge Miyoseninin yapısal jeolojisini ayrıntılı olarak ortaya koymuştur.

Yılmaz Şahin et al. (2012), İstanbul Zonu'nun batısında yer alan Çavuşbaşı granodiyoritini inceleyerek, iki zirkon mineralinde yapılan U-Pb yaşlandırmasında ~68 My yaşını elde etmiş ve köken hakkında yaklaşımlarda bulunmuştur.

Dietrich et al (2013), Chemnitz (Almanya)' de yer alan Permiyen yaşlı fosil ormanı inceleyerek, odunsu doku ile silis polimorfları arasındaki bağlantıyı incelemişlerdir.

Saminpanya and Sutherland (2013), Myanmar (Tayland) fluviyal çökelleri içerisinde tespit edilen petrifiye odunlar üzerinde çalışarak, silika faz dönüşümlerini incelemiştir.

Hassan (2015), Kahire (Mısır)' de yer alan silisleşmiş ağaçları inceleyerek, optik mikroskop ve XRD analizlerini gerçekleştirmiş, elde ettiği veriler ışığında ağaçları taşlaştıran silisin polimorfları hakkında yorumlarda bulunmuştur.

Mustoe (2015), Nevada (ABD)'da Geç Tersiyer yaşlı petrifiye ağaçlar üzerinde detaylı SEM/EDX çalışmaları yapan araştırmacı, taşlaşmayı sağlayan silisleşme mekanizmalarını incelemiştir.

Perinçek et al. (2015), Trakya Havzasının linyit potansiyelini kontrol eden çeşitli jeolojik faktörleri araştırarak, Oligosen-Miyosen-Pliyosen birimlerin haritalarını hazırlamışlar ve fasiyes değişimleri ile havzanın yapısal evrimini de irdelemiştir.

Helvacı et al. (2016), Tunçbilek-Domaniç havzasında yer alan çökellerle yanal ilişkili olarak yüzeyleyen volkanitleri Ar/Ar yöntemiyle yaşlandırmış ve havzasındaki çökelimin bütünüyle Erken Miyosen döneminde (~23-19 Ma) geliştiğini belirlemişlerdir.

Mustoe and Acosta (2016), Nevada (ABD)'da yer alan petrifiye ağaçlardan örnekler alan araştırmacılar, LA-ICP-MS analizi ile ana ve iz element içeriklerine ulaşmış, bu veriler ışığında da ağaçlarda görülen renklerin kökenleri hakkında yorumlarda bulunmuştur.

Bardet and Pournou (2017), taşlaşma, kömürleşme ve mumyalaşma mekanizmalarıyla oluşmuş fosil ağaçlar üzerinde ^{13}C NMR analizi gerçekleştirerek, bu ağaçların biyojeokimyası hakkında yorumlar yapmıştır.

Güçtekin (2017), Trakya Bölgesinde yer alan Hisarlidağ volkanizmasının petrolojik ve jeokimyasal özelliklerini inceleyen araştırmacı, volkanik kayaçların geniş bir bileşim aralığı sunduğunu ve hafif nadir toprak element içeriklerinin zenginleştiğini tespit ederek, kökeni hakkında yorumlarda bulunmuştur.

Trümper et al. (2018) merkez Avrupa'da yer alan Paleozoyik yaşlı havzalardan toplanan petrifiye ağaçlar üzerinde gerçekleştirdikleri polarizan mikroskop ve katodolüminesans (CL) çalışmaları ile fosil ormanların silisleşme mekanizmalarına yaklaşımlarda bulunmuşlardır.

Yurtseven (2018), Manisa iline bağlı Osmancalı köyünde yer alan taşlaşmış fosil ormanı inceleyen araştırmacı, silisleşmi ağaçları coğrafik açıdan ele almıştır.

Akkemik et al. (2019a), Kilyos sahil kesiminden topladıkları 24 adet silisleşmiş ağaç örneğinde 11 farklı fosil ağaç cinsi tanımlamışlar ve Erken Miyosen yaşını tespit ederek, bölge paleocoğrafyasını yorumlamıştır.

Akkemik et al. (2019b), Kütahya'da yeni tespit edilen silisleşmiş ağaç lokasyonlarını inceleyerek, tespit ettikleri türler ile Dursunbey için Erken Miyosen, Yeniköy için Orta-Geç Miyosen ve Çukurköy için Pliyosen yaşını vermiştir ve bölge fosil orman yapısını ortaya koymuştur.

Denk et al. (2019), Türkiye kapsamında 36 farklı lokasyondan derlenen yaprak, polen ve ağaç fosillerini tanımlayarak, Erken Miyosen dönemi klimatoloji hakkında yorumlar yapmıştır.

Güner (2019), yaprak fosil örneklerine ait fizyonomileri temel alınarak 'Çok Değişkenli İklim Yaprak Analiz Programı' ile paleoiklim rökonstrüksiyonu gerçekleştirilmiş ve bölge paleoklimatolojisi hakkında yorumlar yapılmıştır.

Güngör et al. (2019), Gökçeada sahil kesiminde yer alan silisleşmiş ağaçları inceleyerek, bölge jeolojisini ve paleocoğrafyasını yorumlamıştır.

Pe-Piper et al. (2019), Sigri Fosil Ağaç Ormanı (Midilli)'nda yer alan hidrotermal alterasyona maruz kalmış silisleşmiş ağaçları inceleyerek, SEM, elektron mikroprop, Raman spektroskopisi analizleri ile ağaçların mineral içerikleri hakkında yaklaşımlarda bulunmuştur.

Polat ve diğ. (2019), Banaz-Uşak bölgesinde yer alan silisleşmiş ağaç lokasyonunu ilk kez tespit etmiş, 4 farklı silisleşmiş ağaç örneğinde Sekoya grubu ağaçları tanımlayarak bölge paleocoğrafyası hakkında yorumlar yapmıştır.

Viney et al. (2019) Colorado Rocky Dağları (ABD)'nda yer alan Karbonifer yaşlı silisleşmiş ağaçların teşhislerini yaparak, çeşitli analitik yöntemler ile silisin hücresel boyuttaki davranışını gözlemlemiştir.

Çevik Üner ve diğ. (2020). İlgili doktora tez konusu kapsamında, Keşan ve Malkara'da tespit ettikleri silisleşmiş ağaçları inceleyerek ilk defa tanımladıkları cinsler ile paleobotanik yorumlamalarda bulunmuş, ayrıca ağaçların mineralojik özellikleri saptamışlardır.

Liesegang and Gee (2020), Yellowstone Ulusal Parkı (USA)'ndaki silisçe zengin sıcak su ortamlarında yer alan ağaçların odunsu hücrelerine sudaki silikanın girişi, izlediği hücre yolları, hızı ve birikimini inceleyerek, söz konusu ortamın fosilleştirme potansiyelini irdelemiştir.

Çevik Üner et al. (2022a). İlgili doktora tez konusu kapsamında Trakya Bölgesinde (Keşan ve Malkara) tespit ettikleri silisleşmiş ağaçlar üzerinde mineralojik-petrografik ve jeokimyasal çalışmalar gerçekleştirerek, ağaçların oluşum mekanizmaları ve bölge jeolojisi hakında yaklaşımlarda bulunmuştur.

Çevik Üner ve diğ. (2022b). İlgili doktora tez konusu kapsamında Batı Anadolu Bölgesinde tespit ettikleri silisleşmiş ağaç örneklerinin gemolojik özelliklerini inceleyerek, süstaşı olabilme potansiyelini irdelemişlerdir.

Mustoe and Dillhoff (2022), Washington (ABD)'da yer alan petrifiye ağaçları inceleyen araştırmacılar, çeşitli analiz ve görüntüleme yöntemleriyle detaylı mineralojik çalışmalarda gerçekleştirmişlerdir.

3. YÖNTEM

Doktora tezi kapsamında gerçekleştirilen çalışmalara, önceki araştırmacıların çeşitli konulara ait çalışmalarının taranması, silisleşmiş ağaç içeren veya içerebilecek litolojik birimlere sahip lokasyonların saptanması ile başlanmıştır. Gerçekleştirilen arazi çalışmalarında silisleşmiş ağaç lokasyonlardaki birimlerin haritalama işlemleri, jeolojik ölçümleri ile silisleşmiş ağaç ve kayaçlardan numune alımları sistematik olarak yapılmıştır. Mineralojik-petrografik ve botanik açıdan incelenen örneklerin bölgeleri temsilen seçilenlerinden mineralojik ve jeokimyasal analizler gerçekleştirilmiştir. Gemolojik çalışmalar kapsamında ise desen, doku, renk ve dayanım açısından uygun görülen silisleşmiş ağaç örnekleri çeşitli atölye işlemlerinden sırasıyla geçirilerek süstaşı olma potansiyelleri incelenmiştir

3.1. SAHA ÇALIŞMALARI

Doktora tez çalışması kapsamında silisleşmiş ağaç saha çalışmaları Trakya ve Batı Anadolu Bölgeleri olmak üzere iki ana bölgede gerçekleştirilmiştir. 2018-2021 yılları arasında yapılan saha çalışmalarında silisleşmiş ağaçların yer aldığı farklı lokasyonlar tespit edilerek, Trakya Bölgesinde beş (5), Batı Anadolu Bölgesinde üç (3) olmak üzere toplam sekiz (8) farklı lokasyonda silisleşmiş ağaç ve jeolojik araştırmalar gerçekleştirilmiştir.

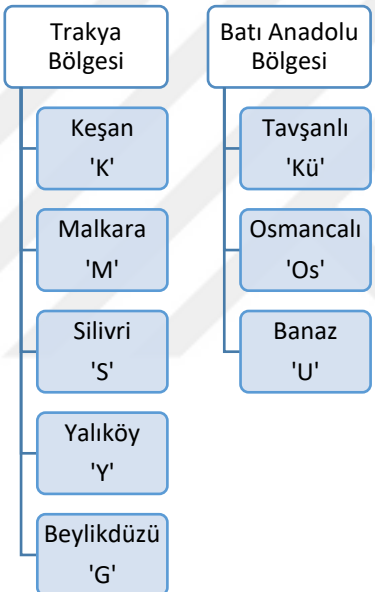
Trakya Bölgesi kapsamındaki araziler, Türkiye 1/25000 Topografik haritalarında; Keşan-Malkara G17-a2, G17-b1, F17-c4, Yalıköy F20-b1, Silivri F19-c1, F20-d1, F20-d2, Kavaklı G21-a1, G21-a2 paftaları içerisinde, Batı Anadolu Bölgesi kapsamındaki araziler ise Çukurköy/Tavşanlı I23-d4, Osmancalı K18-b4, Küçükler/Banaz K23-a1 paftaları içerisinde yer almaktadır (Tablo 3.1).

Tablo 3.1: Çalışma bölgelerine ait konum bilgilerini gösteren tablo.

AraziLokasyonları	İlçe	İl	1/25000'lik Topografik Harita Pafta İndeksi
Trakya Bölgesi			
Paşayiğit	Keşan	Tekirdağ	G17-a2, G17-b1
Pirinççeşme	Malkara	Edirne	F17-c4
Beyciler-Sinekli	Silivri	İstanbul	F19-c1
	Yalıköy		F20-b1
Kavaklı	Beylikdüzü		G21-a1, G21-a2
Batı AnadoluBölgesi			
Çukurköy	Tavşanlı	Kütahya	I23-d4

Osmancalı	Yunusemre	Manisa	K18-b4
Küçükler	Banaz	Uşak	K23-a1

Çalışma alanlarında daha önce yapılmış çalışmalarda da belirtilmiş birimler tanımlanarak, sedimanter ve mağmatik birimlerine ait mostralar ile tipik kesit yerleri incelenmiştir. Litolojik tanımlamalar, stratigrafik yorumlamalar ile gerekli jeolojik ölçümler (doğrultu, eğim vb) yapılarak, jeolog çekici yardımıyla numuneler alınmış ve kendi bölge ismlerini temsilen verilen kodlar (Şekil 3.1) ile numaralandırılarak kilitli numune torbalarına konulmuştur. Tüm çalışma noktalarının GPS ile koordinatları belirlenerek 1/25000 ölçekli topografik haritaya işaretlenmiş, fotoğraflamalar ile gerekli jeolojik ölçümler ve kesit çizimleri yapılarak arazi defterine not edilmiştir



Şekil 3.1: Bölgeleri temsilen verilen numune kodlarını gösteren şema.

Paleobotanik çalışmalar için tespit edilen silisleşmiş ağaç örnekleri öncelikle yerinde makro olarak ve lup ile incelenmiş, farklı cinslerin olması gözetilerek ağaç bütünlüğüne zarar vermeden ufak boyutlarda parçalar alınmıştır. Gemolojik çalışmalar için özellikle atmosferik koşullar nedeniyle doğal olarak parçalanmış, arazide dağınık halde bulunan ağaç örnekleri tercih edilmiş, büyük silisleşmiş ağaç gövdeleri tahrip edilmemiştir. Tespit edilen silisleşmiş ağaçların boyutları şerit metre yardımı ile ölçülerek not edilmiş, farklı açılardan genel ve detay görünüm fotoğrafları çekilmiştir. Silisleşmiş ağaçların içinde yer aldıkları litolojik birimdeki konumları (dik, paralel) veya yönlenmeleri, oluşum modellerini detaylı bir şekilde anlayabilmek adına özellikle incelenmiş ve gerekli çizimler yapılmıştır. Trakya batısındaki çalışmalarda, kömür ocaklarında da incelemeler yapılmış, silisleşmiş ağaçların konumlandığı

kırıntılı seviyeler içinden ve kömür oluşumlarına yakın yerlerden, silisleşmiş-kısmen kömürleşmiş ağaçlardan numuneler alınmıştır.

Saha çalışmasında gerçekleştirilen gözlem, ölçüm, fotoğraflandırma ve numune alım işlemleri, doktora tez çalışması boyunca tüm lokasyonlarda titizlikle gerçekleştirilmiştir.

3.2. LABORATUVAR ÇALIŞMALARI

Doktora tezi kapsamında çeşitli laboratuarlarda (Tablo 3.2) gerçekleştirilen çalışmalar dört ana başlık altında toplanmıştır. Bunlar;

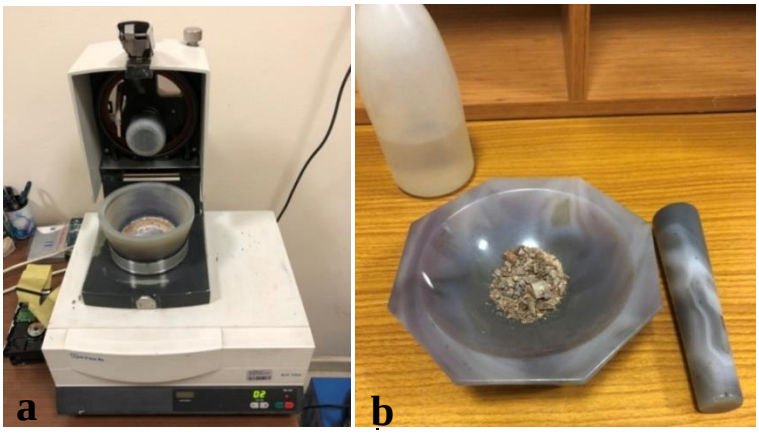
- ✓ Mineralojik-petrografik çalışmalar (Silisleşmiş ağaç ve kayaç örneklerinde)
- ✓ Jeokimyasal analiz çalışmaları (Silisleşmiş ağaç ve kayaç örneklerinde)
- ✓ Paleobotanik çalışmalar (Silisleşmiş ağaç örneklerinde)
- ✓ Gemolojik çalışmalardır (Silisleşmiş ağaç örneklerinde)

Tablo 3.2: Laboratuvar çalışmalarının yapıldığı kurum ve cihaz bilgilerine ait tablo.

	Çalışma	Laboratuvar	Cihaz Marka/Model
Mineralojik-Petrografik	Kesit alımı	İstanbul Teknik Üniversitesi	
	Toz numune hazırlama	İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa	Agat havan (Manuel ve elektrikli)
	Mikroskop	İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa	Leitz James Swift
	XRD	İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Eskişehir Osmangazi Üniversitesi	GNR APD 2000 Pro PanalyticalEmpyrean
	Elektron mikroskobu	İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İBB KUDEB MSGSU Fatih Sultan Mehmet Üniversitesi	Joel-JSM 5600, I-XRF 500 JEOL JSM-5600LV Hitachi SU3500 T2, Oxford XACT
Jeokimyasal	Toplam kaya jeokimyası Ateşte Kayıp	İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa	ESI NWR 213 Perkin-ElmerNexION 200 Perkin–ElmerAvio 200
	FTIR	İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa	FTJASCO marka FT/IR 4700
	GemmoFTIR	GLT IGSL	Bruker Alpha Bruker Alpha II Front
	CRS	Ankara Üniversitesi	ThermoScientific DXR

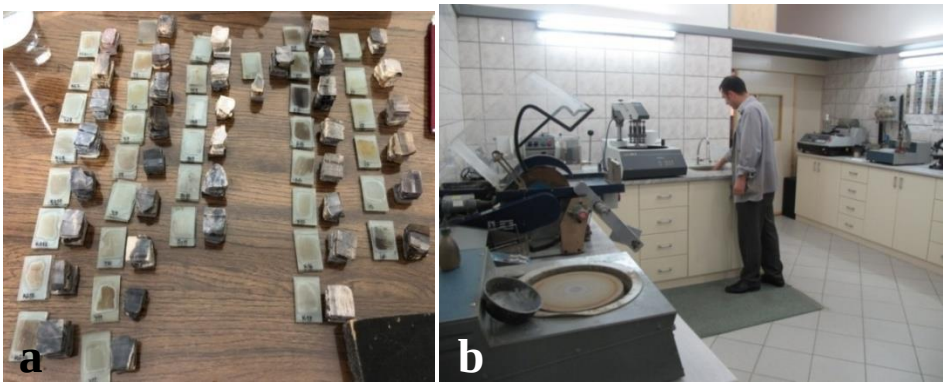
	Raman spektroskopisi	Eskişehir Osmangazi Üniversitesi	RenishawInvia
	Toplam karbon Toplam kükürt	İstanbul Teknik Üniversitesi	LECO
Paleobotanik	Botanik mikroskop	İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa	Leica DM2500
Gemolojik	Özgül ağırlık	GLT IGSL	MettlerToledo JP303G MettlerToledo
	Refraktif değer	IGSL	GIA üretimi refraktometre
	Lapidari	Mücevher İhracatçıları Birliği	Silica-Gem Lapidary Machines

Arazi çalışmaları ile paralel olarak yürütülen tüm laboratuvar işlemlerinde çok sayıda silisleşmiş ağaç örneği ile farklı litolojilere ait numuneler kullanılmıştır. Tüm örnekler öncelikle makro olarak ve lup yardımı ile ön elemeden geçirilmiş, ağaçlarda özellikle odun dokusu korunmuş olanlardan enine, teğet ve radyal olarak üç yönlü, kayaçlarda ise tek yönlü ince kesitler yaptırılmıştır. Ayrıca her çalışma lokasyonunu temsilen seçilen ağaç ve kayaç örnekleri öncelikle dişli kırıcıdan geçirilerek boyutları küçültülmüş, daha sonra İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa (İÜC) Jeoloji Mühendisliği Bölümü Mineraloji-Petrografi Anabilim Dalı'nda bulunan elektrikli-manuel agat havanda toz haline getirilmiştir (Şekil 3.2a,b).



Şekil 3.2: Toz numune hazırlamada kullanılan a) Öğütücü havan makinesi, b) Agat havan.

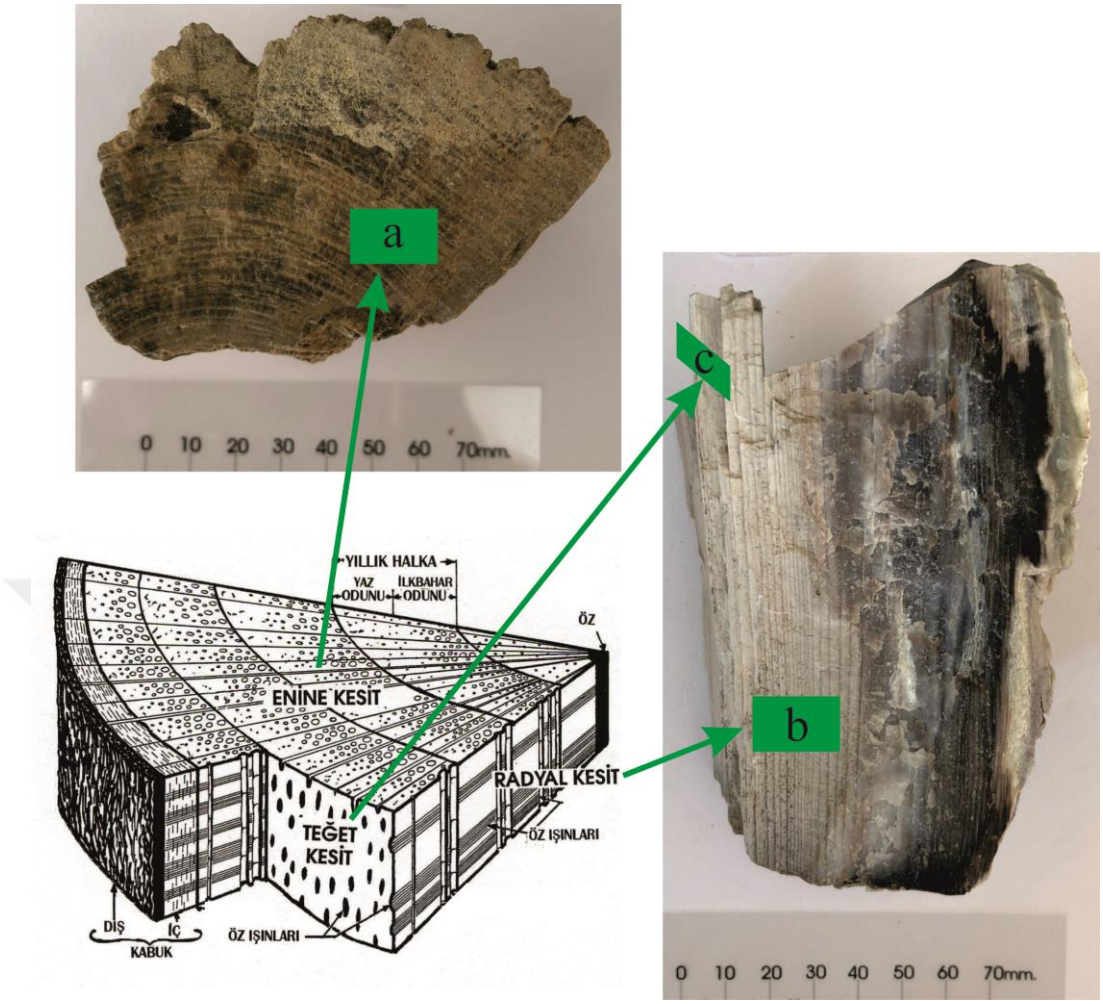
Silisleşmiş ağaç örneklerinden toplamda yüz seksen üç (183) adet üç yönlü ince kesit ile kayaçlara ait ince kesitler (on beş adet) İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi Jeoloji İnce Kesit Laboratuvarı'nda yaptırılmıştır (Şekil 3.3a,b).



Şekil 3.3: a) Silisleşmiş ağaç örneklerine ait üç yönlü ince kesitlerin bir bölümü ile ham örnekleri. b) İnce kesitlerin hazırlandığı İstanbul Teknik Üniversitesi Jeolojik İnce Kesit Laboratuvarı.

İyi veya kısmen korunmuş fosil ağaç örneklerinde, odun anatomisine göre enine, radyal ve teğet yöndeki kesitler incelenerek, güncel ağaçlarda olduğu gibi cins/tür tayinleri yapılmaktadır. Bunlar:

- Enine Kesit: Ağaç gövdesinin boyuna eksenine dik yönde kesilmesiyle elde edilen yüzeydir (Şekil 3.4a).
- RadyalKesit: Ağacın merkezinden (öz) kabuğa doğru alınan ve öz ışınlarına paralel olan yüzeydir (Şekil3.4b).
- Teğet Kesit: Yıllık halkalara teğet şekilde veya öz ışınlarına dik yönde olan yüzeydir (Şekil 3.4c).



Şekil 3.4: Silisleşmiş ağaç örneklerinde odun dokusuna göre kesit alım yönlerinin görünümü; a) Enine, b) Radyal, c) Teğet kesit.

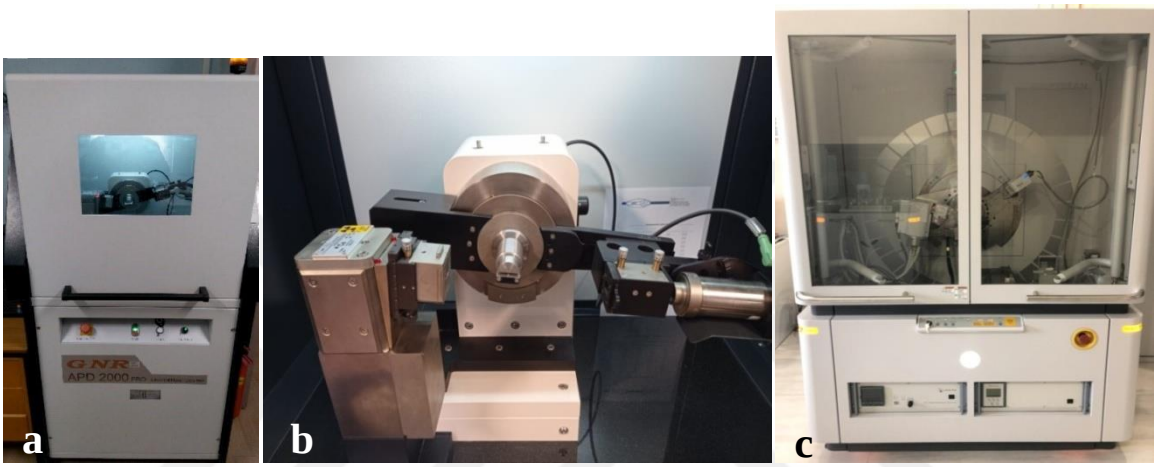
Tüm numune hazırlama aşamalarında kontaminasyonun engellenmesi için titizlikle çalışılmıştır.

3.2.1. Mineralojik-Petrografik Çalışmalar

Mineralojik ve petrografik çalışmalar kapsamında gerçekleştirilen inceleme ve analizlerde, silisleşmiş ağaçlar ile kayaçlara ait ince kesitler ve toz numuneler kullanılmıştır. İnce kesitler, Leitz, James Swift, Leica DM2500 marka polarizan mikroskoplar altında mineralojik olarak incelenerek, içerdikleri silisin polimorfları tanımlanmıştır. Gerekli görülen alanların fotoğrafları için Leica marka DFC295 model dijital kamera kullanılmıştır.

Miineralojik tayinleri desteklemek amaçlı, hem seçilen silisleşmiş ağaç hem de kayaçlara ait toz örneklerden X-Işını Kırınım Yöntemi (XRD) ile mineralojik tanımlamalar gerçekleştirilmiştir. Toplamda yirmi (20) adet örnek üzerinde yapılan analiz için iki farklı laboratuar kullanılmıştır. Bunlardan altı (6) adet silisleşmiş ağaç örmeği analizi İÜC Jeoloji

Mühendisliği Bölümü Mineraloji-Petrografi Anabilim Dalı X-Işınları laboratuvarındaki GNR marka APD 2000 Pro model cihazda Cu-Kα radyasyonuile 40 kV gerilimve 30 mA akımaltında 2θ=1°/dk gonyometre hızı ile yapılmıştır (Şekil 3.5a,b). Ölçüm 0°–55° arasında alınmıştır ve alınan XRD kayıtları Philips X'pert High score yazılımı kullanılarak değerlendirilmiştir. Diğer XRD analizleri ise Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı Uygulama ve Araştırma Merkezi (ARUM)'nde ise Panalytical Empyrean cihazında gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.5c).



Şekil 3.5: a) İÜC Jeololji Mühendisliği Bölümünde yeralan XRD cihazının dış görünümü, b) gonyometre, x ışını tüpü, dedektör ve numune tutucu, c) Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Merkezi ARUM'da yer alan Panalytical Empyrean marka XRD cihazın görünümü.

Taramalı Elektron Mikroskop (SEM) görüntülemeleri ve Enerji Dağılım Spektrometre (EDS) analizi Joel-JSM 5600 ve I-XRF 500 marka/model cihazlar kullanılarak İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Laboratuvarında dört (4) adet silisleşmiş ağaç üzerinde çok sayıda ölçüm yapılarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.6). Ayrıca, daha iyi görüntülemelere ulaşabilmek amacıyla;

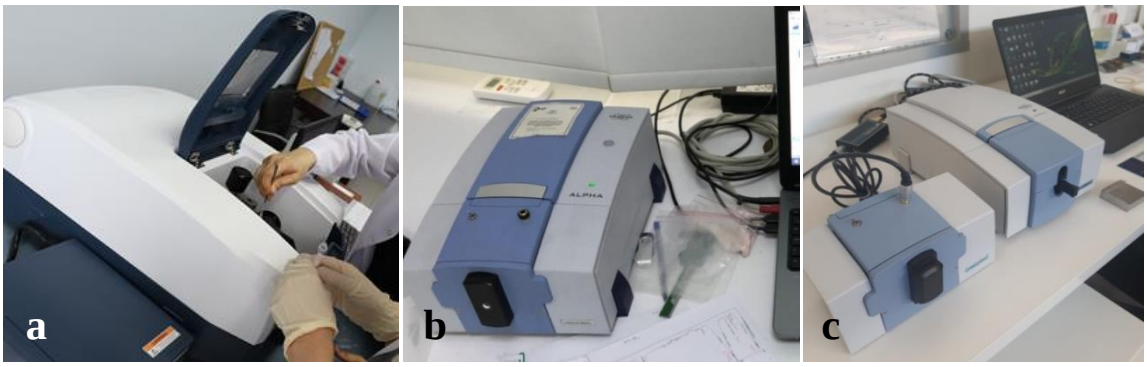
- Eskişehir Osmangazi Üniversitesi ARUM'daJEOL JSM-5600LV cihaz ile (iki adet örnek),
- İstanbul Büyükşehir Belediyesi Koruma Uygulama ve Denetim Müdürlüğü SEM-EDS Laboratuvarı'nda (dört adet örnek),
- Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Kültür Varlıkları ve Sanat Eserleri Malzeme Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde (iki adet örnek) ve
- Fatih Sultan Mehmet Üniversitesi Vakıf Kültür Varlıklarını Koruma Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde Hitachi SU3500 T2 ve Oxford XACT cihaz ile yüksek vakum

ve 15 kV voltaj şartlarında (iki adet örnek) çok sayıda görüntüleme ve element analiz denemeleri yapılmıştır.



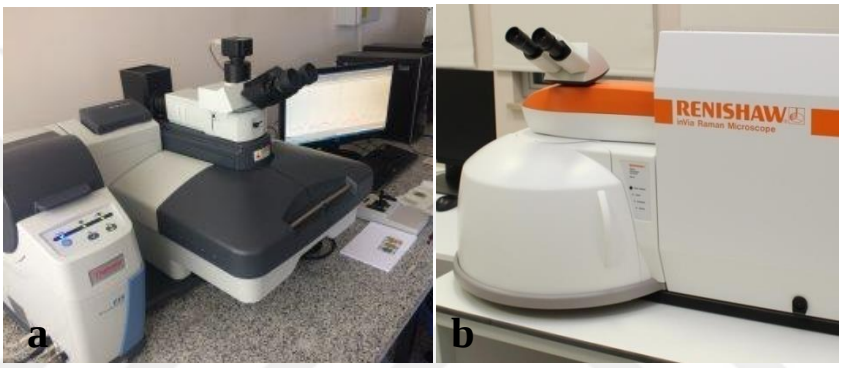
Şekil 3.6: İÜC Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü SEM Laboratuvarının görünümü.

Fourier Dönüşümlü Kızıl Ötesi Spektrometresi (FT-IR) analizleri İÜC Merkez Laboratuvarı'nda yer alan FTJASCO marka FT/IR 4700 model cihaz ile 35.000:1 S/N oranı ve 0.4cm-1 Maksimum çözünürlükte gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.7a). Çalışma bölgelerine aitsilisleşmiş ağaç ve yan kayaçların toplam on dört (14) toz örnekleri kullanılmıştır. Ayrıca, iki ayrı gemolojilaboratuarında, silisleşmiş ağaçlara ait parça örnekler üzerinde Gemolojik Fourier Dönüşümlü Kızıl Ötesi Spektrometresi (Gemmo FT-IR) analizleri yapılmıştır. Bu laboratuarlardan biri olan GLT'de, Bruker Alpha cihaz ile dokuz (9) ham silisleşmiş ağaç örneğinde ölçümler gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.7b). Diğer laboratuvar olan IGSL' deise Bruker Alpha II Front marka cihazda, her bölgeyi temsil eden toplam on iki adet (12) adet silisleşmiş ağaç örneği kullanılmıştır (Şekil 3.7c).



Şekil 3.7: a) İÜC Merkez Laboratuvarı Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektrometresi (FT-IR), b) GLT'de ve c) IGSL'de kullanılan Gemolojik Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektrometresi cihazları.

Konfokal Raman Spektroskopisi (CRS), Ankara Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde (YEBİM) on (10) adet silisleşmiş ağaç ince kesit örneği üzerinde ThermoScientific marka DXR model cihaz ile yapılmıştır (Şekil 3.8a). Noktasal alınan ölçümlerde 100-1200 cm^{-1} ve 100-2000 cm^{-1} bant aralığında, 633 nm lazer kullanılarak 25 Mikro metre slit okuma alınmıştır. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi ARUM' da gerçekleştirilen Raman analizleri ise toplam yirmi altı (26) adet silisleşmiş ağaç ve yan kayaç örneğine ait toz numuneler üzerinde RenishawInvia Raman Spectrometer cihazı ile 532-785 nm lazer, 5x oranı, 100-2000 cm^{-1}aralıkta ve 4 cm^{-1}adımlarda okuma alınarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.8b).



Şekil 3.8: a) Ankara Üniversitesi YEBİM' de bulunan Konfokal Raman Spektroskopisi (CRS) cihazı, b) Eskişehir Osmangazi Üniversitesi ARUM'da yer alan Raman Spektroskopisi cihazı.

3.2.2. Jeokimyasal Analiz Çalışmaları

Mineralojik ve petrografik olarak incelenen silisleşmiş ağaç örneklerinden, çalışma bölgelerini en iyi temsil edenleri seçilerek jeokimyasal analizler için gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda gerçekleştirilen tümkayaç jeokimya analizleri İÜC Jeoloji Mühendisliği Bölümü Jeokronoloji ve Jeokimya Laboratuvarı'nda, düşük belirleme limitleri (ppm düzeyinde) ile gerçekleştirilmiştir. Trakya Bölgesinde Keşan, Malkara, Yalıköy, Silivri, Beylikdüzü, Batı Anadolu'da Tavşanlı, Osmancalı ve Banaz bölgelerinden seçilen sekiz (8) adet silisleşmiş ağaç örneğinde analiz gerçekleştirilmiştir. Pudra formdaki numuneler üzerinde ana oksit ölçümleri ICP-OES cihazı, iz ve nadir toprak elementleri analizi ise LA-ICP-MS cihazı ile yapılmıştır (Şekil). Lazer aşındırma (LA) sisteminde ESI NWR 213 cihazı ile 231 nm lazer dalga boyu, 5-6 J/cm^{-2} enerji seviyesi, 25 ve/veya 40 mikron ışın çapı, 100% He taşıyıcı gaz ve 0,5 lt/sn hücre gazı taşıma hızı koşulları kullanılmıştır. Nadir toprak element ölçümlerinin gerçekleştirildiği ICP-MS analizinde ise ThO^{+}/Th^{+} oranları %0,5'in altında olacak şekilde, 1500 Watt RF gücü ve argon gazı ortamında Perkin-ElmerNexION200 cihaz kullanılmıştır (Şekil 3.9a,b.). Ana oksit element ölçümleri Perkin–ElmerAvio 200 ICP-OES cihazı ile sıvı

çözelti üzerinden gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.9c). Elde edilen veriler Sills ve ICPMSDataCal programları ile değerlendirilmiştir. Aynı laboratuarda gerçekleştirilen diğer bir analiz olan ateşte kayıp oranlarının (LOI) ölçümünde ise, sekiz (8) adet silisleşmiş ağaç toz numunesi üzerinde 900 ℃ 'de iki saat süre ile kül fırında pişirme yöntemi kullanılmıştır. Bu analiz ile örnekler içerisindeki tüm uçucular uçurularak kütle kaybı hesaplanmıştır.



Şekil 3.9: İÜC Jeoloji Mühendisliği Bölümü Jeokronoloji ve Jeokimya Laboratuvarı'nda bulunan a)LA modülü, b)ICP-MS, c)ICP-OES cihazının görünümü.

Toplam Karbon (TC) ve Toplam Kükürt (TS) analizleri İstanbul Teknik Üniversitesi Cevher Hazırlama Mühendisliği Bölümü Kimya Analiz Laboratuvarı'nda her çalışma bölgesini temsil eden silisleşmiş ağaçlara ait toz numuneler üzerinde yapılmıştır. Hassas tartıda 0,05 gr olarak hazırlanan örnekler, ısıya dayanıklı özel kaplarda, ELTRA CS580 cihazında 1350 °C'de yakılarak analiz edilmiştir (Tablo 3.3; Şekil 3.10a,b).



Şekil 3.10: Toplam karbon ve toplam kükürt analizinde a) kullanılan cihaz ve b) 1350 °C'de yakma işlemi.

Tablo 3.3: Silisleşmiş ağaç örneklerinde gerçekleştirilen toplam karbon ve kükürt analizi sayıları.

Bölge	Trakya					Batı Anadolu		
	Keşan (Edirne)	Malkara (Tekirdağ)	Yalıköy (İstanbul)	Silivri (İstanbul)	Beylikdüzü (İstanbul)	Tavşanlı (Kütahya)	Osmancalı (Manisa)	Banaz (Uşak)
n	3	2	3	2	2	2	6	2

3.2.3. Paleobotanik Çalışmalar

Tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen paleobotanik çalışmalar, seçili silisleşmiş ağaç örneklerinden hazırlanmışyüz seksenüç (183) adet ince kesit üzerinde gerçekleştirilmiştir. Kesitlerde odun tanısında kullanılan gymnospermlerde traheid, öz ışını, odun parankiması özellikleri, angiospermlerde isetrahe, öz ışını, odun parankiması ve lif özellikleri incelenmiştir (Tablo 3.4). İÜC Orman Mühendisliği Bölümü Yıllık Halka Araştırmaları ve Odun Anatomisi Laboratuvarı'nda yapılan tanımlamalarda vetüm kesitlerin fotoğraf çekimlerinde Leica DM2500 mikroskop ile Leica DFC295 dijital kamera kullanılmıştır (Şekil 3.11). Terminolojik tanımlamalarda IAWA Committe (1989, 2004) ve fosil cins isimlerinin kontrolünde (Gregory et al., 2009) ilgili referanslar ile odun anatomisi anahtarları için de Inside Wood veri tabanı takip edilmiştir (InsideWood 2004).

Tablo 3.4: Odun teşhisinde incelenen özellikler.

Kesit Alım Yönü	Ağaç Türleri: Gymnospermae *(Açık Tohumlular)*	Ağaç Türleri: Angiospermae *(Kapalı Tohumlular)*
Enine Kesit	✓ Yıllık halka sınırının belirginliği ✓ Reçine kanalının varlığı ve konumu ✓ Salgı hücrelerinin özellikleri ✓ Odun parenşimlerinin varlığı	✓ Trahelerin çapları ve diziliş şekli ✓ Yaz odunu trahelerinin dizilişi ✓ Birim alandaki trahe sayısı ✓ Odun paranşimlerinin yoğunluğu ve dizilişi ✓ Trahe hücre çeperlerinin kalınlığı ✓ Salgı kanallarının varlığı
Radyal Kesit	✓ Öz ışınlarının homojen/heterojen oluşu ✓ Enine traheidlerin yapısı ve özelliği ✓ Karşılaşma yeri geçitlerinin tipi ✓ Odun paranşimlerinin yapısı ✓ Özışın hücre çeperlerinin yapısı ✓ Horizontal çeperlerinde geçit varlığı ✓ Traheidler üzerinde bulunan kenarlı geçitlerin çift/tek sıralı oluşu, ✓ Torus kenarının düz/dişli olması	✓ Öz ışınlarının homoselüler yada heteroselüler oluşu ✓ Trahelerinperforasyon tablasının türü ✓ Tabakalı yapının varlığı
Teğet Kesit	✓ Öz ışınlarının yüksekliği ✓ Enine reçine kanallarının varlığı ✓ Odun paranşimlerininhorizontal çeperlerinin tipi	✓ Öz ışınlarının genişliği ve yüksekliği ✓ Türlere özgü tabakalı yapıların varlığı

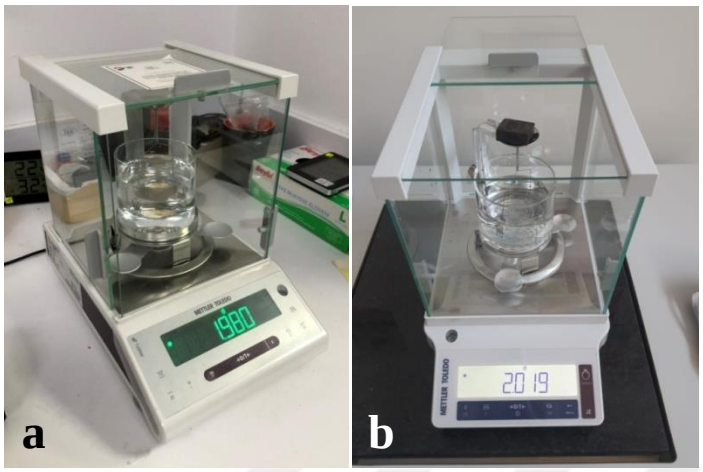


Şekil 3.11: İÜC Yılık Halka Araştırmaları ve Odun Anatomisi Laboratuvarı'nda bulunan botanik mikroskobu.

3.2.4. Gemolojik Çalışmalar

Silisleşmiş ağaç örneklerinin özgül ağırlık ölçümleri, İstanbul Kuyumcular Odası Türkiye Gemoloji Laboratuvarı (GLT) 'nda, yedi (7) adet numune üzerinde, MettlerToledo marka JP303G model cihaz ile 21.5 C %38 nem oranlı ortamda (Şekil 3.12a), International

Gemological Scienc eLaboratories (IGSL)'de ise MettlerToledo marka özgül ağırlık terazisi (Şekil 3.12b) ile on iki (12) adet numune üzerinde gerçekleştirilmiştir.



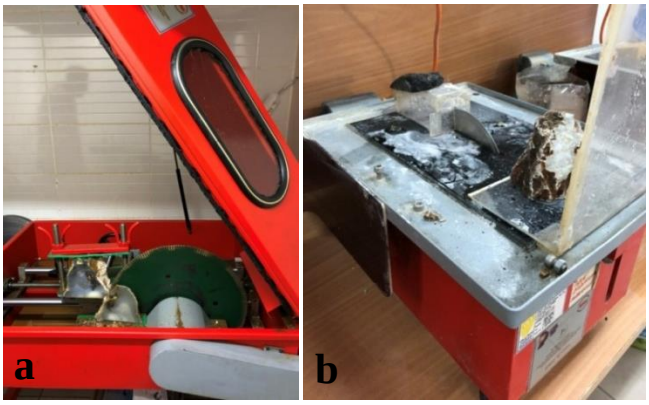
Şekil 3.12: a)GLT' de, b)IGSL'de kullanılan özgül ağırlık ölçüm terazisinin görünümü.

Refraktif İndeks (kırılma indeksi) ölçümleri IGSL'de Gemological Institute of America (GIA) üretimi refraktometre ile on iki (12) ağaç örneği üzerinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.13).



Şekil 3.13: IGSL'de bulunan GIA üretimi refraktometre cihazının görünümü.

Öncelikle makro olarak incelenen ve uygun görülen silisleşmiş ağaç örnekleri süstaşı çalışmaları için seçilmiştir. Mücevher İhracatçıları Birliği Taş Kesim Atölyesinde gerçekleştirilen tüm atölye çalışmalarında Silica-Gem LapidaryMachines markasına ait cihazlar kullanılmıştır. Silisleşmiş ağaç örneklerinin boyutlarının küçültülmesinde SG-SS/5032 model/seri numaralı Büyük Dilimleme Makinesi (Şekil 3.14a) ile SG-TSM/404 model/seri numaralı İnce Dilimleme Makinesi (Şekil 3.14b) kullanılmıştır.



Şekil 3.14: a) Büyük dilimleme makinesi b) İnce dilimleme makinesi.

Boyutları küçültülen örneklere SG-KA/502 model/seri numaralı Kaba Taşlama ve Altılı Combo Makinesi ve Manuel Taşlama ile kaba formları verilmiştir (Şekil 3.15a,b,c). Kaba taşlama işleminde 100 kum sintelli disk, altılı combo makinesinde 200-400 kum sintelli ve epoksi içine gömülmüş 400-800-1500-3000 kum disk, manuel taşlamada 200 kum çelik disk kullanılmıştır.



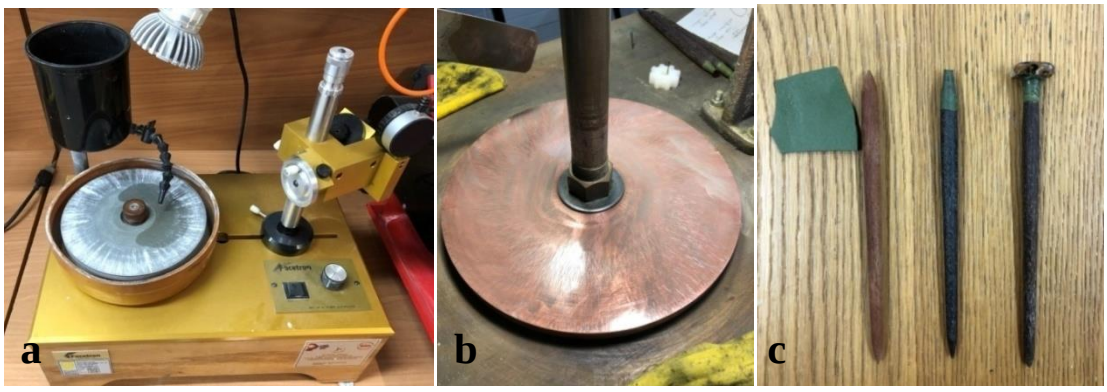
Şekil 3.15: a) Kaba taşlama makinesi, b) Altılı combo makinesi.

SH-HL/303 model/seri numaralı Yatay Lap Makinesi'nde 50-100-200-400-800-1500-3000 kum diskler (Şekil 3.16a,b), SH-HL/305 model/seri numaralı Keçe Makinesinde 10 karat 0-2 range elmas tozu ile Hindistan yağı karışımı (1/3 oranında) ve 220-400-800-1000-1500 kum zımpara kağıtları (Şekil 3.16d) kullanılarak cilalama işlemi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.16: a) Yatay lap makinesi, b) Yatay lap makinesinde kullanılan diskler, c) Keçe makinesi, d) Manuel zımpara kağıtları.

Taşlarda faset yüzey kesimi ile alt yüzeylerinin düzlenmesinde SG-FM/1402 marka/model fasetron makinesi (Şekil 3.17a) ve zımpara diskleri (elmas dikler ile elmas tozu ve Hindistan yağı karışımı sürülen bakır diskler) (Şekil 3.17b) kullanılmıştır. Atölye işlemleri sırasında gerekli görülen ağaç örneklerine, reçineli mum veya mühür mumu ve dop kullanılarak, ısı yardımı ile doplama yapılmıştır (Şekil 3.17c)



Şekil 3.17: a) Fasetron makinesi, b) Bakır zımpara diski, c) Doplama işlemi aşamaları (soldan sağa).

Tüm atölye çalışmaları sonrası seçilen örneklere 925 ayar gümüş kullanılarak geleneksel el işçiliğiyle broş, kolye ucu ve yüzük tasarım çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

3.3. BÜRO ÇALIŞMALARI

Doktora Tezi çalışma bölgelerine ait önceki çalışmalar ile tez boyunca yayınlanan araştırmalar takip edilmiştir. Saha ve laboratuvar çalışmaları ile elde edilen verilerin değerlendirilmesi, ulusal ve uluslar arası literatür ile karşılaştırılarak yorumlanması büro çalışmaları kapsamında gerçekleşmiştir. Ayrıca, jeolojik harita ve kesitlerin bilgisayar ortamında çizilmesi (CorelDraw), tablo ve diyagramların hazırlanması, analiz sonuçlarının program yardımı ile değerlendirilmesi (GCDKit) ve tez yazımı çalışmalarını da kapsamaktadır.

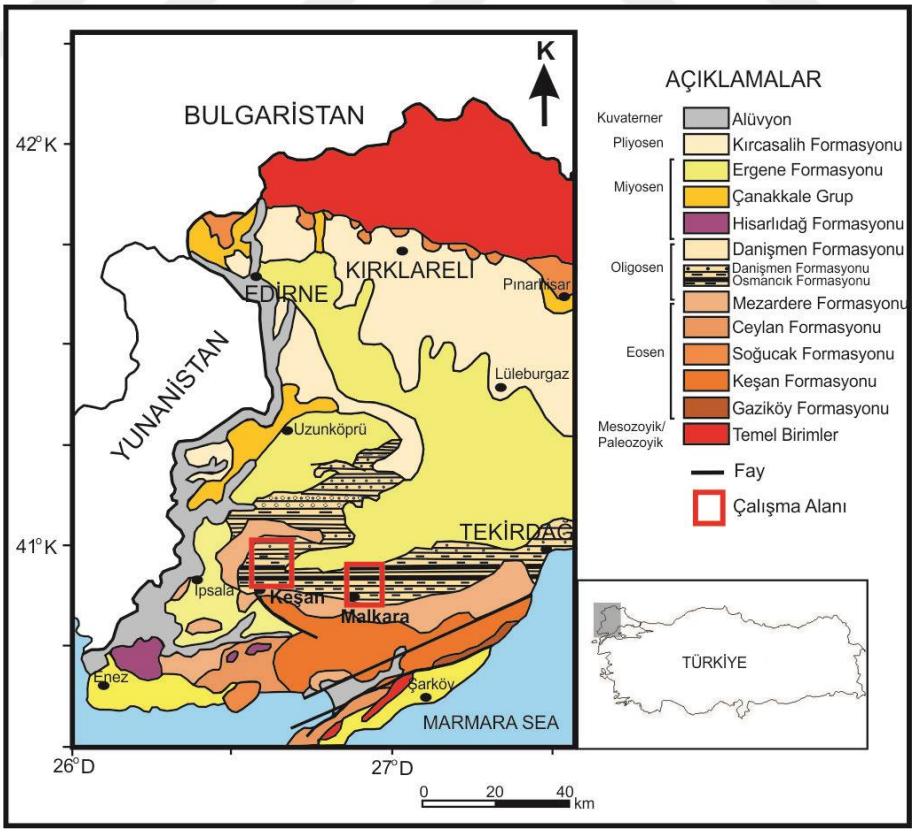
4. BULGULAR

4.1. ÇALIŞMA ALANLARININ JEOLOJİSİ

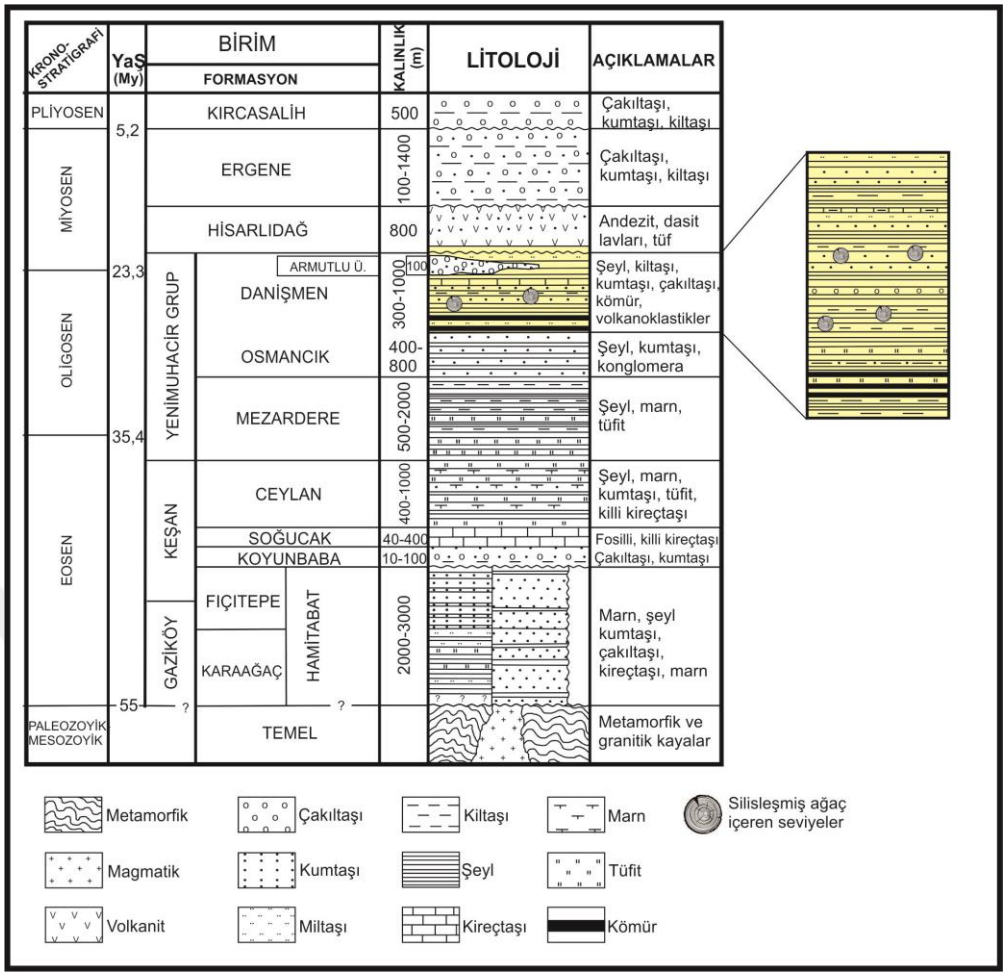
4.1.1. Trakya Bölgesi

4.1.1.1. Malkara (Tekirdağ) – Keşan (Edirne) ve Civarının Jeolojisi

Malkara ve Keşan bölgeleri Trakya Havzasının güneybatısında yer almakta olup, stratigrafik olarak temelde metamorfik kayaçlardan oluşan ve plütonik kütlelerce kesilen Istranca Masifi bulunmaktadır (Okay et al., 2001; Sunal et al., 2011; Yılmaz Şahin et al., 2014; Aysal et al., 2018). Temel birimler üzerinde uyumsuz olarak Triyas-Jura yaşlı metasedimanter birimler (Çağlayan et al., 1988; Okay et al., 2001;Natal'in et al., 2005a;b; Sunal et al., 2006; Sunal et al., 2011) ile bunları uyumsuz olarak üzerleyen Geç Kretase yaşlı sedimanter ve volkanik kayaçlar gelmektedir (Okay et al., 2001; Sunal et al., 2011; Şekil 4.1;4.2). Şentürk ve diğ. (1998 a,b) göre bölgede yüzeylenen en yaşlı birim, metamorfik kayaçlar ile temsil edilen Geç Kretase yaşlı Yeniköy Karışığıdır.



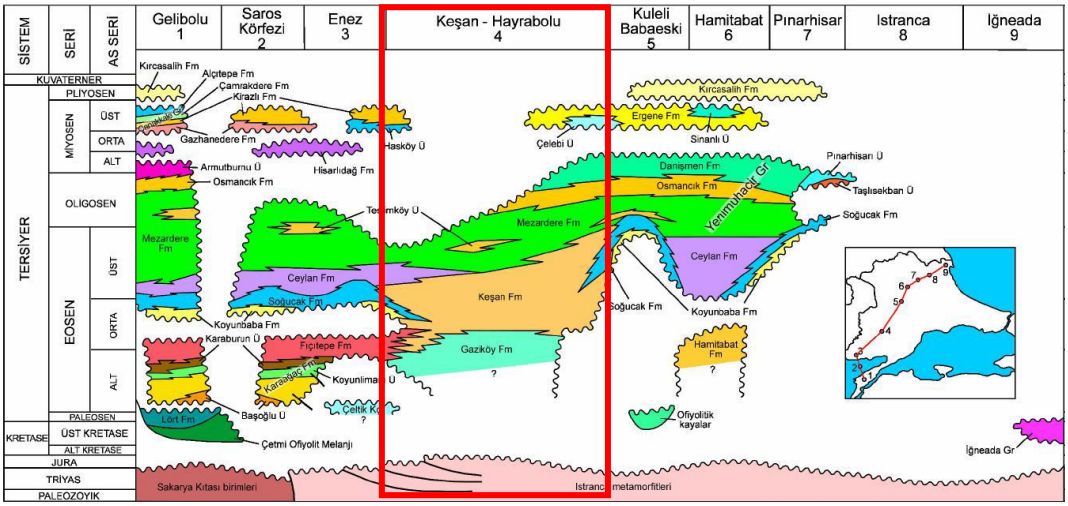
Şekil 4.1: Trakya Bölgesi batı kesimi ile çalışma alanlarının jeoloji haritası (Siyako, 2006a'dan değiştirilerek alınmıştır).



Şekil 4.2: Trakya Havzası Tersiyer istifinin genelleştirilmiş stratigrafik kesit (Siyako, 2006a'dan değiştirilerek alınmıştır).

Temel kayaçlar üzerine ilk defa N.V. Turkse Shell (1972) tarafından üye olarak tanımlanan, daha sonra Kasar ve diğ. (1983) tarafından formasyon olarak adlandırılan, kumtaşı, silttaşı, gri renkli şeyl ve tüf ara seviyeleri ile temsil edilen Gaziköy Formasyonu uyumsuz olarak gelmektedir (Siyako, 2006a; Şekil 4.1;4.2). Derin denizel ortamda çökelen formasyonun kalınlığını Sümengen ve diğ. (1987) 637 m ölçerken, Siyako (2006a) bu kalınlığın 1000 m kadar olabileceğini öngörmüştür. Kasar (1987) birimin yaşını dokanak ilişkilerine göre Orta Eosen, Sümengen ve diğ. (1987) fosil içeriğine göre Orta-Geç Eosen olarak vermiş, Siyako (2006a) ise bölgesel jeolojiye göre sedimantasyon başlangıcının Erken Eosene kadar inebileceğini vurgulamıştır. Gaziköy Formasyonu üzerine dereceli geçişli olarak, ilk defa Gökçen (1967) tarafından adlandırılan Keşan Formasyonu gelmektedir (Siyako, 2006a; Şekil 4.1;4.2). Formasyon, orta-kalın katmanlı kumtaşı, yer yer tüfit ve seyrek olarak çakıltaşı ile şeyl ara katmanlı olarak tanımlanır. Birimin kalınlığı; Kasar ve diğ. (1983) tarafından 1070 m, Sümengen ve Terlemez (1991) tarafından 1880 m olarak ölçülmüş, Siyako (2006a) tarafından

ise 2500-3000 m olabileceği belirtilmiştir. Yaşını ise, Sümengen ve diğ. (1987) fosil içeriğine göre Geç Eosen, Siyako (2006a) stratigrafik konumuna göre Orta-Geç Eosen vermiştir. Çalışma bölgelerini de içeren Güney Trakya'da Gaziköy ve Keşan Formasyonları olarak adlandırılan birimlerin, Gelibolu Yarımadası'ndaki yanal eşitleri Karaağaç (Erken-Orta Eosen) ve Fıçıtepe Formasyonları (Erken-Orta Eosen), kuzey Trakya'daki ise Hamitabat Formasyonudur (Erken-Orta Eosen). Ayrıca, çalışma bölgelerinde yer almayan Koyunbaba (Orta-Geç Eosen), Soğucak (Orta-Geç Eosen) ve Ceylan Formasyonları (Geç Eosen) da Trakya Havzası güney kesimleri ile Gelibolu Yarımadası'ndaki benzer yaşlı çökelmeleri temsil etmektedir (Siyako, 2006a, Şekil 4.2; 4.3).



Şekil 4.3: Trakya Havzası stratigrafisi (Siyako, 2002).

Bölgede Keşan Formasyonu üzerinde dereceli geçişli olarak Yenimuhacir Grubu yer almaktadır (Şekil 4.1;4.2). İlk defa Ünal (1967) tarafından grup mertebesinde tanımlanmıştır ve özellikle güney Trakya'da önemli mostralar vermektedir. Klasik bir delta sisteminde oluşan grup, yanal ve üste doğru tane boyu irileşen şeyl, silttaşı, kumtaşı, çakıltaşı, tüf-tüfit ara seviyeleri ve kömür oluşumları ile temsil edilir. Yenimuhacir Grubunun yaşı Geç Eosen-Erken Miyosen olarak saptanmıştır (Gerhard and Alişan 1987; Ediger and Alişan, 1989; Batı ve diğ., 1993; Batı ve diğ., 2002; Siyako, 2006a; Akkemik and Sakınç 2013; Perinçek et al., 2015) ve Mezardere, Osmancık ve Danişmen Formasyonlarını içermektedir (Perincek, 1991; Siyako, 2006a; Perinçek et al., 2015; Şekil 4.1;4.2). En altta yer alan Mezardere Formasyonu ilk defa Ünal (1967) tarafından adlandırılmıştır. Şeyl, marn ile tüfit ve kumtaşı ara seviyelerinden oluşan birimin kalınlığını Kopp et al. (1969) 1200 m, Kasar ve diğ. (1983) 1540 m, Siyako (2006a) 2500 m olarak tespit etmiştir. Geniş yüzeklere sahip birimin yaşı Sümengen ve diğ. (1987)'nin fosil tayinlerine göre Geç Eosen, TPAO tarafından

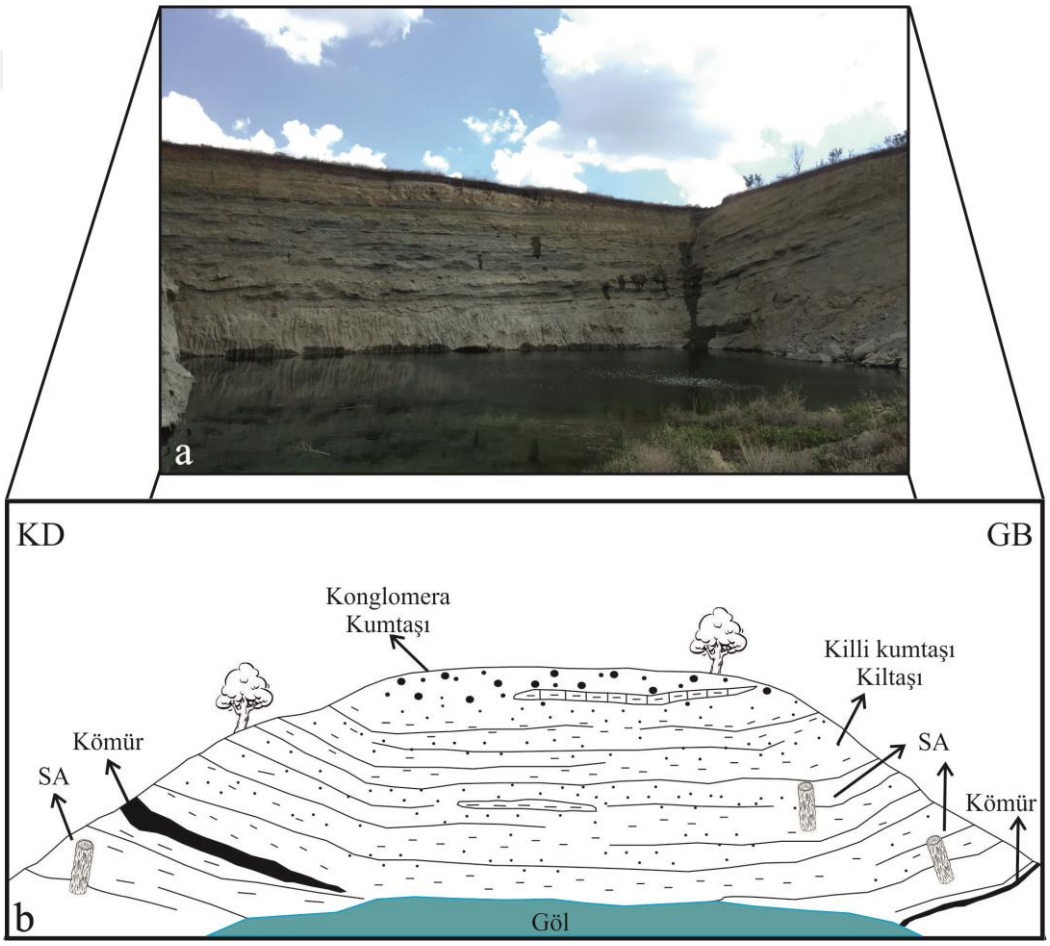
gerçekleştirilen çok sayıda palinolojik çalışmaya göre ise Geç Eosen-Erken Oligosen, havza doğusunda ise Geç Eosen-Geç Oligosen olarak tespit edilmiştir (Alişan, 1985; Alişan ve Gerhard, 1987; Gerhard and Alişan, 1987; Edigerand Alişan, 1989; Batı ve diğ., 1993; 2002; Şekil 4.1;4.2). Mezardere Formasyonu üzerine dereceli geçişli olarak gelen Osmancık Formasyonu ilk defa Ünal (1967) tarafından formasyon mertebesinde tanımlanmıştır. Tane boyu üste doğru irileşen kumtaşı, şeyl, az miktarda çakıltaşı, kireçtaşı ve tüf ara seviyelerinden oluşan birim yer yer linyit ara seviyeleri içermektedir. Tip kesitinde 810 m kalınlıkta ölçülen (Temel ve Çiftçi, 2002) birimin yaşı içerdiği omurgasız hayvan fosillerine göre Oligosen (Lebküchner, 1974), palinolojik çalışmalara göre de Erken-Geç Oligosen olarak tespit edilmiştir (Alişan, 1985; Alişan ve Gerhard, 1987, Gerhard and Alişan, 1987; Ediger and Alişan, 1989; Batı ve diğ., 1993; 2002; Akyol ve Akgün, 1995; Şekil 4.1;4.2).

Yenimuhacir Grubunun en üst seviyesinde yer alan Danişmen Formasyonu, Osmancık Formasyonu üzerinde dereceli geçişli olarak yer almaktadır (Şekil 4.1;4.2). Bu dereceli geçiş nedeniyle Trakya'da çoğu yerde, özellikle yer altında Osmancık-Danişmen dokanağının belirlenmesinde zorluk yaşanmaktadır (Siyako, 2006b). Birime ilk kez Ünal (1967) tarafından, Pınarhisar Danişmen Köyü'nün (Kırklareli) ismi verilmiştir (Kesgin ve Varol, 2003; Siyako, 2006a). Göl, bataklık, taşkın ovası ve akarsu çökellerinden oluşan birim, şeyl, kiltaşı, kumtaşı, çakıltaşı, yer yer tüf seviyeleri ve kömür bantları içermektedir. Geniş mostralara sahip formasyon ortalama 1000 metre kalınlığa sahiptir (Siyako, 2006a) ve bu kalınlığın 1600 m'ye ulaştığı, en ince yerinde ise 0-300 m kalınlığa kadar düştüğü gözlenmiştir (Perinçek et al., 2015). Danişmen Formasyonuna, Akartuna (1953) Geç Miyosen, Ülkümen (1960), Rückert-Ülkümen (1990) ve Aslaner (1956) Sarmasiyen, Kemper (1961) Erken Oligosen, Kasar ve Eren (1986) Geç Oligosen, Saraç (1987) Erken Oligosen, Alişan (1985) Geç Oligosen-Erken Miyosen, Gerhard and Alişan (1987) Geç Oligosen-Erken Miyosen, Batı ve diğ. (1993) Geç Oligosen-Erken Miyosen, Batı (1996) ve Batı ve diğ. (2002) Geç Oligosen, Ozansoy (1962) ve Lebküchner (1974) Erken Oligosen, Umut ve diğ., (1983;1984) ile Sümengen ve diğ. (1987) ise Orta Oligosen yaşını vermiştir. Danişmen Formasyonu, kömür (linyit), petrol, ve doğal gaz içermesi bakımından Trakya Havzası için büyük bir öneme sahiptir (Ünal, 1967; Kasar ve diğ., 1983; Batı ve diğ., 2002;Siyako 2006a). Ayrıca, kuzeybatı Trakya'da balık fosilleri, güneybatı Trakya'da ise bitki fosiller ile doktora tez konusu kapsamında çalışılan silisleşmiş ağaçları içermektedir (Siyako, 2006a; Çevik Üner ve diğ., 2020; Çevik Üner et al., 2022).

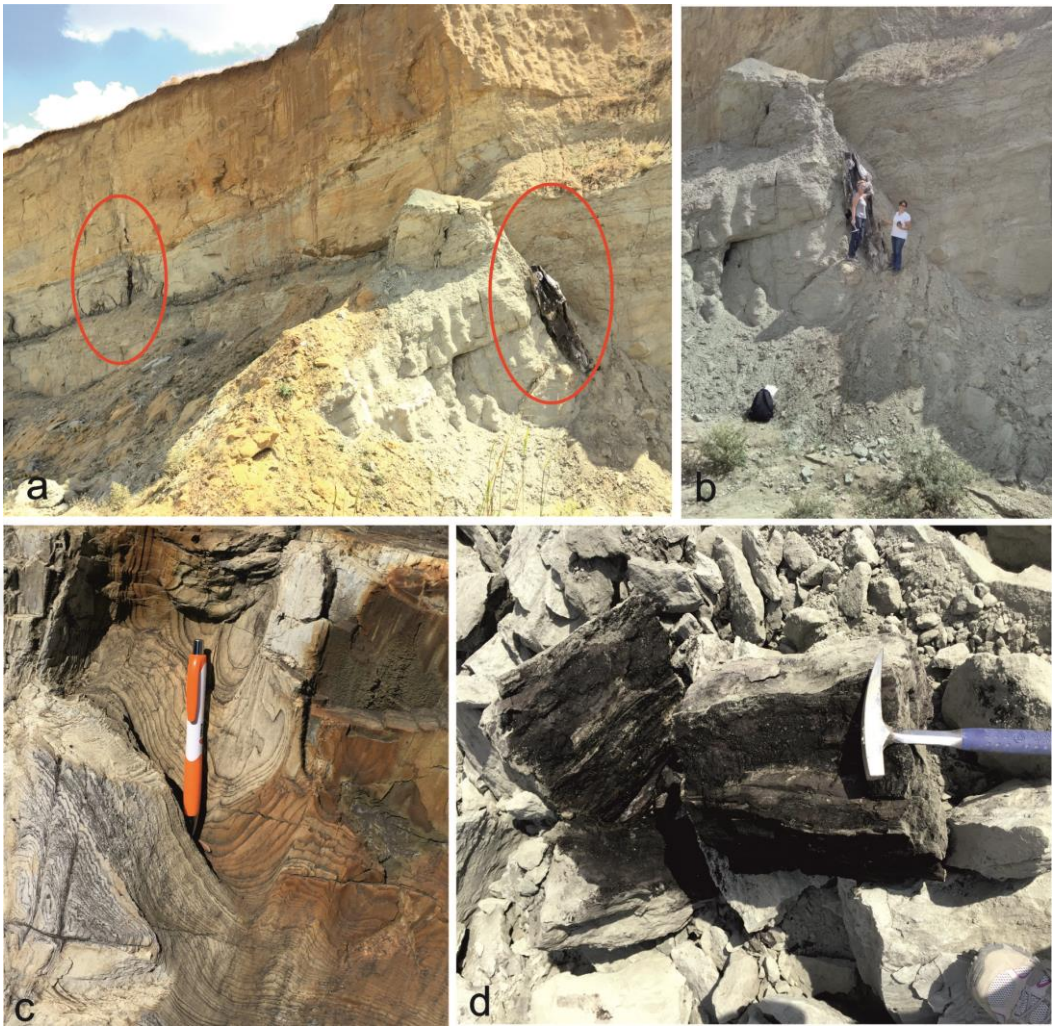
Yenimuhacir Grubun üzerine havzanın güneybatısında yer alan Erken-Orta Miyosen yaşlı Hisarlıdağ Volkanitleri uyumsuz olarak gelmiştir (Şekil 4.1;4.2). İlk defa Saner (1985) tarafından adlandırılan birim alt seviyelerde riyodasitik tüf, andezitik tüf, andezit ve lahar akmaları ile başlar üste doğru beyaz renkli riyolitifk tüf, andezit, bazalt ve aglomera ile devam eder. Bol piroklastik malzemeye sahip birimde, volkanizmanın sakin dönemlerinde oluşan gölsel havzalarda çökelmiş olan kumtaşı, şeyl ve kömür seviyeleri de bulunmaktadır (Sümengen ve diğ., 1987;Güçtekin, 2017). Kalınlığı 800 m olarak tespit edilen (Kasar ve diğ., 1983) Hisarlıdağ Volkanitlerinin yaşı için K/Ar yaşlandırma analizine göre 35,0 ± 09 My (Erken Oligosen) (Ercan, 1992; Ercan ve diğ., 1998), palinolojik değerlendirmelere göre Erken-Orta Miyosen (Edigerand Batı, 1988), Geç Oligosen (Yazman ve diğ., 2000), Erken Miyosen-?Orta Miyosen (Batı ve Siyako, 2005) verilmiştir. Çalışma bölgesinde Hisarlıdağ Volkanitleri üzerinde uyumsuz olarak, Trakya Bölgesinde en geniş yüzleklere sahip olan Ergene Formasyonu yer almaktadır (Siyako, 2006a; Şekil 4.1;4.2). İlk defa Boer (1954) tarafından adlandırılan birim akarsu ve göl ortamını temsil eden çakıltaşı, kumtaşı, miltaşı, kiltaşından oluşmakta ve bol miktarda bitki ile omurgalı fosili içermektedir (Umut ve diğ., 1983;1984; Duman ve diğ., 2004). Kalınlığı havza kenarında 40-60 m (Çağlayan ve Yurtsever, 1998), havza ortalarında ise 800-1000 m olarak tespit edilmiştir (Siyako, 2006a). Ergene Formasyonunun yaşı Umut ve diğ. (1983), Çağlayan ve Yurtsever (1998) ve Duman ve diğ. (2004)'e göre Orta-Geç Miyosen, Umut (1988a;b) ve İmik (1988)'e göre ise Geç Miyosen olarak verilmiştir. Trakya'da hemen hemen tüm birimlerin üzerine uyumsuz olarak Kırcasalih Formasonu gelmektedir (İmik, 1988; Umut ve diğ., 1988 a;b*;* Çağlayan ve Yurtsever, 1998; Türkecan ve Yurtsever, 2002; Siyako, 2006a, Şekil 4.1;4.2). İlk defa Boer (1954) tarafından isimlendirilen birim, iyi tutturulmamış çakıltaşı, kumtaşı ve az miktarda kiltaşından oluşur. Kalınlığı 500 metreye ulaşabileceği öngörülen Kırcasalih Formasyonu akarsu fasiyesinde çökelmiştir ve stratigrafik konumuna göre yaşı Geç Miyosen-Pliyosen'dir (Çağlayan ve Yurtsever, 1998;Siyako, 2006a).

Keşan bölgesi, Muzalı/Çobançeşme göleti civarında gerçekleştirilen saha çalışmalarında, yeşilimsi-grimsi-sarımsı boz renkli, kumtaşı-kiltaşı-marn ardalanması ve seyrek olarak çakıltaşı seviyeleri ile ince kömür bantlarını içeren, yaklaşık 300 m kalınlıkta Danişmen Formasyonu'na ait mostralar gözlenmişir. İyi tutturulmamış ince taneli, grimsi yeşil renkli kumtaşı seviyeleri karbonat çimentoludur. Birimde tabakalar çoğunlukla ~10-15° eğime sahip veya yataya yakın olup, yer yer eğim açısının daha yüksek olduğu tabakalar ile küçük boyutlu

düşey atımlı normal faylar tespit edilmiştir. Danişmen Formasyonu içerisinde yer alan silisleşmiş ağaç fosillerinin, tabakalara paralel halde bulunan kömür katmanlarına yakın konumlarda yer aldığı saptanmıştır (Şekil 4.4). Ağaçlara ait büyük gövde kısımları genellikle tabakaların eğim yönüne dik şekilde bulunurken, daha ince olan gövde ve dal parçaları eğim yönüne paralel şekilde, tabakalarla uyumlu olarak gözlenmektedir (Şekil 4.4;4.5a,b). İyi korunmuş silisleşmiş ağaç örneklerinde odun dokusu makro ölçekte görülebilmektedir (Şekil 4.5c). Kömür seviyelerine yakın olan örneklerde ise silisleşmenin yanı sıra kısmen ve/veya tamamen kömürleşme de meydana gelmiş, ağacın bu kısımlarında çoğunlukla odun dokusu makro ölçekte kaybolmuştur. (Şekil 4.5d).



Şekil 4.4: Keşan Bölgesinde yer alan Danişmen Formasyonu içerisinde kömür bantlarını ve silisleşmiş ağaç seviyelerini gösteren fotoğraf ve kesit çizimi (SA: Silisleşmiş Ağaç) (Çevik Üner et., 2022'den Türkçeleştirilerek alınmıştır).



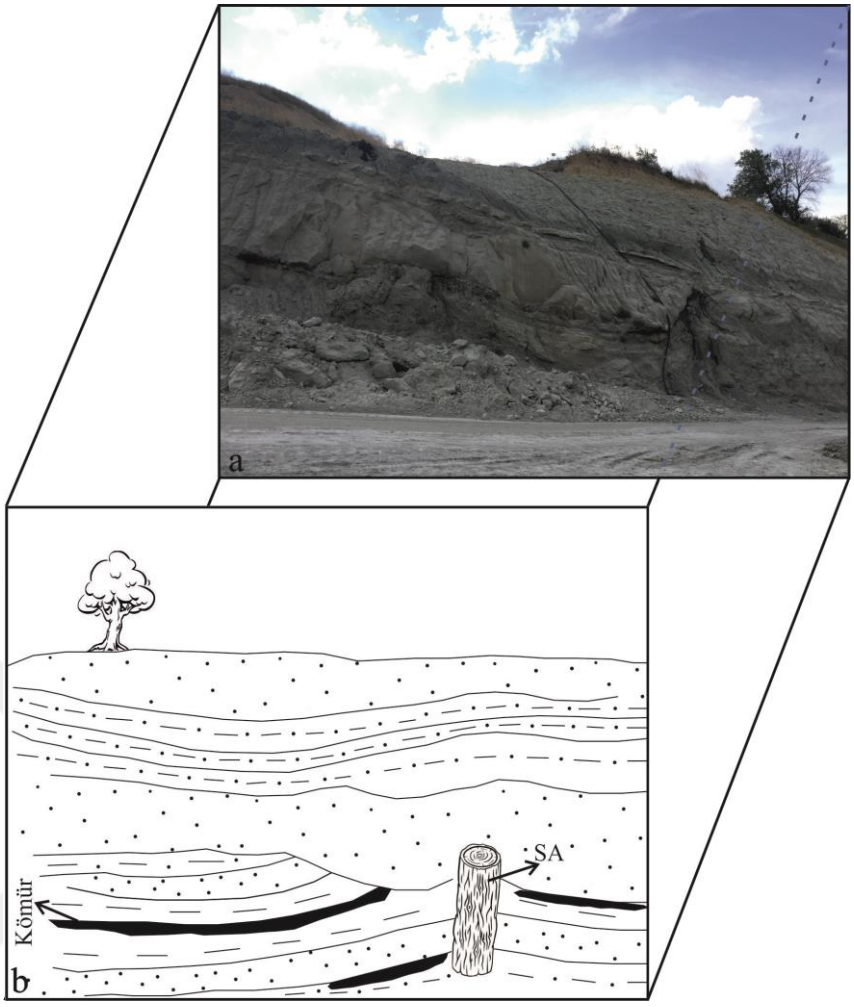
Şekil 4.5: a,b) Tabaka eğim yönüne dik şekilde konumlanan iri silisleşmiş ağaç gövdeleri ile, tabakalara uyumlu şekilde gözlemlenen daha ince gövde ve dal parçaları, c) İyi korunmuş örneklerde odun dokusunun makro ölçekte görünümü, d) Kömür seviyelerine yakın örneklerde silisleşme ile beraber oluşan kömürleşmenin görünümü (Çevik Üner ve diğ., 2020).

Çalışma bölgesinde yer alan silisleşmiş ağaçlar genellikle yerli mostralar içerisinde gözlemlenirken, bazı kömür ocak işletmelerinde formasyon içerisinden alınmış ve farklı bir alanda biriktirilmiş ağaç gövde şeklinde bulunmaktadır (Şekil 4.6). Yerli mostrada ölçümü yapılmış ağaçlarda ~80-290 cm boy ve ~30-60 cm çap değerleri tespit edilmiştir. Ocak işletmeleri sırasında çıkarılmış silisleşmiş ağaçlarda ise ~300 cm boy ve ~150-200 cm çapında olan, boyutları ve dokusu çok iyi korumuş silisleşmiş ağaç fosillerine rastlanmıştır (Çevik Üner ve diğ., 2020)

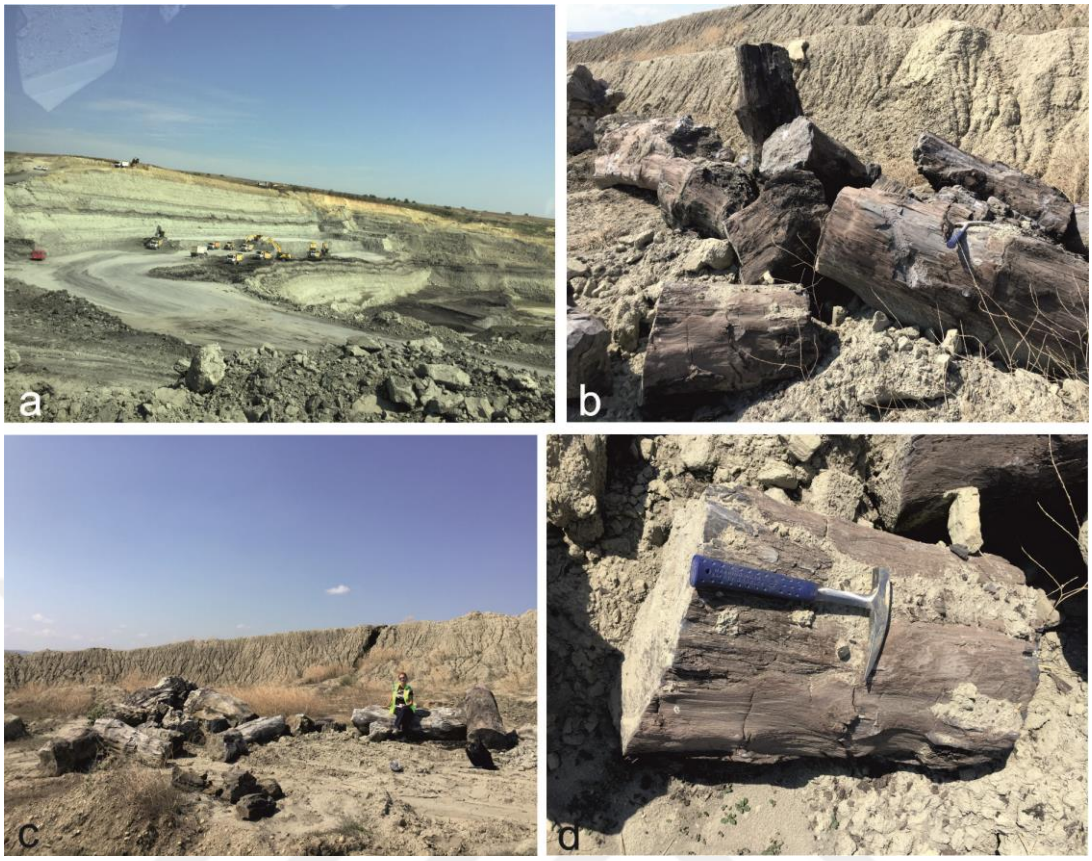


Şekil 4.6: Keşan bölgesinde işletilen bir kömür ocağı işletmesinde yol kenarında biriktirilen iri boyutlu silisleşmiş ağaç gövdelerinin görünümü.

Diğer bir çalışma alanı olan Malkara bölgesinde de Danişmen Formasyonuna ait yataya yakın derecede eğimli, ince taneli, grimsi-yeşlimsi renkli, ince tabakalı kumtaşı-kiltaşı ardalanmalı tabakalar ile yaygın kömür ara katmanları gözlenmiştir (Şekil 4.7;4.8a). Tespit edilen silisleşmiş ağaçlardan büyük gövdeli örnekleri genellikle tabaka eğim yönlerine dik konumda olarak kumtaşı-kiltaşı ardalanmasının olduğu ve de kömürlü seviyelerde bulunmaktadırlar (Şekil 4.7). Bu silisleşmiş ağaçlara ait boyutlar, ~75-270 cm boy ve ~55-130 cm çap şeklindedir. (Şekil 4.8b,c,d). Fakat kömür ocaklarında iş makineleri ile çıkarılmaları ve taşınmaları esnasında genellikle zayıf zonlarından kırılmakta ve boyutları küçülmektedir (Çevik Üner ve diğ., 2020).



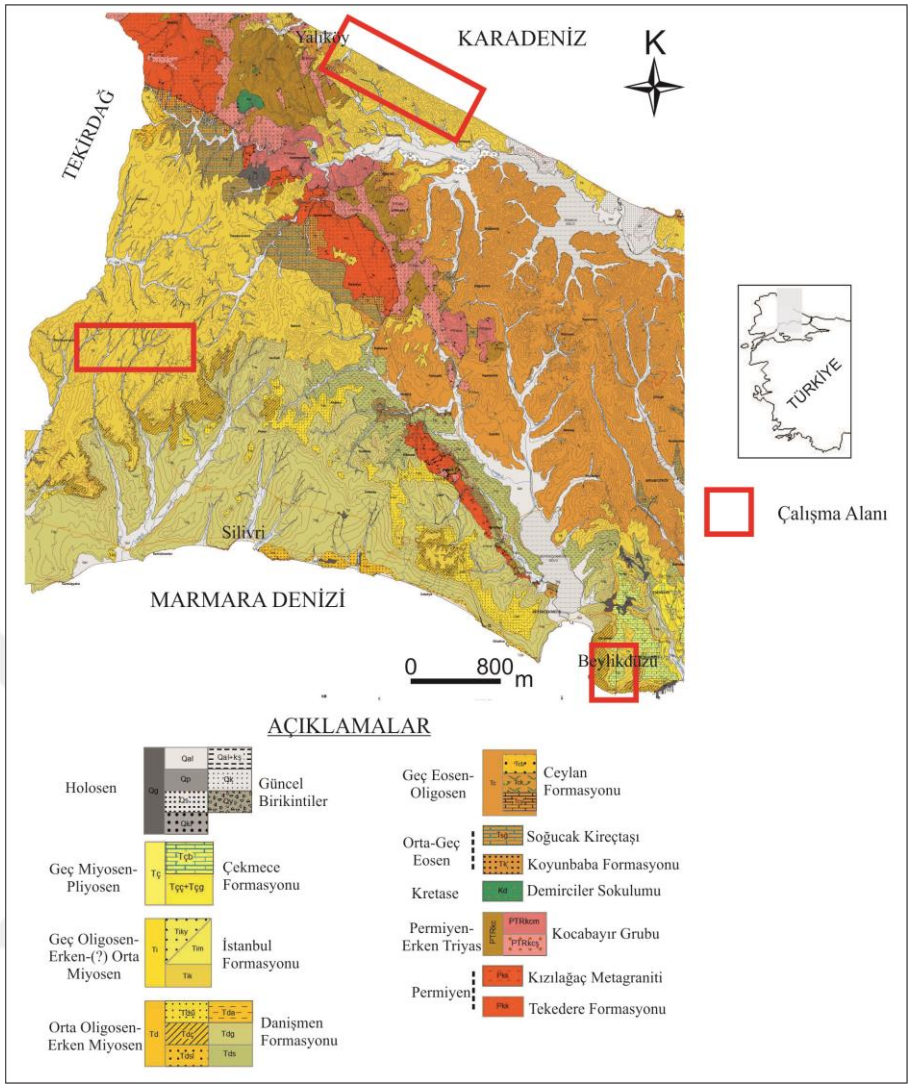
Şekil 4.7: Malkara bölgesinde yer alan Danişmen Formasyonunun kömür bantları ile silisleşmiş ağaç seviyelerini gösteren fotoğraf ve kesit çizimi (SA: Silisleşmiş Ağaç) (Çevik Üner ve diğ., 2022'den Türkçeleştirilerek alınmıştır).



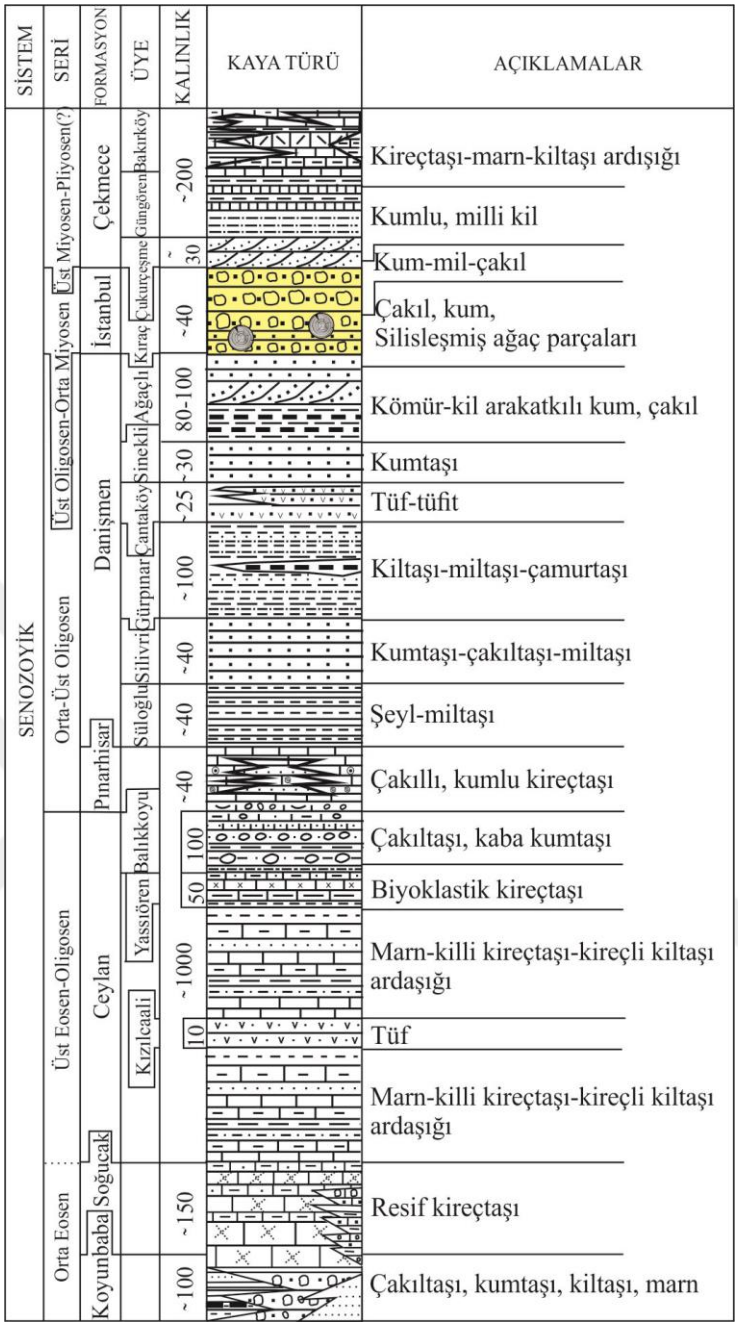
Şekil 4.8: a) Silisleşmiş ağaç örneklerinin bol miktarda çıkarıldığı kömür ocağı işletmesinde kumtaşı-kiltaşı ardalanmalı tabakalar ile kömür ara katmanlarının görünümü, b,c,d) İşletmeden çıkarılan iri boyutlu silisleşmiş ağaç örneklerinin görünümü (Çevik Üner ve diğ., 2020).

4.1.1.2. Yalıköy-Silivri-Beylikdüzü (İstanbul) ve Civarının Jeolojisi

Yalıköy, Silivri ve Beylikdüzü (İstanbul) bölgeleri, Erken Paleozoyik'ten itibaren birçok kaya birimine sahip zengin stratigrafileriyle birçok araştırmaya konu olmuşlardır. İstanbul temelinde iki büyük istif yer almaktadır. Bunlar; metamorfik kayaçlardan oluşan Istranca Masifi ve metamorfik olmayan kayaçlar ile temsil edilen İstanbul Birliği (Özgül, 2005)'dir (Özgül, 2011). Temel kayaçlar üzerine uyumsuzluk ile Geç Kretase-Neojen yaşlı birimler gelmektedir (Özgül, 2011). Kırıntılı, karbonatlı ve volkanik kayaçlardan oluşan bu kalın istif stratigrafik sırayla; İstanbul kuzeyinde yüzeylenen Sarıyer Grubu, Garipçe Formasyonu, Akveren Formasyonu, Şile Formasyonu, Yunuslubayır Formasyonu ile Trakya Havzasının orta-kuzey kesimlerinde yer alan Koyunbaba Formasyonu, Soğucak Formasyonu, Ceylan Formasyonu, Pınarhisar Formasyonu ile havzanın güney ve kuzey kıyılarında yüzeylenen Danişmen Formasyonunu içermektedir (Şekil 4.9;4.10).



Şekil 4.9: Yalıköy, Silivri ve Beylikdüzü (İstanbul) ve civarının jeoloji haritası (Özgül, 2011'den değiştirilerek alınmıştır).



Şekil 4.10: İstanbul ili çalışma bölgelerini kapsayan genelleştirilmiş sütun kesiti (Özgül, 2011'den değiştirilerek alınmıştır).

Çalışma bölgesinde Neojen birimleri, İstanbul Formasyonu ile başlamaktadır. Özgül (2011) tarafından İstanbul Formasyonu olarak adlandırılan birim, akarsu, göl ve lagün fasiyerlerini temsil eden, yer yer kömür arakatkılı kırıntılı sedimanlardan oluşmaktadır. Birime, Gedik ve diğ. (2005) paleontolojik çalışmalar ile Oligosen, Özgül (2011) ise stratigrafik konumundan dolayı Geç Oligosen-Orta Miyosen yaşını vermiştir. Birim üç üyeye ayırtlanmıştır, bunlar; tutturulmamış çakıl ve kum ile temsil edilen ve silisleşmiş ağaçları içeren Kıraç Üyesi, çakıl egemenliğinde olan Kayalı Tepe Üyesi ve linyit ara düzeyli ince kum, kil boyu sedimanları

içeren Meşe Tepesi Üyesidir. (Şekil 4.10). İstanbul Formasyonu üzerine, ilk defa Malik ve Nafiz (1933) tarafından seri mertebesinde adlandırılan Çekmece Formasyonu uyumsuz olarak gelmektedir (Şekil 4.9;4.10). Arıç (1955) yaptığı çalışmalarda istife Çekmece Grubu adlaması yaparak, kum ve çakılın egemen olduğu Çukurçeşme Formasyonu, kil ve mil ile temsil edilen Güngören Formasyonu ve marn ile kireçtaşlarından oluşan Bakırköy Kireçtaşı olarak üç formasyona ayırmıştır (Şekil 4.10). Daha sonra ise Sayar (1976), Sayar (1989), Özgül (2005), Çekmece Formasyonu isimlendirmesi yaparak, Çukurçeşme, Güngören ve Bakırköy Kireçtaşı Üyesi adlamalarını kullanmıştır (Özgül, 2011). Akarsu, göl ve lagün ortamında çökelen birimin yaşını, (Sayar, 1989) tespit ettiği omurgalı ve mollusk fosillerine göre Geç Sarmasiyen (Geç Miyosen) olarak tespit etmiştir. Tüm birimlerin üzerinde, denizlere dökülen akarsu vadilerinde alüvyon birikintileri, akarsu ağızlarında plaj birikintileri, deniz kıyılarının bazı kesimlerinde yalıtaşı oluşumları, eğilimli tepe eteklerinde yamaç molozu ve Karadeniz kıyıları boyunca sık sık kumullar gelişmiştir (Özgül, 2011).

İçerisinde silisleşmiş ağaçların da yer aldığı Trakya Havzası Neojeninin alt seviyeleri, günümüze kadar farklı araştırmacılar tarafından farklı adlar verilerek incelenmiş ve haritalanmıştır. Bu adlamalar yaş olarak birbirilerini tam karşılamamakta ve bölgeyi sonradan çalışan araştırmacılar için karışıklık yaratmaktadır. Bu adlamalara; Trakya Katı (Hochstetter, 1870; Lebküchner, 1974), Belgrat Çakılları (Baykal, 1963), Belgrat Formasyonu (Eroskay, 1978; Önalan, 1982), Ergene Grubu (Umut ve diğ., 1983), Ergene Formasyonu (Duman ve diğ., 2004; Gedik ve diğ., 2014), Trakya Formasyonu (Umut ve diğ., 1984; Yurtsever, 1996), Çukurçeşme Formasyonu (Sayar, 1977), Kıraç Formasyonu (Özgül, 2005), İstanbul Formasyonu (Özgül, 2011) örnek verilebilir. Dokta tezi kapsamında çalışan Silivri, Yalıköy ve Beylikdüzü (İstanbul) bölgeleri için Özgül (2011) takip edilmiş ve İstanbul Formasyonu adlaması kullanılmıştır.

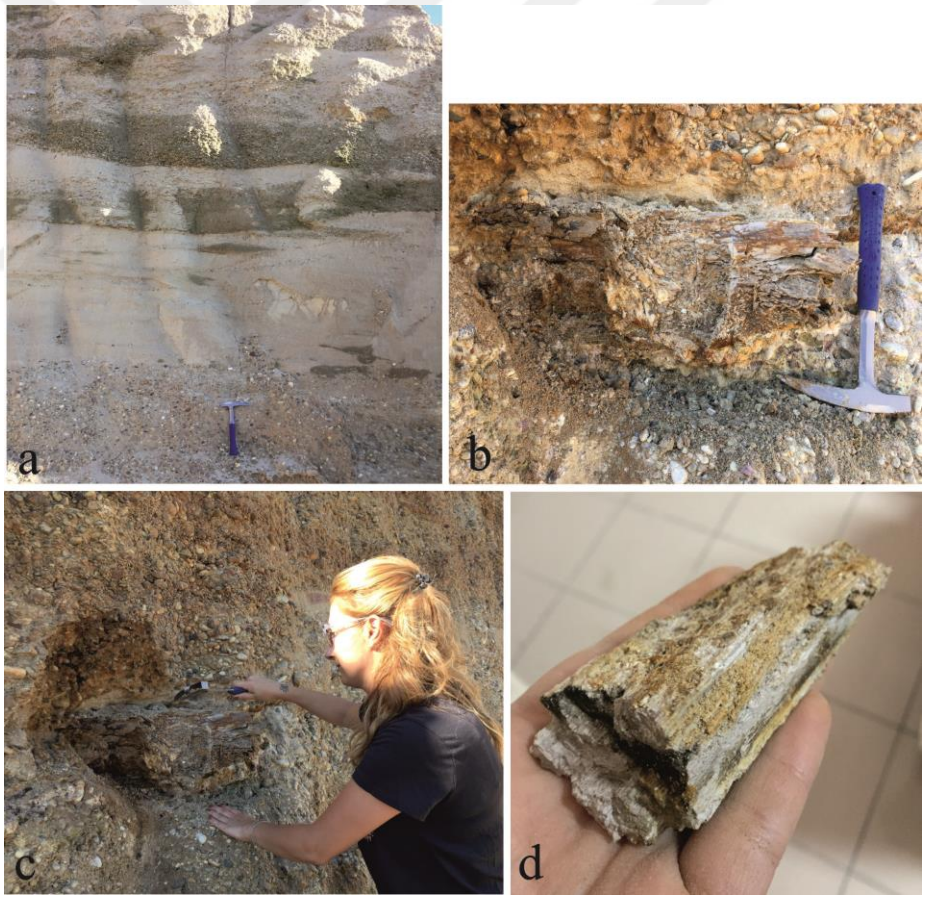
Çalışma bölgelerinden biri olan Yalıköy ve civarında gerçekleştirilen arazi çalışmalarında İstanbul Formasyonu Kıraç Üyesi'ne ait mostralar tespit edilmiştir (Şekil 4.11a,b). Genellikle düşük eğim açılı tabakalanma gösteren birimde egemen litoloji çakıl ve kum boyu sedimanlardan oluşmaktadır. İyi yuvarlaklaşmış çakılların boyutları 1-10 cm'e kadar değişken boyutlarda olup, başlıca kuvars, serpantinit ve volkanit kökenlidir. Yer yer kil merceklerini içeren formasyon açık gri, sarımsı renklerde gözlenmiştir. Bölgede yer alan mostralardan ve faaliyet gösteren kum ocağı işletmelerinden toplanan, instu silisleşmiş ağaç örnekleri köşeli-yarı köşeli olup tabaka yönleriyle uyumlu konumlanmıştır. Genellikle kahverengi-gri renklere

sahip örnekler, kırılmış parçalar şeklinde 10-45 cm arası değişken boyutlara sahiptir ve odun dokularını kısmen korumuşlardır (Şekil 4.11c). Eski adıyla Podima ile de tanınan Yalıköy'ün kumsal kesimi, çevre kayaçlardan türemiş çok çeşitli kökene sahip, değişken boylarda, çok iyi-iyi yuvarlaklaşmış çakıllardan oluşmaktadır. Taşınmaları sırasında ve Karadeniz'in sert dalgaları ile köşeleri aşındırılan bu çakılların arasında İstanbul Formasyonu içerisinden taşınarak gelmiş silisleşmiş ağaç çakılları da yer almaktadır (Şekil 4.11d). Bu aşınma ve yuvarlaklaşma esnasında sahip olduğu odun dokusu bazı örneklerde tamamen yok olurken bazı örneklerde ise belirgin kalmıştır.



Şekil 4.11: a,b) Yalıköy çalışma bölgesinde yer alan İstanbul Formasyonu Kıraç Üyesi ait mostraların görünümü, c) Bölgede instu olarak toplanan köşeli silisleşmiş ağaç örnekleri, d)Yalıköy sahilinden toplanan, iyi yuvarlaklaşmış silisleşmiş ağaç örneği.

Silivri (İstanbul) kuzeyinde yer alan diğer çalışma bölgesinde, İstanbul Formasyonuna ait Kıraç Üyesi geniş bir yayılım göstermekte olup, mostralar gri, sarımsı, yer yer açık kahverengimsi renklere sahiptir (Şekil 4.12a,b,c) ve değişik kökenlerden, iyi tutturulmamış, kötü boylanmalı, iyi yuvarlaklaşmış çakıl ile kum ve kil boyu sedimanlardan oluşmaktadır. Çakıl boyutlarının istifin üstüne doğru küçüldüğü gözlemlenen birimde, yer yer kalın kil mercekleri ile kumlu seviyelerde bol miktarda çapraz tabaka yer almaktadır. Özellikle kum-çakıl ocak işletmelerinde açılan mostralarda istifin orta-alt kısımlarında rahatlıkla gözlenen silisleşmiş ağaç örnekleri, çakıllı kumtaşı seviyelerinde tabakalara uyumlu halde bulunmaktadır (Şekil 4.12c). Tespit edilen örnekler genellikle kahverengi-gri tonlarda, köşeleri aşınmamıştır (Şekil 4.12d) ve yaklaşık 10-70 cm aralığında çok değişken boyutlara sahip olan ağaçlar, makro ölçekte incelendiklerinde odun dokularının belirli kısımlarda korunmuş oldukları belirlenmiştir.



Şekil 4.12: a) Silivri çalışma bölgesinde tutturulmamış kum ve çakıl, yarı tutturulmuş çakıltaşı olarak gözlemlenen İstanbul Formasyonu Kıraç üyesi, b,c) Birim içerisinde tespit edilen silisleşmiş ağacın görünümü, d) İnce kesit yapımı için alınan silisleşmiş ağaç örneğinin görünümü.

İstanbul güneyinde yer alan Beylikdüzü bölgesinde gerçekleştirilen arazi çalışmalarında, İstanbul Formasyonu Kıraç Üyesi'ne ait mostralar, bölgede gelişen aşırı kentleşmeden dolayı

çok kısıtlı alanlarda ufak alanlarda gözlenmiştir. Sıklıkla yol kenarları ve inşaat temellerinde gerçekleştirilen saha çalışmalarında, formasyonun egemen litolojisi olan kötü boylanmalı, değişik kökenlerden türemiş, yuvarlaklaşmış çakıl ve kum-kil boyu malzeme tanımlanmıştır (Şekil 4.13a). Sarımsı, kızılımsı renklerde görülen birimde yer yer kumlu seviyeler ile kil mercekleri yer almaktadır. Mostra içlerinden instu olarak tespit edilen silisleşmiş ağaçlar 10-80 cm aralığında değişken boyutları sahiptir ve çoğu örnek tabaka içerisinde devam ettiğinden dolayı tam boyları ölçülememektedir (Şekil 4.13b). Tespit edilen bu iri ağaç gövdeleriyle birlikte, bölgede halk arasında dilek taşı olarak tanınan ve Beylikdüzü Belediyesi tarafından koruma altına alınan oldukça iri boyutlu silisleşmiş ağaç gövdesi, bölgedeki fosil ağaçların taşlaşma esnasında boyutlarını koruyabildiklerini göstermektedir (Şekil 4.13c). Çalışma bölgesini diğer bölgelerden farklı kılan en fark edilebilir özellik, elde edilen örneklerin tamamen opalleşmiş olması, bu sebeple odun dokularını makro ölçekte kaybetmesi ve çeşitli renkler ile desen özelliklerine sahip olmasıdır (Şekil 4.13d).

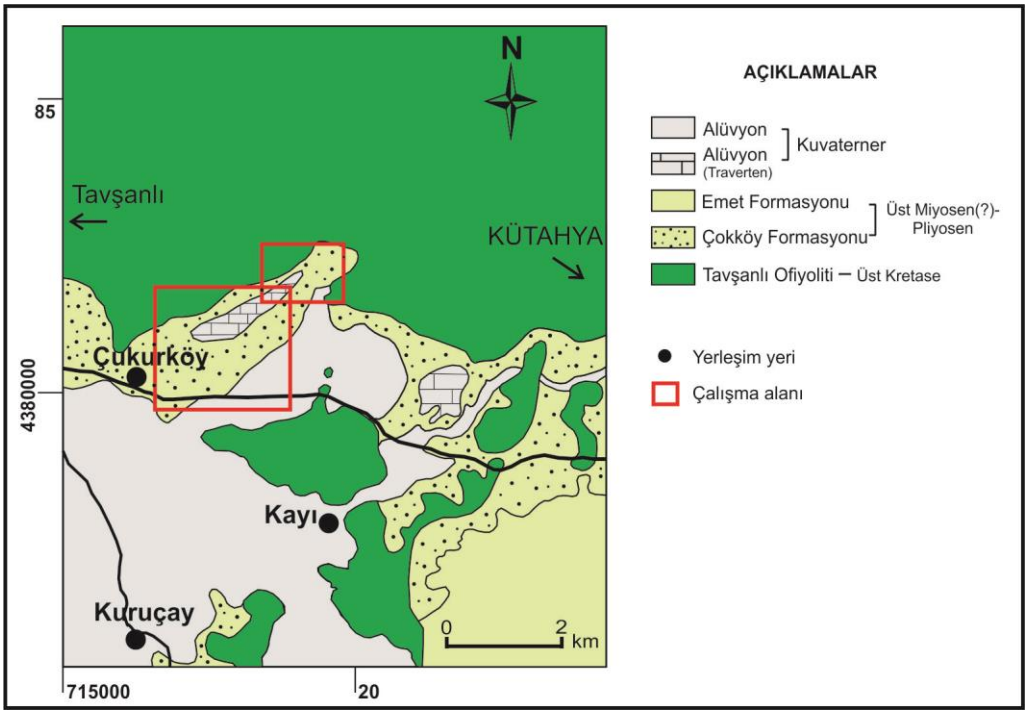


Şekil 4.13: a) Beylikdüzü bölgesinde İstanbul Fm Kıraç Üyesine ait tutturulmamış çakıl ve kumlu litolojinin, b) Formasyon içerisindeki iri gövdeli, opalleşmiş ağacın, c) İri boyutlu silisleşmiş ağaç gövdesinin (dilek taşı), d) Silisleşmiş ağaç örneğinin desen ve renk özelliklerinin görünümü.

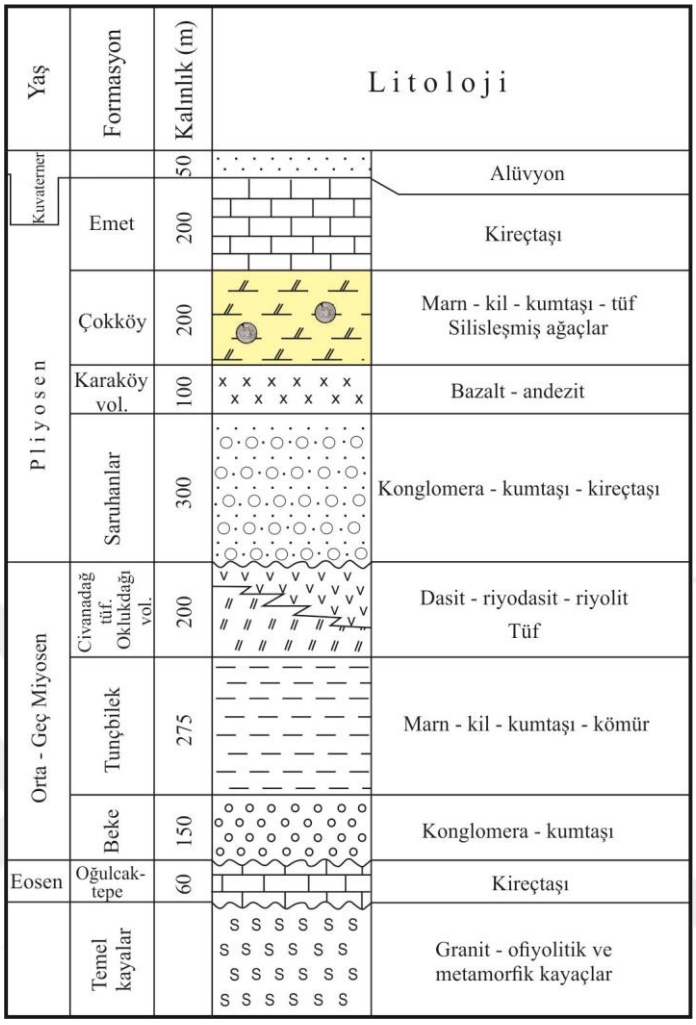
4.1.2. Batı Anadolu Bölgesi

4.1.2.1. Tavşanlı (Kütahya) ve Civarının Jeolojisi

Tavşanlı (Kütahya) ve civarının stratigrafisi, Sakarya Zonu, Tavşanlı Zonu ve İzmir-Ankara Zonu'na ait Paleozoyik ve Mesozoyik yaşlı kayaçlardan oluşan temel birimler ile Tersiyer dönemine ait karasal sedimanter ve volkano-sedimanter kayaçları içermektedir (Sarıfakıoğlu, 2011). Bölgede karmaşık bir yapıya sahip olan ve örtü kayaçlara kırıntılı malzeme sağlayan temel birimler; granit, kumtaşı, konglomera, mermer, metamorfit, şist ve karbonatlı kayaçlar ile Tavşanlı Ofiyoliti ve Arifler Melanjına ait kayaçlardan oluşturmaktadır (Sarıfakıoğlu, 2011). Senozoyik birimleri, kısıtlı bir alanda mostra verenve konglomera içeren, Eosen yaşlı Oğulcaktepe Formasyonu başlamaktadır. Üzerine ise, kumtaşı, kiltaşı, bitümlü çamurtaşı ile temsil edilen ve önemli kömür yataklarını içeren, Miyosen yaşlı Tunçbilek Formasyonu gelmektedir (Arık, 2002; Konak, 2002; Sarıfakıoğlu, 2011). Bölgede yanal geçişli şekilde bulunan, bazaltik andezit bileşimli lavlardan oluşan Karaköy Volkanitleri ile bu volkanik faaliyetlerin ürünü olan tüfler Akdeniz ve Konak (1979) tarafından Civanadağ Tüfleri olarak ayırtlanmıştır. Doktora tez konusu olan silisleşmiş ağaçları içeren Çokköy Formasyonu, Miyosen yaşlı birimler üzerinde uyumsuz olarak yer almaktadır (Sarıfakıoğlu, 2011; Şekil 4.14; 4.15). Baş (1983) tarafından tanımlanan birim, gölsel ortama ait gri, beyaz, yeşilimsi renklerde, iyi tabakalanmalı, çakıltaşı, kumtaşı, kiltaşı, marn ve geniş yayılımlı tüflü seviyeler ile temsil edilir (Baş 1983; Arık, 2002; Sarıfakıoğlu, 2011).

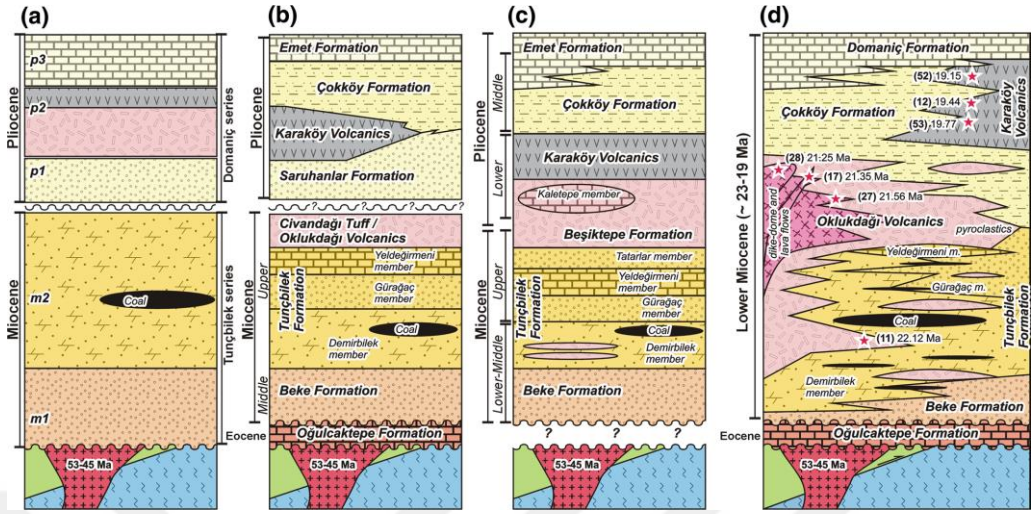


Şekil 4.14: Tavşanlı (Kütahya) ve civarı ile silisleşmiş ağaçların toplandığı çalışma alanının jeoloji haritası (Sarıfakıoğlu, 2011'den değiştirilerek alınmıştır).



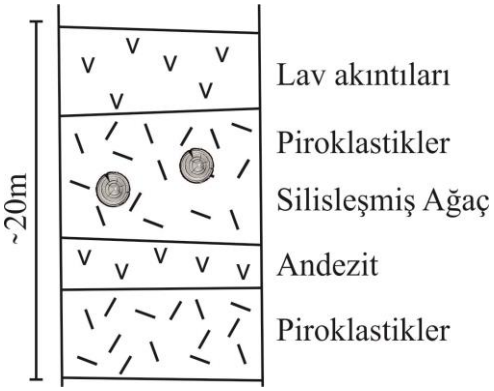
Şekil 4.15: Tavşanlı ve civarına ait genelleştirilmiş sütun kesit (Baş, 1987).

Çokköy Formasyonu, bor mineralizasyonu içermesinden dolayı Batı Anadolu jeolojisi açısından ayrı bir öneme sahiptir. Birimin yaşı, tespit ettiği fosil içeriğine göre Baş (1983) Erken-Orta Pliyosen, Küçükayman ve diğ. (1987) Orta Pliyosen, Kapan-Yeşilyurt (2000) Erken Pliyosen, Özburan (2009) Orta-Geç Miyosen, Sarıfakıoğlu (2011) ise stratigrafik konumuna göre Geç Miyosen?-Pliyosen olarak değerlendirmiştir. Helvacı et al., (2016) ise Çokköy formasyonu ile yanal ilişkili olarak belirledikleri Karaköy Volkanitlerinin yaşını Ar/Ar radyometrik yaşlandırma yöntemi ile 19.15-19.44-19.77 My olarak tespit ederek, bu yaşlandırma doğrultusunda Çokköy Formasyonuna da Erken Miyosen yaşını vermişlerdir (Şekil 4.16). Birimin üzerine, çakıltaşı-kumtaşı, marn ve çörtlü kireçtaşı içeren Emet Formasyonu uyumlu olarak gelir (Sarıfakıoğlu, 2011; Şekil 4.15;4.15). Bölgede tüm birimleri örten Kuvarterner yaşlı birimler ise eski alüvyon, traverten, yamaç molozu ve alüvyondan oluşmaktadır.



Şekil 4.16: Neojen havzası için karşılaştırmalı stratigrafik sütun kesitler ve Çokköy Formasyonuna ait farklı araştırmacıların yaş değerlendirmeleri: a. Nebert (1960), b. Bas (1986), c. Çelik (1999) d. Helvacı et al., (2016) (Helvacı et al., 2016).

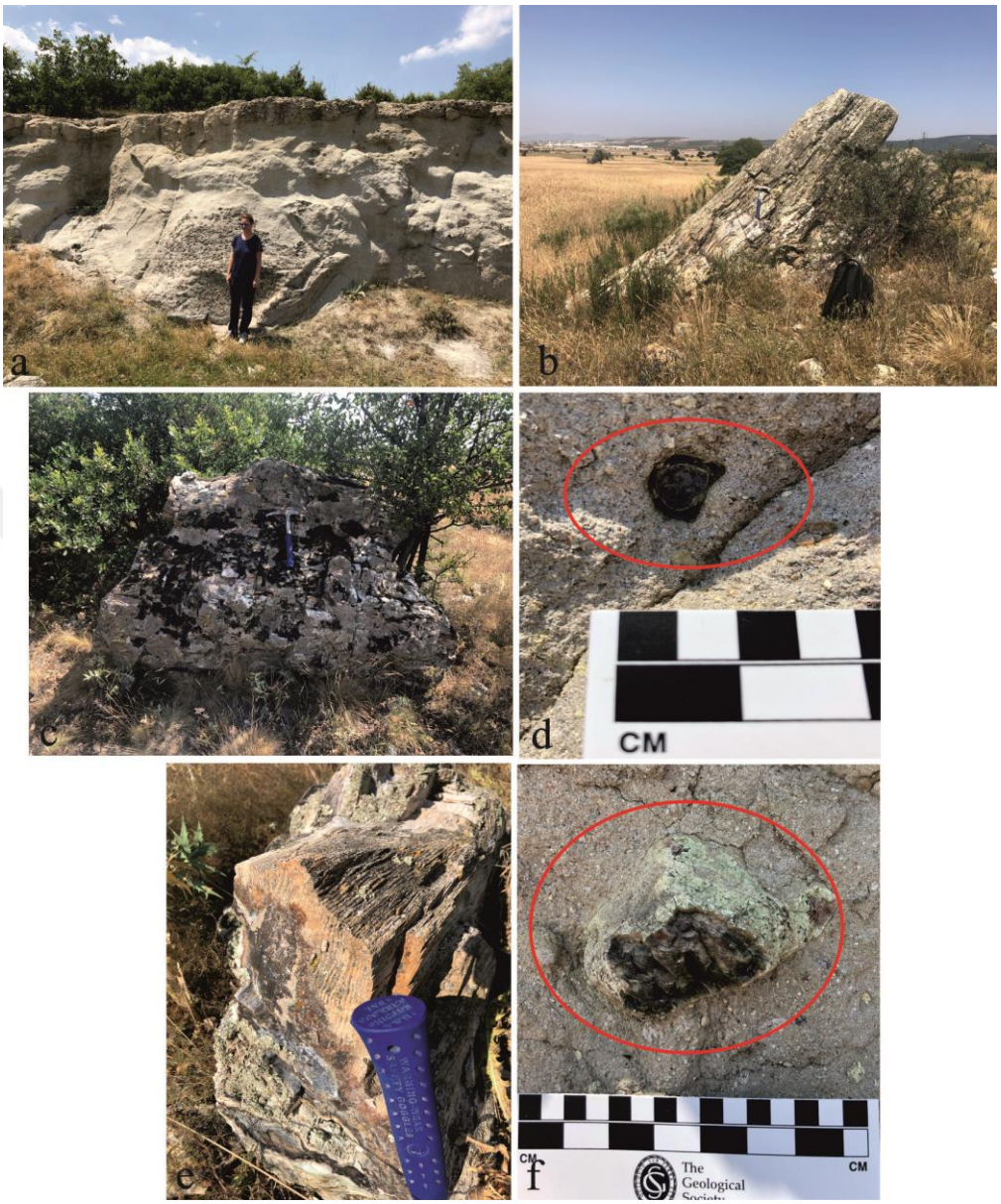
Çokköy Formasyonu içerisinde yer alan silisleşmiş ağaçlar, geniş alan kaplayan riyolitik-andezitik tüf seviyelerinde tespit edilmiştir (Şekil 4.18a). Bölgede gerçekleşen volkanik aktivitenin ürünü olan bu piroklastikler, 1 cm'ye kadar tane boyu içeren, iri taneli biyotit ve amfibol kristallerinin ve yoğun kaolenleşmenin bolca görüldüğü, açık gri-beyaz birikimlerdir. İçlerinde ~2-3 cm çapında andezit parçaları ile kayaç parçaları mevcutur ve arazide lav akıntılarıyla ardalanmalı şekilde gözlenmiştir (Şekil 4.17).



Şekil 4.17: Tavşanlı çalışma alanında gözlenen lav akıntıları ve piroklastik malzemenin ilişkisini gösteren sütun kesit.

Bölgede topografyanın aşınması ile dayanım sahibi büyük boyutlu ağaçlar yüzeyde belirgin hale gelmiştir (Şekil 4.18b,c). Doğal ve bilinçsiz beşeri tahribata uğrayan ağaç gövdelerinin çoğunun boyutu parçalanarak küçülmüştür. ~370 cm boy/170 cm çap ve 180 cm boy/45 cm çap ölçüleri ile tespit edilen iri ağaç gövdeleri dışında boyut aralığı genellikle ~30-150 cm'dir ve yer yer ~2-3 cm çapında dal parçaları bulunmaktadır (Şekil 4.18b,c,d,e). Çoğu silisleşmiş ağaç örneğinde, odun dokusunun görüldüğü iyi korunmuş kısımlar yer almaktadır (Şekil

4.18d). Çalışma bölgesindeki tüflerde, ağaçların petrifikasyonunu sağlayan silisin oluşturduğu konkresyonlar tespit edilmiştir (Şekil 4.18f).

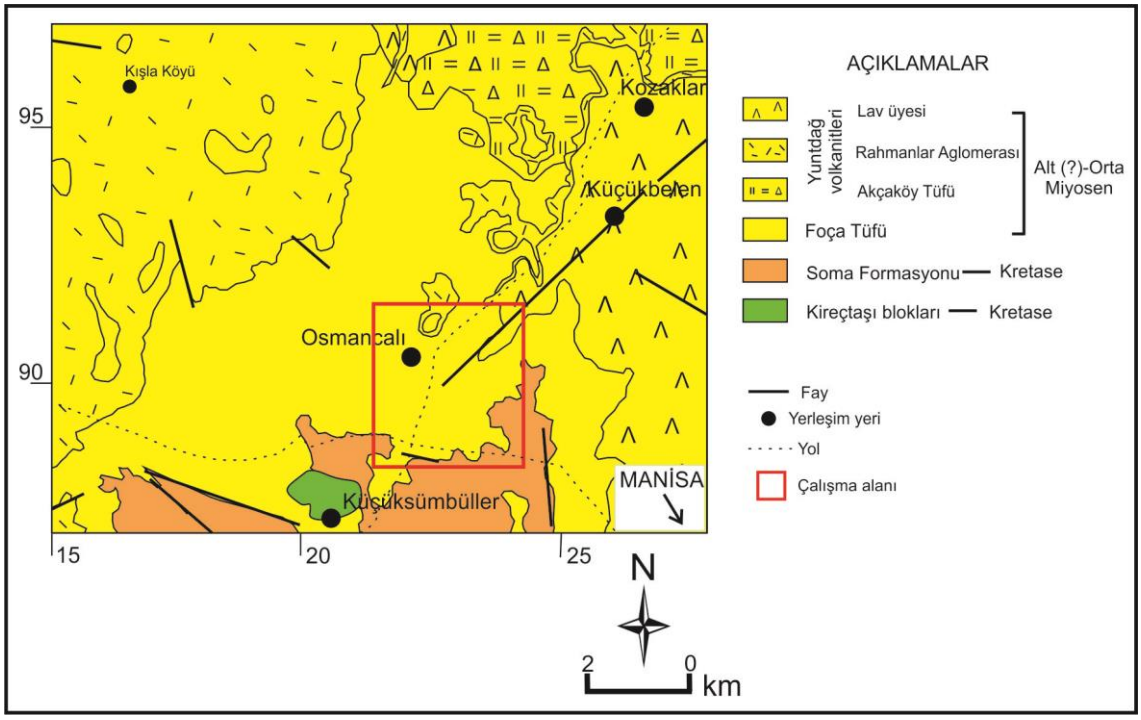


Şekil 4.18: Tavşanlı çalışma arazisinde a) Tüflü birimin, b,c) İri boyutlu sislileşmiş ağaçların, d) Birim içindeki ince dal parçasının, e) Makro olarak görülen korunmuş odun dokusunun, f) Formasyon içinde tespit edilen silis yumrusunun görünümü.

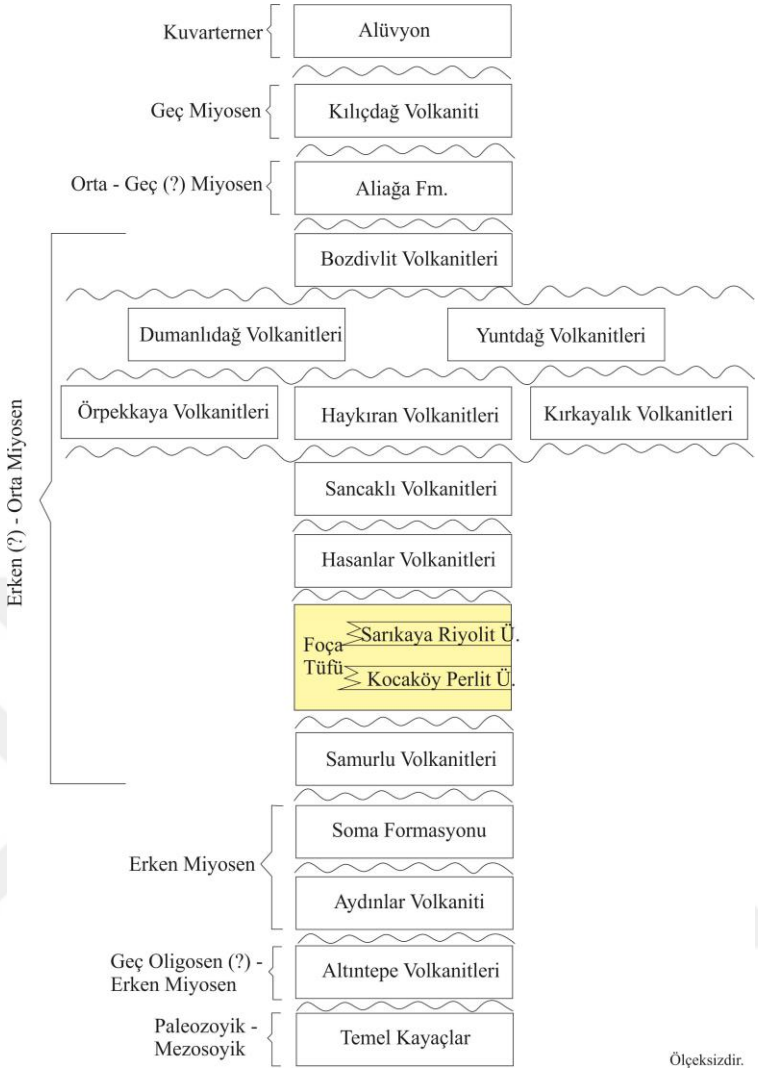
4.1.2.2. Osmancalı (Manisa) ve Civarının Jeolojisi

Osmancalı (Manisa) ve civarındaki temel kayaçlar, çalışma alanının kuzeyinde Sakarya Zonu'na, güneyinde ise İzmir-Ankara Zonu'na (Brinkmann, 1966) aitbirimler ile temsil edilmektedir (Erdoğan, 1990). Çok çeşitli kayaçlardan oluşan bu birimler üzerinde oldukça karmaşık bir yapı sergileyen Tersiyer yaşlı karasal sedimanter (akarsu-göl) ve yer yer volkanik kayaçlar uyumsuz şekilde yer almaktadır (Dönmez ve diğ., 2014).

Bölgede temel birimler üzerine uyumsuzlukla gelen en yaşlı örtü birimi Geç Oligosen(?)-Erken Miyosen yaşlı Altıntepe Volkaniti ve ardından gelen Aydınlar Volkanitidir (Dönmez ve diğ., 1998; 2014). Erken Miyosen yaşlı Soma Formasyonu uyumsuzlukla gelmektedir ve içerdiği kömürlü seviyeler açısından öneme sahiptir (Şekil 4.19;4.20). Soma Formasyonunun üzerinde ise uyumsuzlukla Samurlu Volkanitleri yer alır (Dönmez ve diğ., 1998). Silisleşmiş ağaç örnekleri, Osmancalı ve çevresinde geniş yayılımlar sunan Foça Tüfü içerisinde tespit edilmiştir (Şekil 4.19;4.20). Kaya (1978) tarafından adlandırılan birim, açık gri, sarı, pembe renklerde riyolitik piroklastikler (Akay and Erdoğan, 2004) ile daha az oranda riyolitik lav, perlit, ignimbiritik ara düzeyleri, ince katmanlı kiltaşı, marn ile tanımlanır. Gölsel ortamda çökelen Foça Tüfünün yaşı Erken-Orta Miyosen olarak tespit edilmiştir ve bölgede yer alan Yuntdağı Volkanitlerine ait tüfler (Akçaköy Tüfü) ile ayırt edilmesi çoğu bölgede zordur (Akay and Erdoğan, 2004; Dönmez ve diğ., 2014). Foça Tüfünün üzerine sırasıyla; Hasanlar, Sancaklı, Örpekkaya, Haykıran, Kırkayak Volkanitleri, Dumanlıdağ, Yuntdağ ve Bozdivlit Volkanitleri gelmektedir (Şekil 4.20). Bozdivlit Volkanitlerinin üzerinde bölgede geniş yayılımlar sunan Aliağa Formasyonu uyumsuzlukla yer almaktadır (Dönmez ve diğ., 2014). Bölge stratigrafisi Aliağa Formasyonun üzerine uyumsuzlukla gelen Kılıçdağ Volkanitleri ile devam eder. Tüm birimleri Kuvaterner yaşlı taşkın ovası, akarsu kanalı ve bataklık çökelleri ile yamaç molozu ve alüvyon örtmektedir.

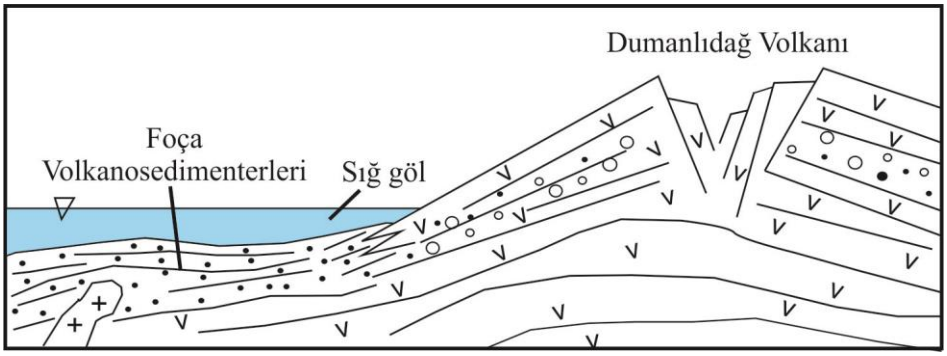


Şekil 4.19: Osmancalı (Manisa) ve çevresine ait jeoloji ile çalışma alanının konumunu gösteren harita (Dönmez ve diğ., 2014'den sadeleştirilerek alınmıştır).



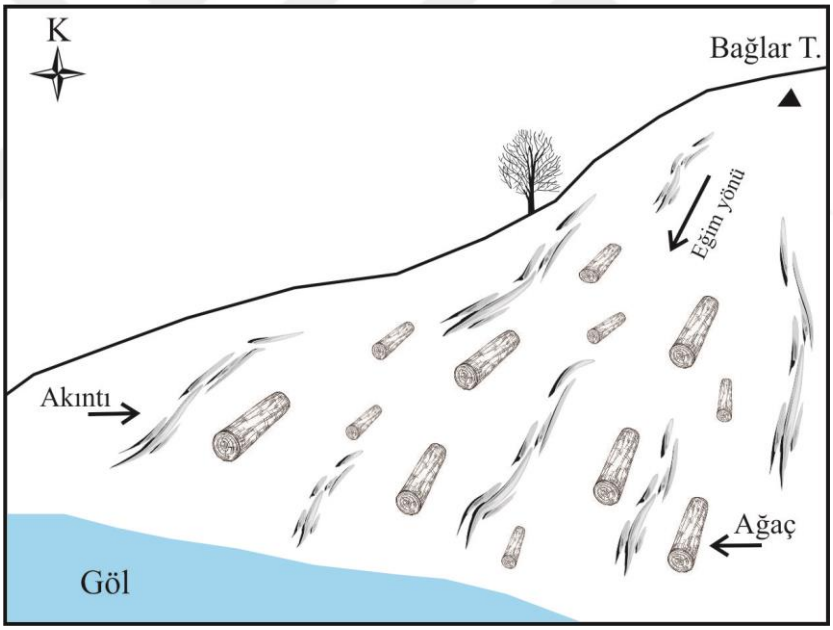
Şekil 4.20: Osmancalı (Manisa) ve çevresine ait genelleştirilmiş sütun kesiti (Dönmez ve diğ., 2014'den sadeleştirilerek alınmıştır).

Bölgede aktif olarak faaliyet gösteren Dumanlıdağ Volkanının üç bölümü bulunmaktadır. Bunlar; istifin en altıda andezitik lav akıntıları ve piroklastiklerden oluşan Yuntdağ Volkanikleri, Foça Volkanikleri, en üstte ise gölsel ortamda oluşan Aliağa Kireçtaşıdır (Akay and Erdoğan, 2004). Erken-Orta Miyosen yaşlı Foça Volkanikleri, geniş yayılım gösteren riyolitik tüfler küçük riyolitik domlar, alkali dayklar ile lavları içermekte ve yanal olarak göl ortamına geçmektedir (Şekil 4.21). Bölgede volkanikleri oluşturan volkanizma Erken-Orta Miyosenden Orta-Geç Miyosene kadar sürmüştür (Akay and Erdoğan, 2004). Uzel et al. (2020)tarafından yapılan $^{40}Ar/^{39}Ar$ radyometrik yaş tayinlerinde ise çalışma bölgesini de kapsayan YuntdağıVolkanitlerinin yaşını 17.13-19.66 my(Erken Miyosen) olarak tespit etmişlerdir.



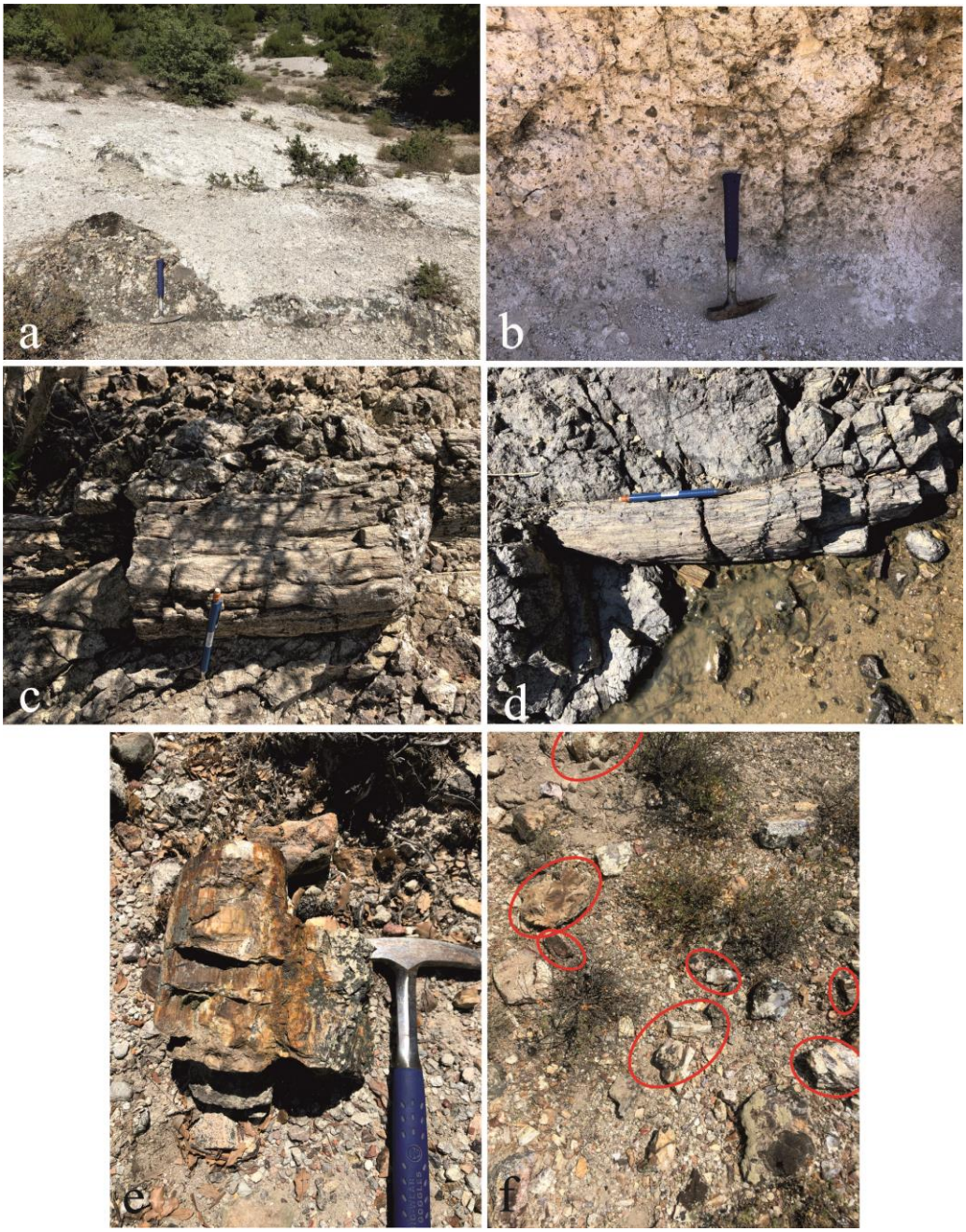
Şekil 4.21: Dumanlıdağ Volkanı ile Foça Volkanitlerinin ilişkisi (Akay and Erdoğan (2004)'dan değiştirilerek alınmıştır).

Çalışma bölgesinde Miyosen boyunca meydana gelen aktif volkanizmanın ürünleri ile birlikte eğimin azaldığı yöne doğru sürüklenen ağaçlar, yamaçta oluşan sığ göllerde biriktirmiştir. Arazi çalışmalarında piroklastik malzemenin akıntı yönü ile taşlaşmış ağaç parçalarının sürüklenme yönünün, KD-GB olarak aynı olması bunun göstergesidir (Şekil 4.22).



Şekil 4.22: Osmancalı (Manisa) bölgesinde silisleşmiş ağaç oluşum mekanizmasının gösterimi

Osmancalı bölgesinde silisleşmiş ağaç örneklerinin toplandığı tüflü seviyeler oldukça geniş yüzlekler vermektedir (Şekil 4.23a). Açık gri renkli, 1-3 mm tane boyuna sahip, iri feldspat ve biyotitlere sahip, bol miktarda silisleşme içeren andezitik-riyolitik tüfler sıklıkla alterasyona uğrayarak kaolenleşmiştir (Şekil 4.23b). Arazi çalışmalarında silisleşmiş ağaçların hem tabaka içerisinde hem de aşınmadan dolayı yüzeyde oldukları gözlenmiş, yüzeyde olan örneklerin atmosferik şartlar ile bilinçsiz tahribattan dolayı parçalandıkları gözlenmiştir (Şekil 4.23c,d,e,f).

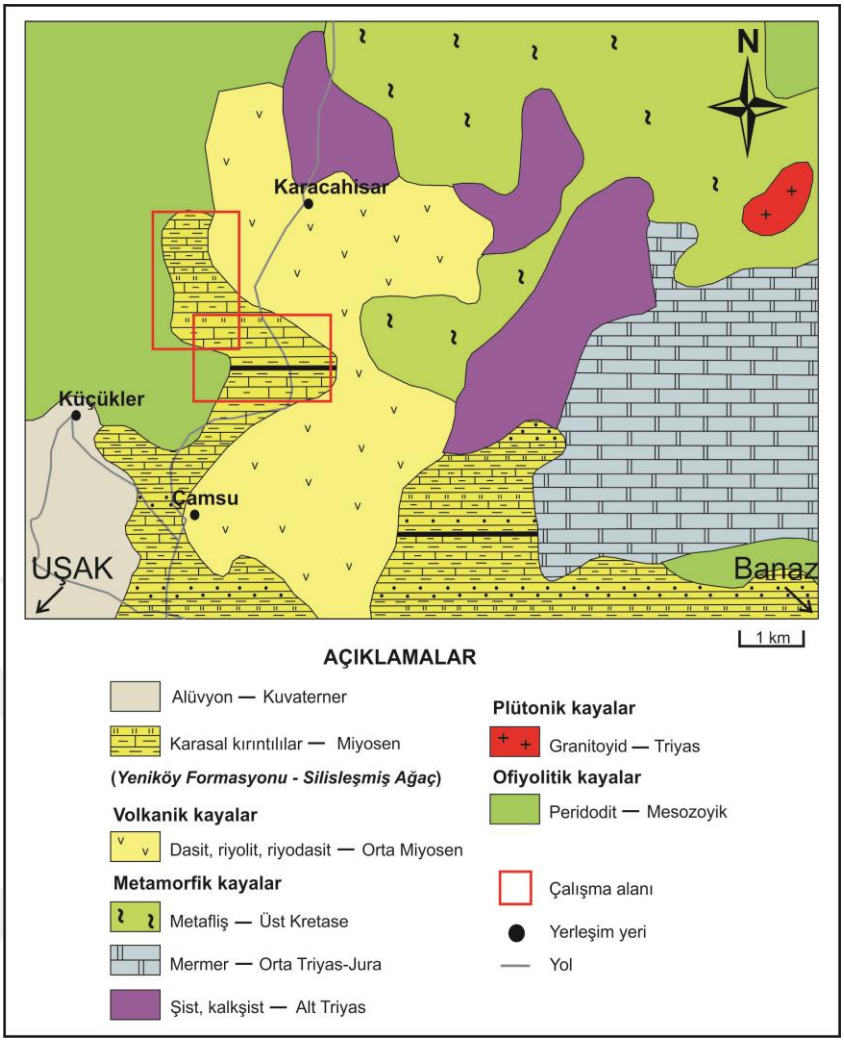


Şekil 4.23: Osmancalı (Manisa) bölgesinde yüzlekler veren tüflü birim (a, b) ile çalışma alanında tespit edilen silisleşmiş ağaç örneklerinin görünümü (c, d, e, f).

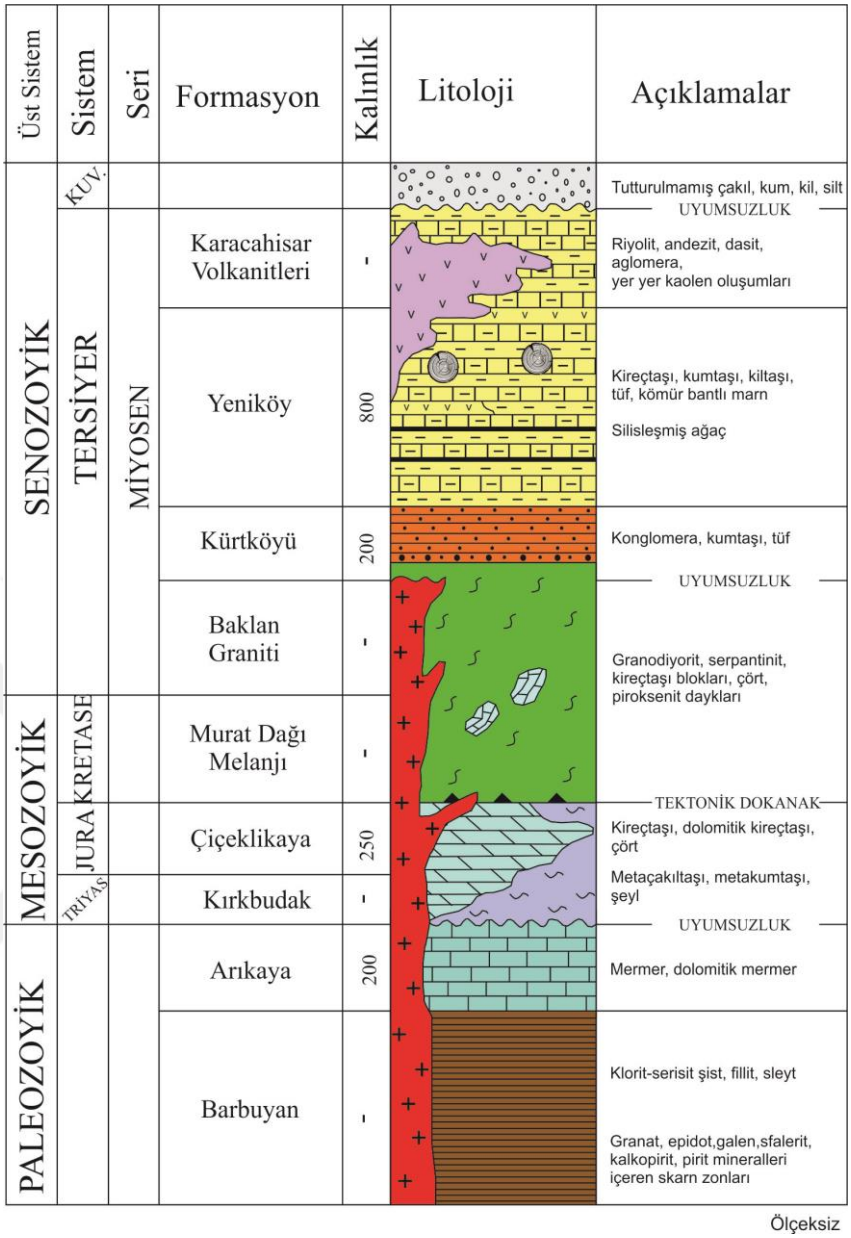
4.1.2.3. Banaz (Uşak) ve Civarının Jeolojisi

Banaz (Uşak) ve civarında temel kayaçlar, Paleozoyik yaşlı mermer, şist, fillitile Mesozoyik yaşlı düşük-orta derece metamorfizmaya uğramış çakıltaşı, kumtaşı, şeyl ve kireçtaşından oluşmaktadır (Aydoğan, 2006; Öztürk ve Karadağ, 2009; Şekil 4.24;4.25). Temel kayaçların en üstünde yer alan Geç Kretase yaşlı Murat Dağı Melanjı, genç birimlerin sedimantasyonuna sağladığı silis nedeniyle ayrı bir öneme sahiptir.

Bölgede Senozoyik yaşlı birimler Erken-Orta Miyosen yaşlı Baklan Graniti ile başlamaktadır. Genellikle Murat Dağı Melanjı üzerinde uyumsuzlukla bulunan Orta Miyosen yaşlı Kürtköyü Formasyonu ise kırmızı-kızıl renkte, çakıl ve bloklardan oluşmaktadır. Üzerine uyumlu olarak gelen Yeniköy Formasyonu, açık sarı, yeşil, gri renklerde konglomera, kumtaşı, killi kireçtaşı ve tüf ara katmanlarını içermektedir (Aydın, 1997; Aydoğan, 2006; Öztürk ve Karadağ, 2009). İlk defa Ercan et al. (1978) tarafından adlandırılan birim, volkanik aktivitelerin eşlik ettiği dönemde, akarsu ve sonrasında göl ortamında çökelmiş olup, Günay ve diğ. (1986), Ercan et al. (1978) ile Seyitoğlu (1997) Orta-Geç Miyosen, Bingöl (1977) Orta Miyosen, Ersoy and Helvacı (2007) ile Karaoğlu and Helvacı (2012) Erken Miyosen yaşını vermişlerdir. Kürtköyü ve Yeniköy Formasyonları bazı araştırmacılar tarafından Hacıbekir Grup altında çalışılmıştır (Seyitoğlu, 1997; Ersoy and Helvacı, 2007; Karaoğlu and Helvacı, 2012). Yeniköy Formasyonu ile yanal geçişli olan Orta-Geç Miyosen Karacahisar Volkanikleri, riyolit, trakit, dasit, tüf/tüfitler ile temsil edilmektedir (Öztürk ve Karadağ, 2009; Şekil 4.24;4.25). İnceleme alanında tüm birimleri Kuvaterner yaşlı alüvyon ve yamaç molozu uyumsuz olarak örtmektedir.



Şekil 4.24: Çalışma alanını içine alan Banaz (Uşak) kuzey batısının jeoloji haritası (Konak, 2002'den sadeleştirilerek alınmıştır).



Şekil 4.25: Çalışma bölgesi ve çevresine ait stratigrafik sütun kesiti (Aydoğan, 2006'dan değiştirilerek alınmıştır).

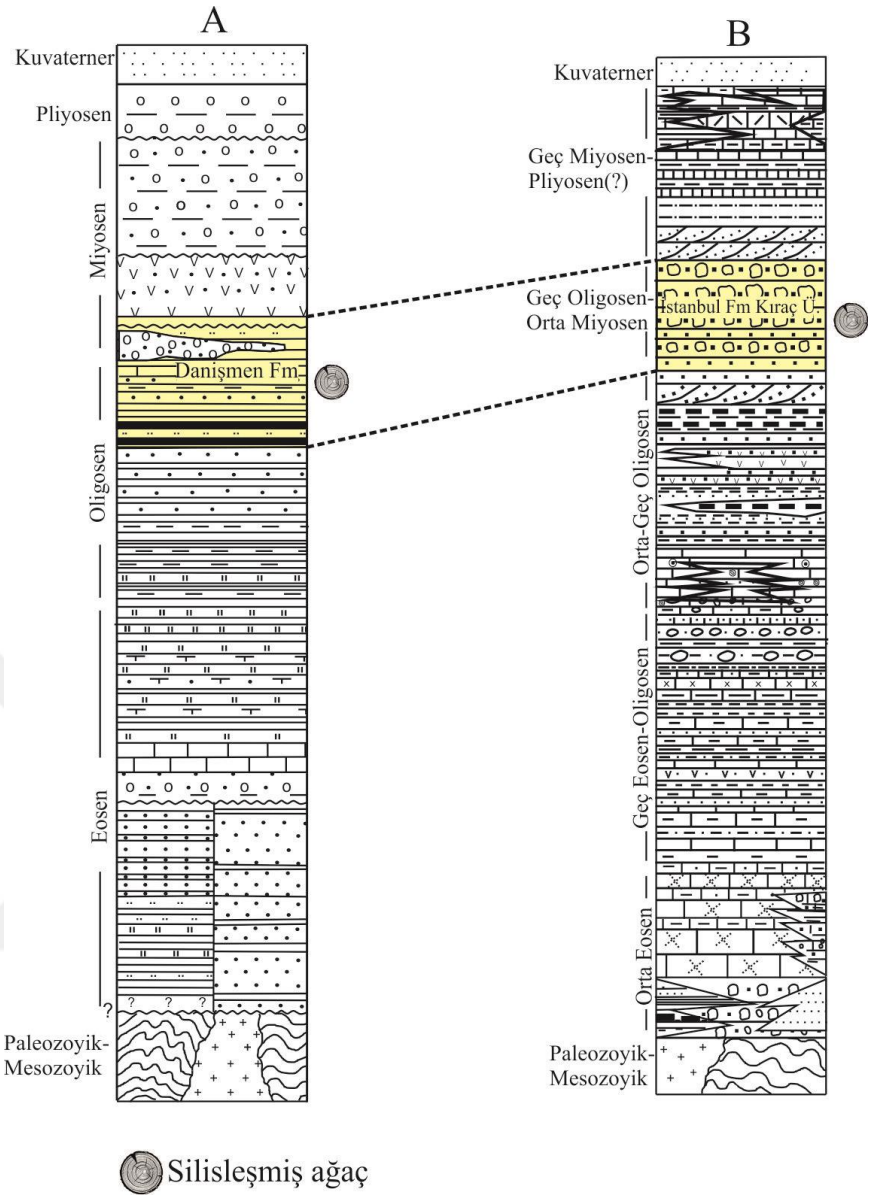
Banaz (Uşak) kuzeyinde silisleşmiş ağaçların yer aldığı Yeniköy Formasyonu, bölgenin çoğunlukla tarım arazileri ile kaplı olmasından dolayı, tepelik alan ve yamaçlarında daha iyi gözlenmiştir (Şekil 4.26a,b). Silisleşmiş ağaçlar, sarı, kahverengi tonlarında gözlenen birimde, kumtaşı ve riyolitik-andezitik tüf seviyelerinde yer almaktadır. Saha çalışmalarında tespit edilen ağaç örnekleri genellikle kızıl-kahve-koyu gri renklerde, çok iyi silisleşmiş, oldukça dayanımlı ve köşeleri korunmuş şekildedir (Şekil 4.26c,d,e,f) ve bir kısmında makro ölçekte odun dokusu iyi korunmuş şekildedir (Şekil 4.26f).



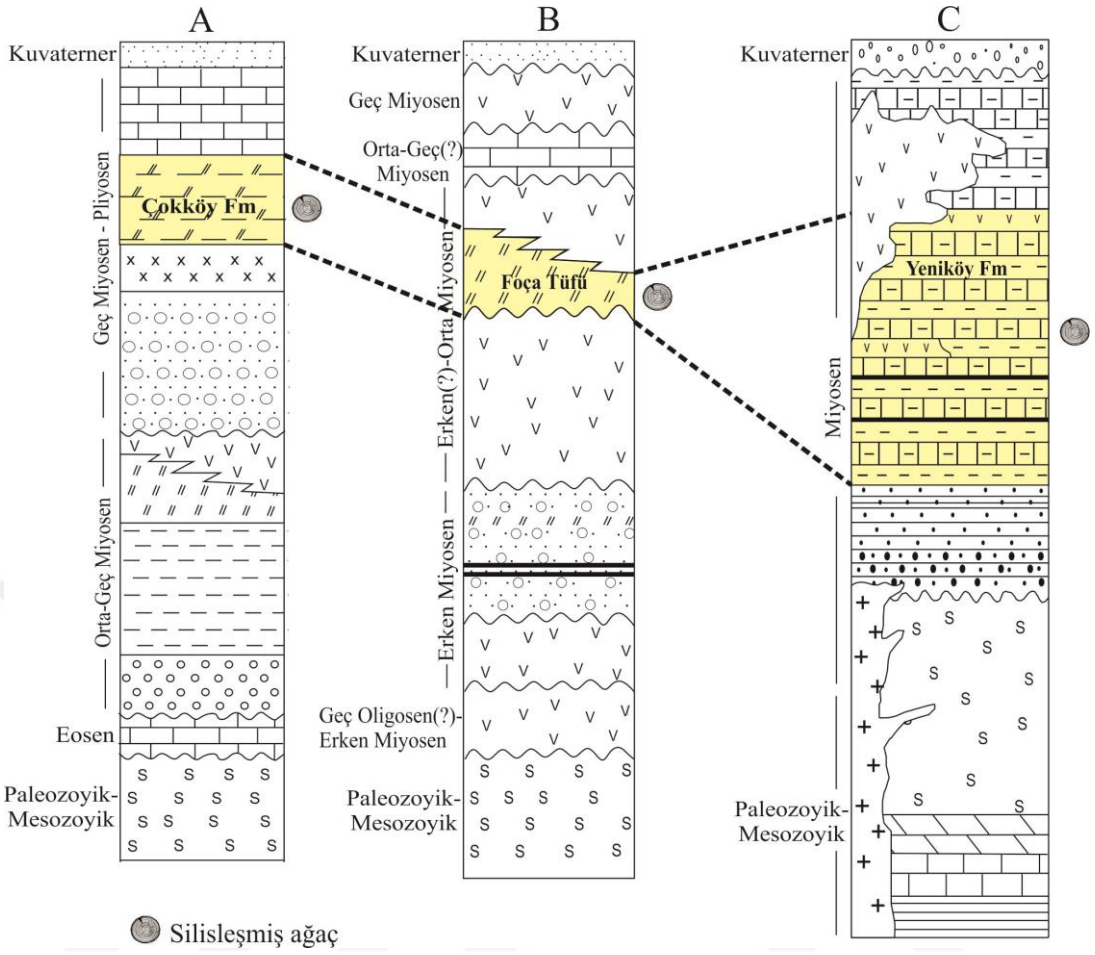
Şekil 4.26: Banaz bölgesinde yer alan Yeniköy Formasyonunu görünümü (a, b), bölgede tespit edilen silisleşmiş ağaç örnekleri (c, d, e, f) ile korunmuş odun dokusunun makro görüntüsü (f).

Trakya ve Batı Anadolu bölgesi silisleşmiş ağaçlarının da dünyadaki çoğu örnek gibi, karasal bir ortamda (akarsu, göl, batalık) çökelmiş sedimanter-volkano-sedimanter kayaçlar içerisinde yer aldığı, her iki bölgede de Geç Paleojen ve özellikle Neojen döneminde meydana gelen volkanizma ile ilişkili olduğu saptanmıştır. Trakya bölgesinde sıklıkla kumtaşı, çakıllı kumtaşı ve çakıltaşıiçeren karasal klastik birimlerde tespit edilen silisleşmiş ağaçlar (Şekil

4.27), Batı Anadolu bölgesinde volkanoklastik kayaçların kaolenleşmiş tüf seviyeleri içerisinde (Şekil 4.28) tespit edilmiştir. Zamansal olarak aynı dönemde oluşan bu birimlerin litolojifarklılığının, Batı Anadoluvolkanizmasının Trakya'ya göre çok daha aktif olması ve riyolitik ürünlerin püskürtüldüğü çok sayıda çıkış merkezinin (baca) varlığından dolayı daha geniş alanlara yayılması şeklinde olduğu düşünülmektedir. Özellikle Osmancalı ve çevresinde bulunan silisleşmiş ağaç ormanının oluşumunda, bu kuvvetli volkanik aktivite ve bu volkanizmanın ürünlerinin rolü büyük olup, izleri çok net görülmektedir. Miyosen boyunca çeşitli evrelerde gelişen volkanizmanınlaahar akıntıları, bölgede bulunan orman yapısını kütlesel bir yıkımla devirerek eğimin azaldığı yöne doğru akarak enerjisinin tükendiği alanda biriktirmiştir. Gerçekleştirilen arazi çalışmalarında kayaçlara ait akıntı yönleri ile sürüklenen ağaçların konumlarının aynı olması (KD-GB) bu görüşü desteklemektedir. Eğimin en aza indiği, çukur alanlarda biriken ağaçların üzerleri daha sonra halen aktif olan volkanizmanınpiroklastik malzemeleri ile örtülmüş, böylelikle atmosferik koşullardan korunarak fosilleşme olasılıkları artmıştır. Riyolitik aktivitenin getirimi olan yüksek silis içeriğine ve diğer inorganik maddelere sahip suların oluşturduğu 'Neojen gölleri', geçirimli piroklastik yapı sayesinde derinlere sızarak, tabakalar içerisinde yer alan ağaçlara ulaşmıştır. Ağaçların odun dokularına nüfuz eden silisli sular taşlaşma sürecinin gerçekleşmesine sebep olmuştur.



Şekil 4.27: Çalışma bölgeleri olan Keşan-Malkara (A) ile Yalıköy-Silivri-Beylikdüzü (B) 'ne ait genelleştirilmiş stratigrafik kesitlerin karşılaştırması ve silisleşmiş ağaç içeren seviyelerin korelasyonu.



Şekil 4.28: Çalışma bölgeleri olan Tavşanlı (A) – Osmancalı (B) – Banaz (C) 'a ait genelleştirilmiş stratigrafik kesitlerin karşılaştırması ve silisleşmiş ağaç içeren seviyelerin korelasyonu.

4.2. MİNERALOJİK-PETROGRAFİK BULGULAR

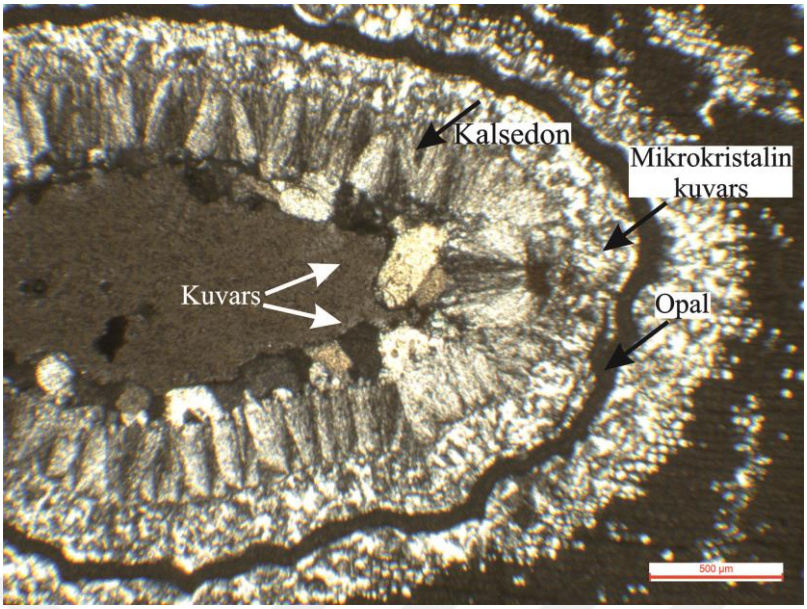
4.2.1. Optik Mineraloji

Trakya ve Batı Anadolu Bölgesi silisleşmiş ağaç örneklerine ait üç yönlü (enine, radyal, teğet) ince kesitler ile yan kayaç örneklerine ait ince kesitler mineralojik-petrografik olarak incelenmiştir. Polarizan mikroskop altında, silisleşmiş ağaç örneklerinin odun dokusuna yerleşen silis ile dörtfarklıpolimorfu tespit edilmiştir. Bu polimorflar;

-Kuvars

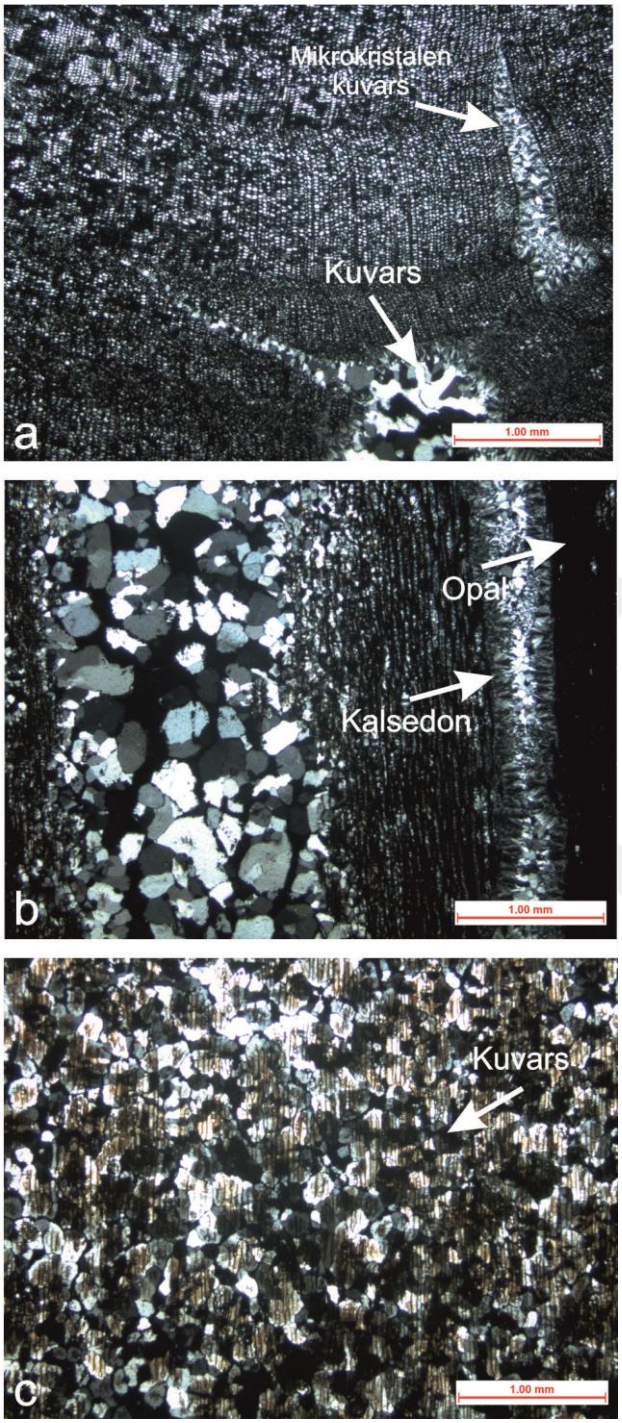
-Kalsedon

-Amorf silis (opal)olarak tanımlanmıştır (Şekil 4.29).



Şekil 4.29: Tavşanlı (Kü9) örneğinde bir boşluk yapısında gelişen opal, kalsedon, kuvars oluşumlarının enine kesitteki görüntüleri (Çift nikol).

Silisleşmiş ağaçlardan elde edilen tüm kesitlerin ayrıntılı olarak incelenmesi sonucu, herhangi bir silis polimorfunun oluşumu için gerekli özel bir anatomik yön belirlenmemiş olup, bu polimorfların tüm yönlerde oluşabilecekleri tespit edilmiştir (Şekil 4.30).



Şekil 4.30: Keşan bölgesi (K4a) silisleşmiş ağacına ait a) Enine, b) Radyal, c) Teğet yönlerdeki ince kesitlerin polarizan ışık altındaki görüntüleri ve içerdikleri opal, kalsedon, kuvars oluşumları.

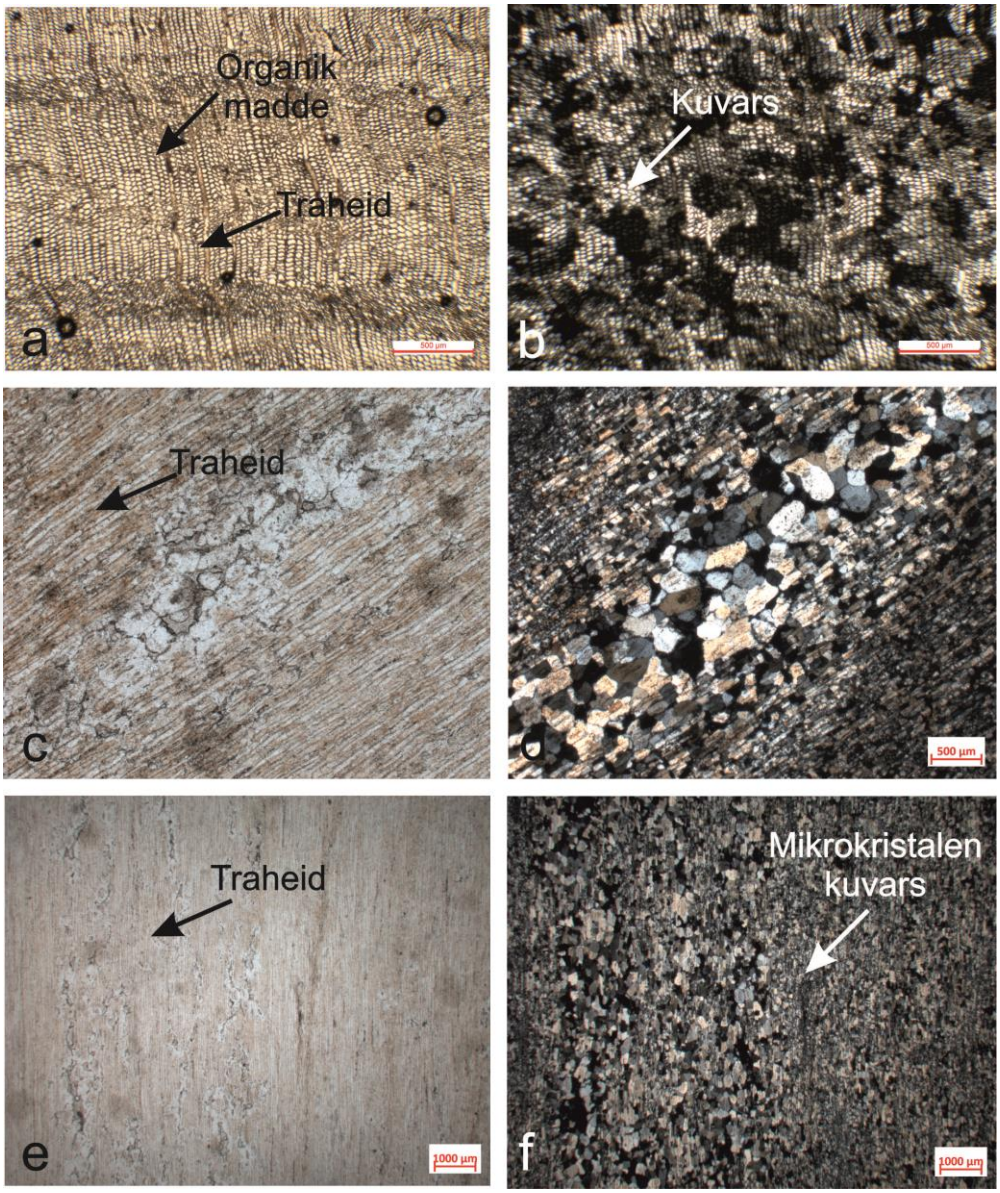
Polarizan mikroskopta kristalen yapısı gri ve tonlarında girişim renkleri sunan silisleşmiş ağaçlar, ince taneliden iri taneliye kadar geniş bir aralıkta çeşitli kristal boyları içermektedir. Bazı örneklerde çok iyi bir kristalizasyon sonucu oluşmuş orta-iri taneli kuvarslar, bazılarında da mikrokristalen oluşumlar gözlemlenirken, bir kısmında ise kristalizayonun görülmediği amorf silis oluşumları mevcuttur. Amorf silis izotropik özellik göstermesinden dolayı

polarizan ışık altında kesitlerde izotrop özellikli olarak görülmektedir. Silisin polimorflarından olan opal-CT ise kalsedon ve kuvarsa göre çok daha zayıf girişim renklerine sahip olsa da mikroskop altındaki tanımı çok zor olup, XRD analizinde daha rahat tanımlanmaktadır.

Silisleşmiş ağaç örneklerinde tek nikol altında gözlemlenen odun yapıları kısmen veya tamamen korunurken, oluşan silis polimorfları genellikle bu yapılara uyumlu şekilde gelişmiştir. Odun dokusu iyi korunmuş ve hücre çeperleri kalın olan örneklerde, çeper yapısındaki organik madde koyu renklerde tespit edilmiştir. Ağaçların dokularında yer alan traheid, öz ışın gibi hücrelerin genellikle kuvars ve kalsedon ile doldukları gözlenmiştir. İri kuvarsların, trahe içlerinde ve sıklıkla odun yapısındaki çatlaklarda geliştikleri tespit edilmiştir. Bunun nedeni ise kuvars kristallerinin büyümesi için gerekli olan boşlukların bu alanlarda bulunmasıdır. Hücreleri doldurarak onların yuvarlak formlarını alan kuvarslara, özellikle enine kesitlerde sıklıkla rastlanmaktadır. Radyal ve teğet kesitlerde ise bu oluşumların, uzun eksenler boyunca görünümleri tespit edilmiştir.

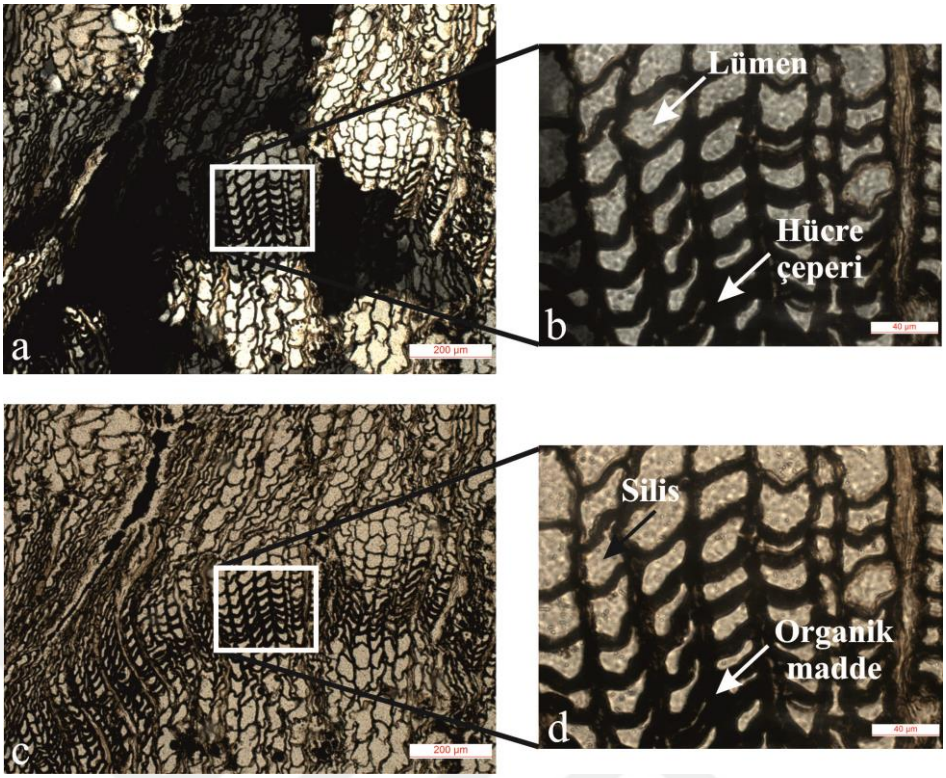
4.2.1.1. Trakya Bölgesi

Trakya Bölgesi kapsamında çalışılan **Keşan bölgesi** silisleşmiş ağaçları sıklıkla odun dokusunun korunduğu silisleşmiş örneklerdir, bir kısım örnekte ise dokunun iyi korunmadığı kömürleşmiş olduğu gözlenmiştir. Silisleşmiş bazı ağaçların hücre çeperleri, tek nikol altında koyu renkli olarak görülen organik madde kalıntılarını içermektedir (Şekil 4.31a). Çift nikol altında gözlemlenen silisin egemen formları mikrokristalen ve orta tane boyuna sahip kuvarslardır(Şekil 4.31b,f), fakat odun yapısının genişlediği alanlarda iri kuvars oluşumlarına da rastlanmıştır (Şekil 4.31c,d).



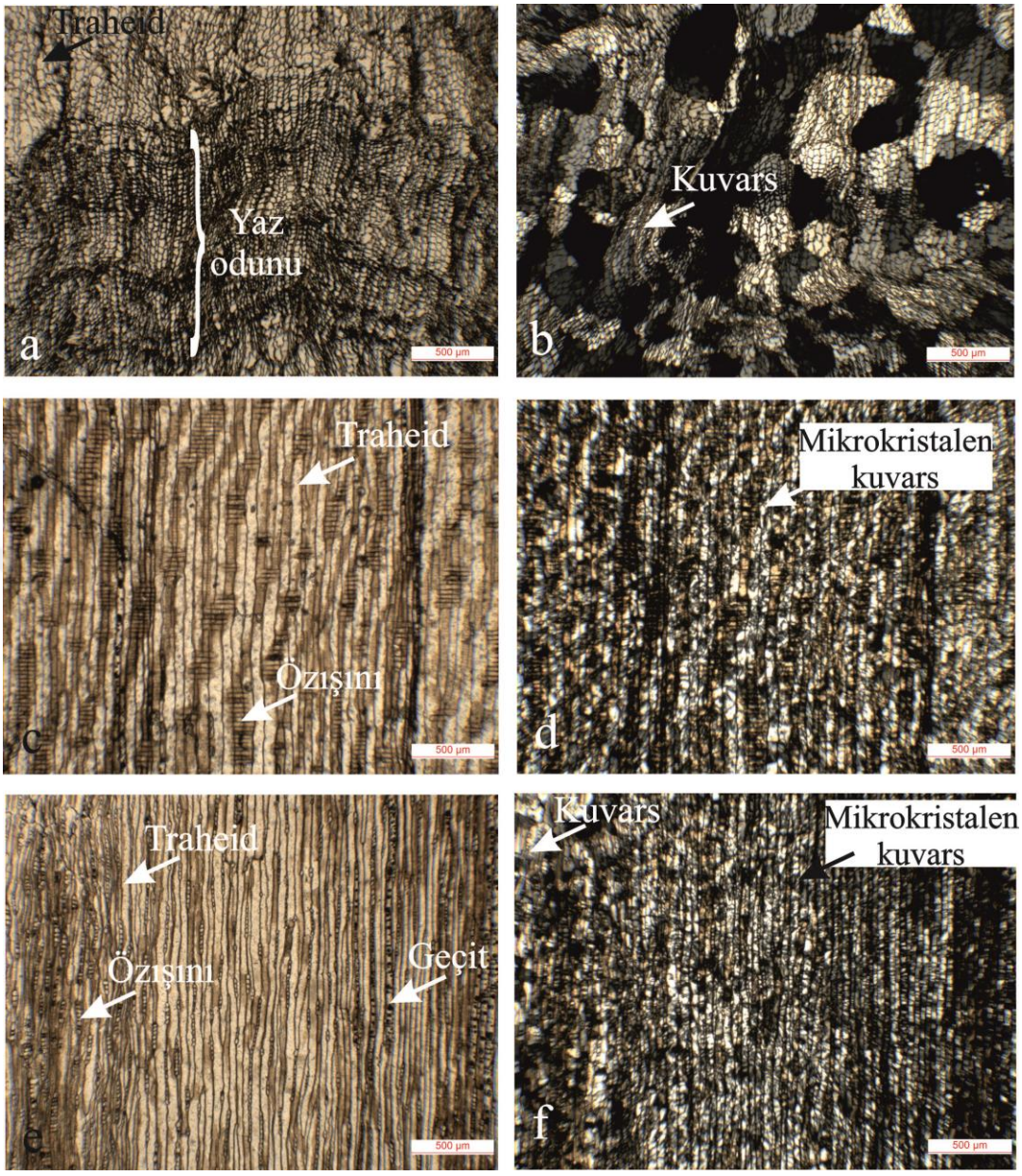
Şekil 4.31: Keşan bölgesine ait a,b) K4 örneğinin enine kesitinde, c,d) K14 örneğinin radyal kesitinde, e,f) K16 örneğinin teğet kesitinde; tek nikol altında odun dokuları (a, c, e) ile çift nikol altında silis polimorflarının (c, d, f) görünümleri.

Malkara bölgesinde tespit edilen ağaç örneklerinde silisleşmenin yanı sıra, kömür bantlarına yakın kesimlerde, ağaçlarda da kömürleşme yaygınlaşmaktadır. Odun dokusu iyi korunmuş olan bu örneklerin polarizan mikroskop altındaki ince kesitlerinde, organik kalıntının belirgin şekilde arttığı saptanmıştır. Hücre çeperlerinde yer alan organik madde, kahverengi-siyah tonlarda koyu renkli olarak görülürken, lümende açık renkli olarak gözlenen silisin varlığı tespit edilmiştir (Şekil 4.32).



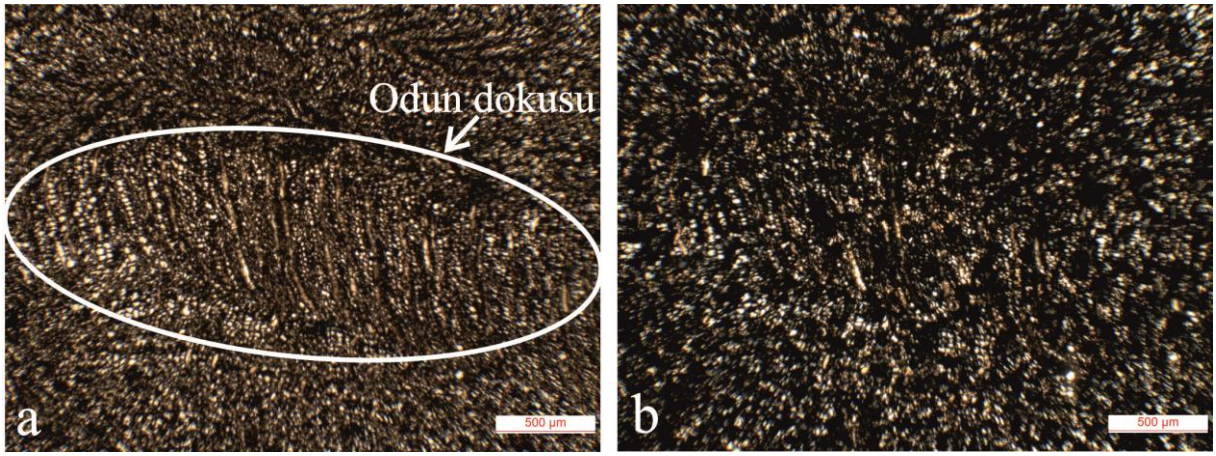
Şekil 4.32: Malkara bölgesi (M7) örneğine ait enine kesit üzerinde odun dokusunun ve hücre çeperlerinde tespit edilen organik kalıntının görünümleri (a,b; çift nikol, c,d; tek nikol).

Çeperlerdeki organik maddenin en iyi gözlemlendiği kesitler, iri kuvars kristallerinin de yer aldığı enine yönde olan kesitlerdir. (Şekil 4.33a,b). Düz ışık altında radyal ve teğet kesitlerinde, korunmuş odun dokuları ile sıklıkla opak mineraller tarafından doldurulmuş geçitler tespit edilmiştir (Şekil 4.33c,e). Bu kesitlerin çapraz ışık altındaki incelemelerinde ise odun dokusuna uyumlu şekilde gelişmiş mikrokristalen kuvarsın varlığı gözlenmiştir (Şekil 4.33d,f).



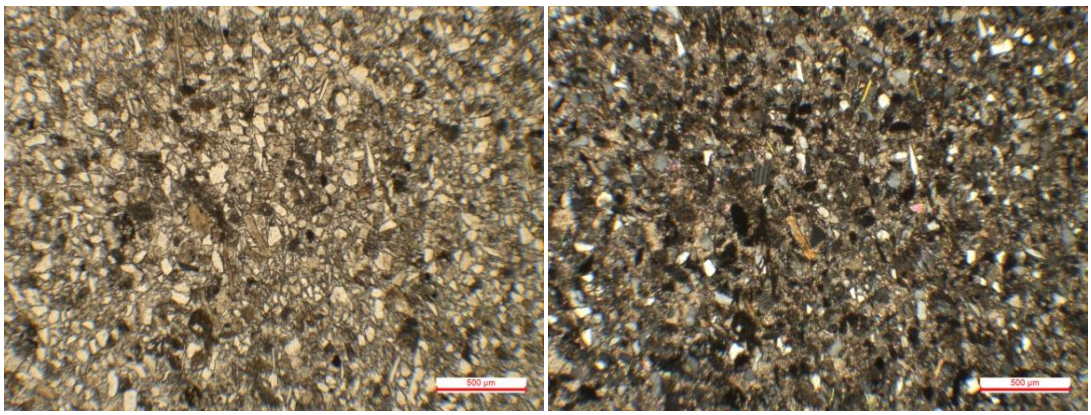
Şekil 4.33: Malkara (M7) örneğine ait enine kesitte; a) Odun dokusu ve yaz odunu ile b) İri kuvars kristalleri, radyal kesitte; c) Odun dokusuna ait elemanlar ile d) Dokuya uyumlu gelişmiş mikrokristalen kuvarslar, teğet kesitte ise e) Odun dokusu elemanları ile f) Kuvars ve mikrokristalen kuvarsların görünümü.

Kömürleşmenin arttığı örneklerde ağaca ait odun dokusu oldukça tahrip olmuştur. İnce kesitlerin tek nikol altındaki incelemelerinde oldukça kısıtlı olarak gözlenen (Şekil 4.34a) söz konusu doku, çift nikol altında tamamen tanımlanamaz hale gelmektedir (Şekil 4.34b).



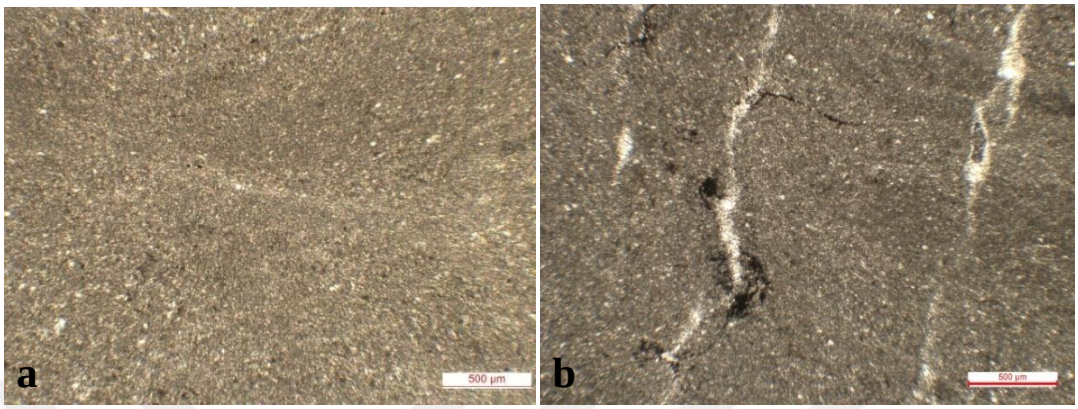
Şekil 4.34: Malkara bölgesine (M2) ait tamamen kömürleşmiş örneğin tek nikol (a) ve çift (b)nikol altındaki görüntüleri.

Keşan ve Malkara bölgesinde, silisleşmiş ağaçların içinde bulunduğu birim olan DanişmenFormasyonu'nuna ait egemen litoloji olan kumtaşları, iyi boylanmış ve ince-orta taneli olarak gözlenmiştir (Şekil 4.35). Kumtaşını oluşturan tanelerin az köşeli–yuvarlak bileşenlerden oluşması, ayrıca kil miktarının az ve kuvars içeriğinin yüksek olması nedeniyle, kumtaşları dokusal açıdan olgunlaşmış olarak tanımlanabilir. Kumtaşlarının bileşimi, kuvars, feldispat, mika ve epidot mineralleri ile kireçtaşı ve metamorfik (kuvarsit, şist) kayaç parçalarından oluşmuş ve karbonat çimentolu bir bağlayıcıyla tutturulmuştur. Folk (1968)'e göre litik-arkoz, subarkoz türü kumtaşı sınıflamasına girmektedir. İnce kesitlerde gözlemlenen örneklerin muskovit ile metamorfik kayaç parçaları içermesi, kumtaşlarının metamorfik bir kaynaktan (Istranca Masifi) beslendiğini işaret etmektedir.



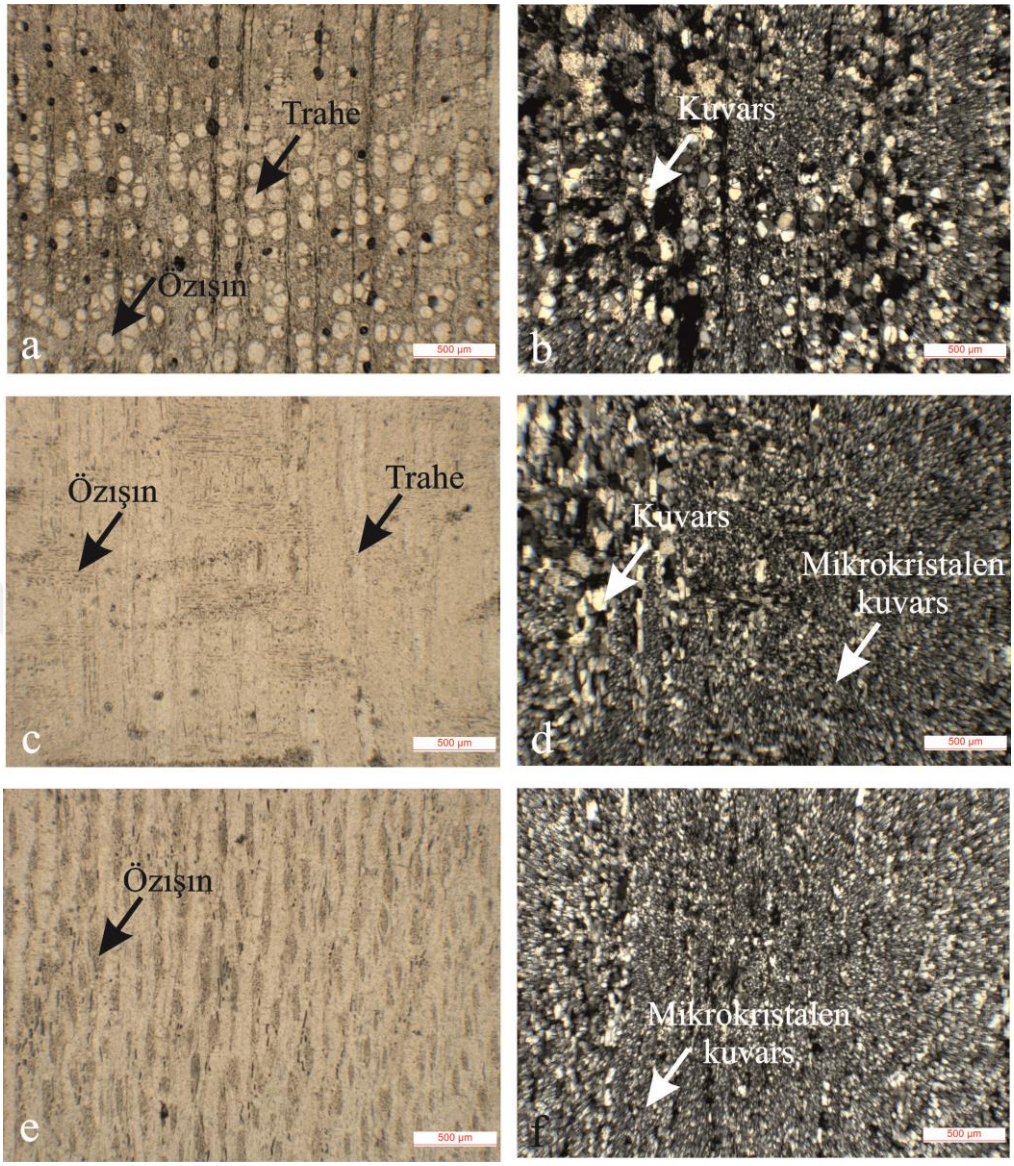
Şekil 4.35: Danişmen Formasyonu kumtaşlarını oluşturan kuvars, serizit, muskovit minerallerinin tek (sol) nikolve çift (sağ) nikol görünümü.

Danişmen Formasyonunda, kumtaşlarının yanı sıra silisleşmiş ağaçları da içeren, bol miktarda kiltaşı seviyeleri ardalanmalı olarak bulunmaktadır. Çok ince taneli, krem-bej-açık gri renkli, opak minerallere sahip ve karbonat çimento ile tutturulmuştur (Şekil 4.36).



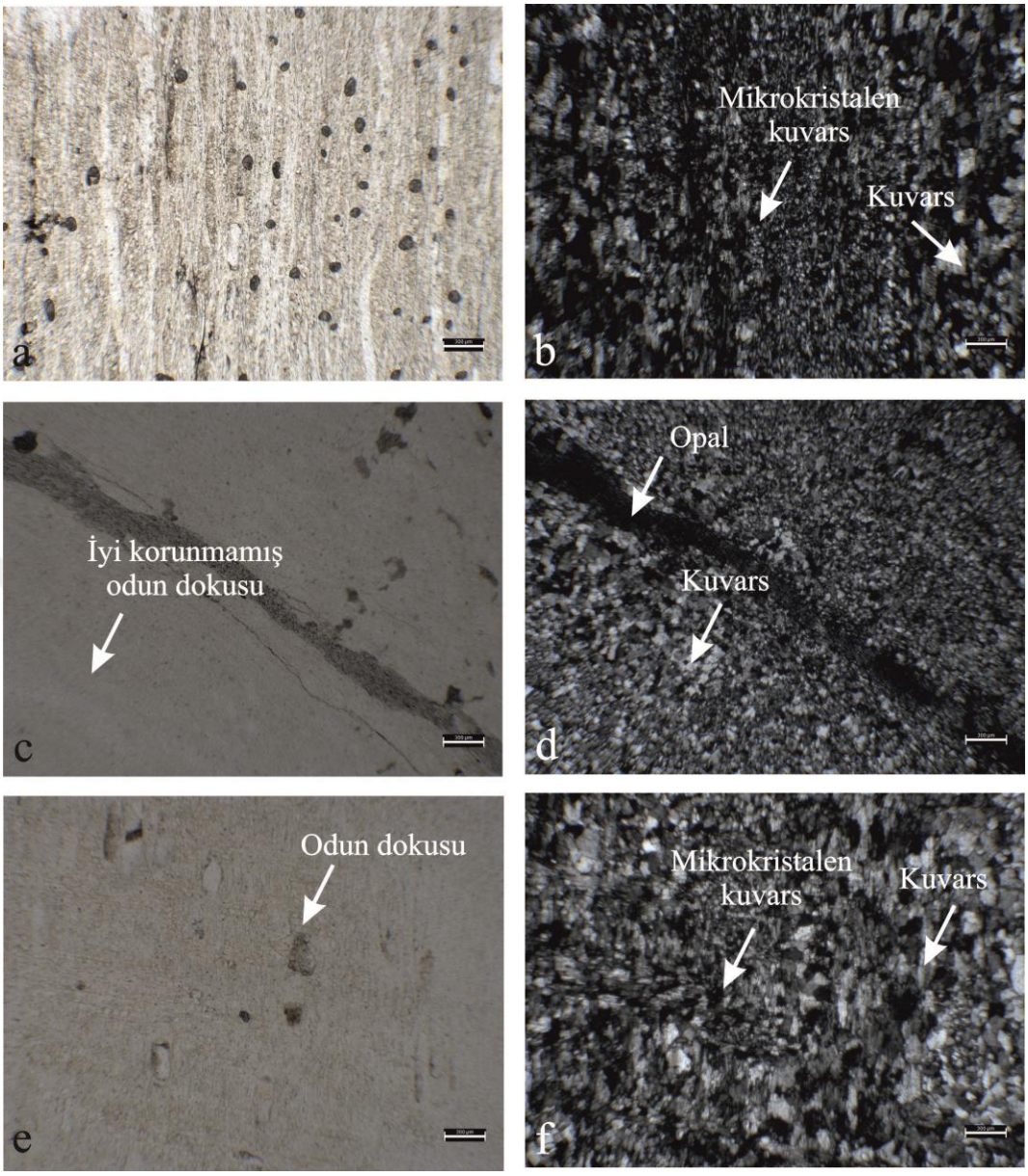
Şekil 4.36: Silisleşmiş ağaçların içerisinde bulunduğu Danişmen Formasyonu silttaşı seviyesinden alınan ince kesit örneğinin polarizan mikroskop altında çift nikoldeki görüntüleri a) Keşan bölgesi (Akç), b) Malkara bölgesi (M10).

Yalıköy bölgesinden toplanan ağaçların az sayıdaki örneklerinde odun dokusu korunurken (Şekil 4.37a), genellikle bu dokunun az korunmuş veya korunmamış olduğu gözlenmiştir (Şekil 4.37c,e). Taşlaşma mekanizmasını sağlayan silis çoğunlukla dokulara uyumlu şekilde gelişmiştir. Ağacın cinsine göre bulunan trahelerin lümenlerinde iri kuvarslar ile daha ufak çaplı traheidlerdemikrokristalen kuvarslar enine kesitlerde tespit edilmiştir (Şekil 4.37b). Radyal ve teğet kesitlerde ise bu kristalizasyonların boyuna görünümleri gözlenmiştir (Şekil 4.37d,f).



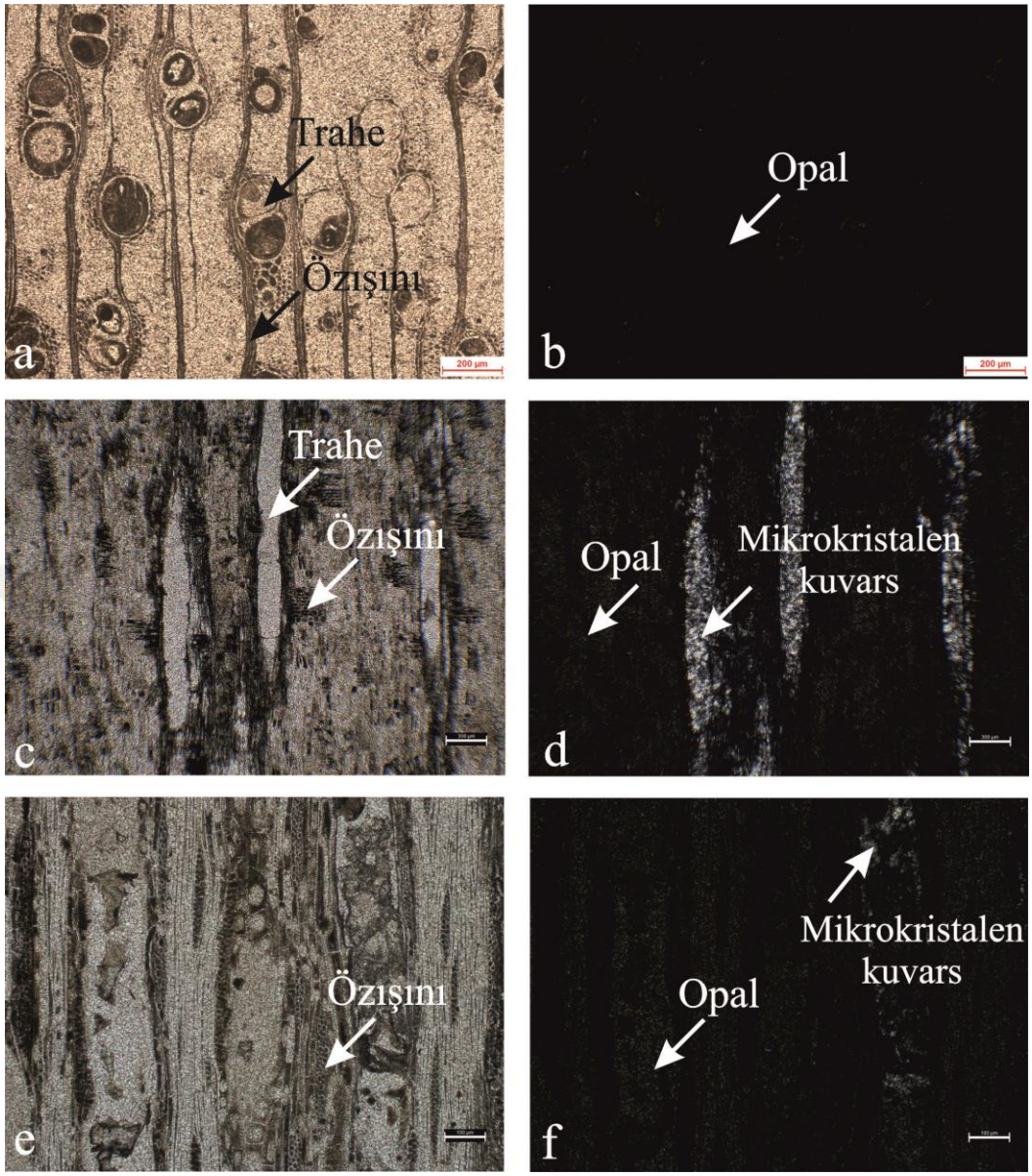
Şekil 4.37: Yalıköy bölgesinden alınan silisleşmiş ağaç örneğinin (Y10) enine (a, b), radyal (c, d) ve teğet kesitlerinde (e, f); tek nikol altında odun dokusu elemanları (a, c, e) ile çifnikol altındaki kuvars-mikrokristalen kuvars oluşumlarının (b, d, f) görünümleri.

Silivri bölgesi silisleşmiş ağaçlarına ait ince kesit örneklerinde genellikle ince-orta taneli kuvars kristalleri hâkim iken, kalsedon ve opal oluşumları daha az gözlemlenmiştir. Odun dokusunun iyi korunabildiği az sayıda örneklerde silis, hücresel yapıya uyumlu şekilde gelişmiştir (Şekil 4.38).



Şekil 4.38: Silivri (S4-2) bölgesine ait silislemiş ağaç örneğinde iyi korunmamış odun dokusunun tek nikol görünümleri (a,c,e) ile silis polimorflarının görünümleri (a,c,e) (e,f; radyal yönde kesit).

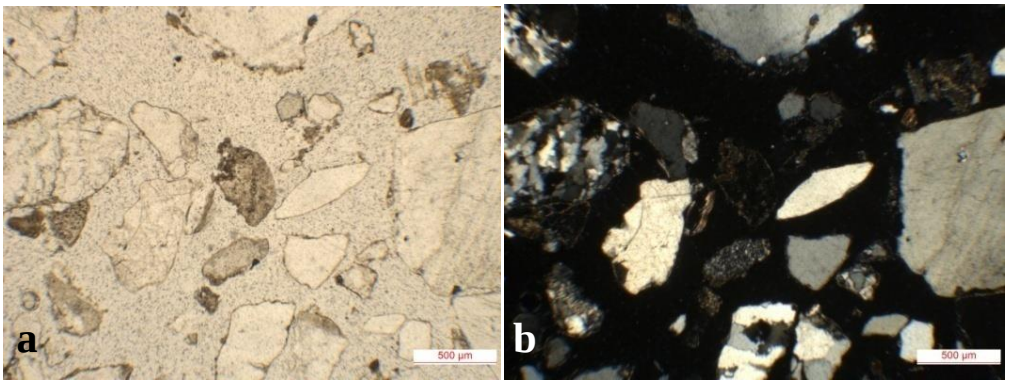
Beylikdüzü bölgesi silisleşmiş ağaçları hem makro hem de mikro olarak diğer bölgelerden farklı bir yapı sunmaktadır. Ağaçlar neredeyse tamamen opalleşmiş olup, izotropik özellikten dolayı ince kesitleri polarizan mikroskop altında koyu renkli görünmektedir (Şekil 4.39b,d,f). Ağaçların opal haricinde trahe gibi iri lümenlerde kuvarslar ile traheid ve özışın gibi daha ufak boyutlu hücre boşluklarında mikrokristalen kuvars oluşumları saptanmıştır (Şekil 4.39b,d,f). İnce kesit örneklerinin büyük çoğunluğunda, tek nikolde tanımlanan odun dokusu iyi korumuştur (Şekil 4.39a,c,e).



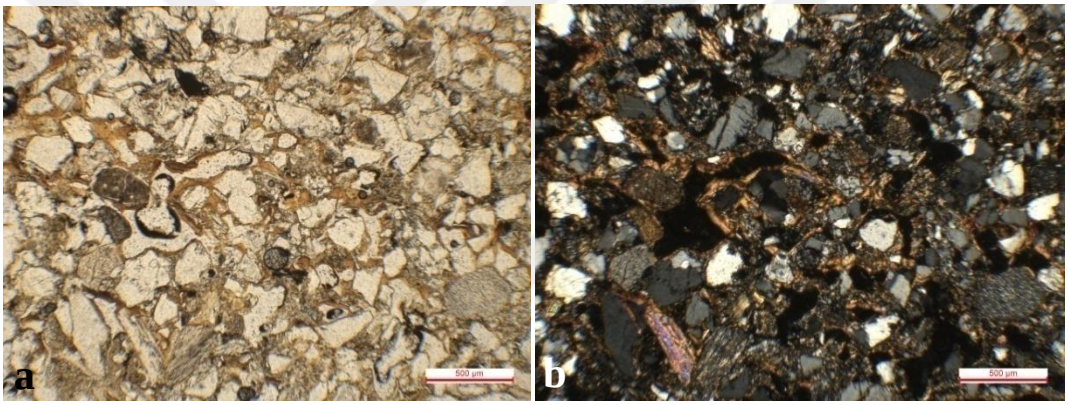
Şekil 4.39: Beylikdüzü örneklerinin polarizan mikroskopta tek nikol (a, c, d) ve çift nikol (b, d, f) altında görünümleri. a-b) G4 örneğinin enine kesiti, c-d) G3 örneğinin radyal kesiti, e-f) G4 örneğinin teğet kesiti.

Yalıköy, Silivri ve Beylikdüzü bölgelerinde tespit edilen silisleşmiş ağaçlar, İstanbul Formasyonu Kıraç Üyesi içerisinde yer almaktadır. Birimin büyük bir kısmını oluşturan kumtaşının litolojisi orta-iyi boylanmalı, köşeli-yarı köşeli tanelerden oluşmaktadır (Şekil 4.40; 4.41). Bileşimi, egemen olarak kuvars ve kayaç parçaları, daha az miktarda feldspat ve mika içermektedir. Kuvars oranının diğer tanelere göre fazla olmasından dolayı mineralojik açıdan olgundur, çoğunlukla serizitleşmiş olan bağlayıcı malzeme kilin varlığından dolayı da dokusal yönden olgun değildir. Mineralojik açıdan aynı olsa da, kumtaşının farklı seviyelerinde litolojik farklılıklar bulunmaktadır (Şekil 4.40; 4.41). Yan kayaç örnekleri Folk (1968) sınıflamasına göre kuvars arenit olarak tanımlanmıştır (Şekil 4.42). Yalıköy bölgesine

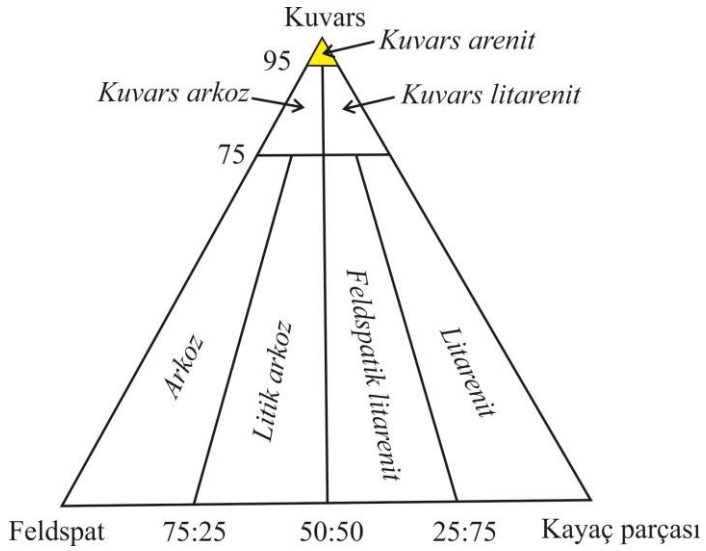
ait yan kayaç ince kesit örneğinde, çeperindeki organik madde korunmuş, iç kısmı ise silisleşmiş bitki fosili gözlenmiştir (Şekil 4.43).



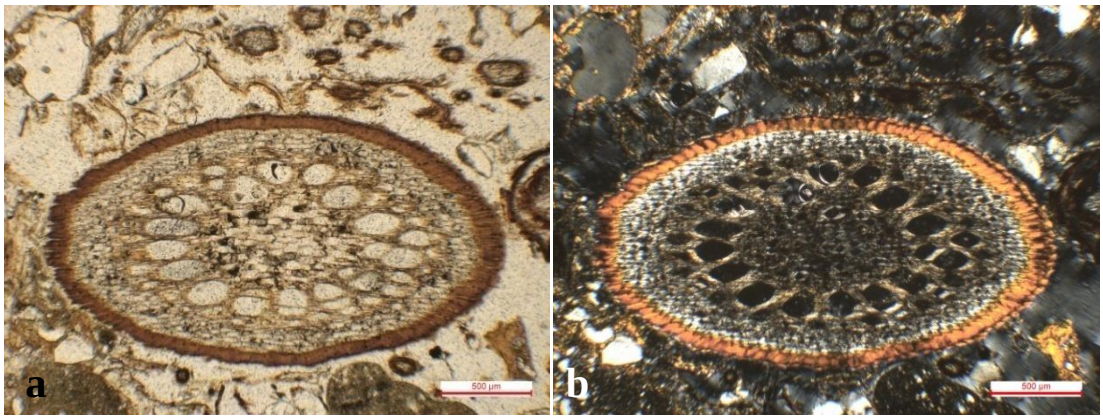
Şekil 4.40: Silivri bölgesinden alınan İstanbul Formasyonuna Kıraç Üyesine ait kumtaşının tek (sol) ve çift (sağ) nikoldeki görünümleri.



Şekil 4.41: Yalıköy bölgesinden alınan İstanbul Formasyonu Kıraç Üyesi kumtaşına ait ince kesitte, kuvars, feldispat ve mika minerallerinin tek (sol) ve çift (sağ) nikoldeki görünümleri.



Şekil 4.42: Kumtaşlarının kuvars-feldispat-kayaç parçası üçgen diyagram sınıflaması **(**Folk, 1968).

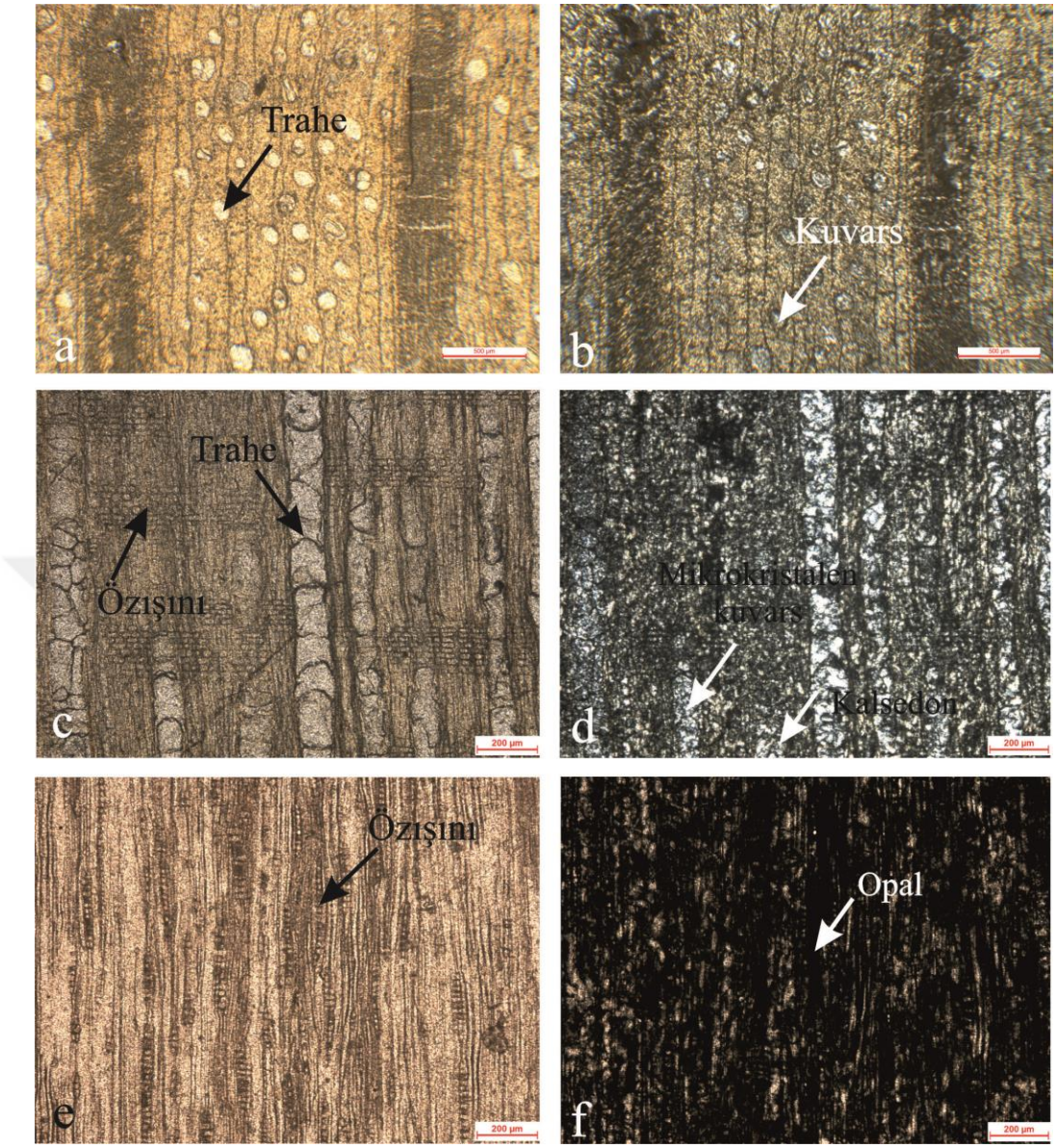


Şekil 4.43: İstanbul Formasyonu içinde saptanan bitki fosilinin tek nikol (sol) ve çift nikol (sağ) görüntüleri.

4.2.1.2. Batı Anadolu Bölgesi

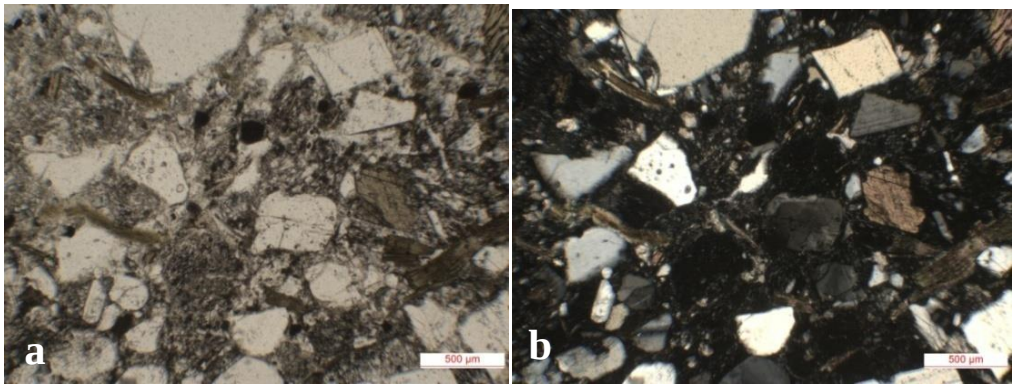
Batı Anadolu silisleşmiş ağaçlarının detaylı mineralojik ve petrografik çalışmalarında, odun dokusuna ait trahe, traheid, özışını gibi çeşitli hücre çeperlerinde ve lümenlerinde, ayrıca hücreler arası boşluklar ile çatlak yapılarında silisin polimorfları olan kuvars, kalsedon ve amorf silis (opal) oluşumları tanımlanmıştır. Kristalin kuvarslar inceden iri taneliye kadar geniş bir aralık sunmakta olup, kalsedon oluşumları ve daha az miktarda amorf silis tespit edilmiştir. Tek nikol altında tespit edilen odun dokusunun korunduğu örneklerde, silisin polimorfları bu hücresel yapılara uyumlu gelişmiştir. Üç yönde alının ince kesitlerde anatomik yöne göre oluşmuş belirli birpolimorf saptanmamıştır. Düz ve çapraz ışık altında bazı örneklerin ince kesitlerinde, kısmen korunmuş olarak organik madde varlığı tanımlanmıştır.

Tavşanlı (Kütahya) bölgesi silisleşmiş ağaçları odun dokusu iyi korunmuş örnekler olup, silisin opal-kalsedon-kuvars olmak üzere üç polimorfunu da içerdikleri tespit edilmiştir. Silisin kendine alan bulabildiği, özellikle geniş trahelerin olduğu örneklerde iri kristalli kuvars oluşumları saptanmış, enine ve radyal kesitlerde ise kolaylıkla tanımlanmışlardır (Şekil 4.44a,b,c,d). Az sayıda örnekte ise egemen opal oluşumları ile hücreler içinde mikrokristalen kuvarslar (kalsedon) gözlenmiştir (Şekil 4.44f).

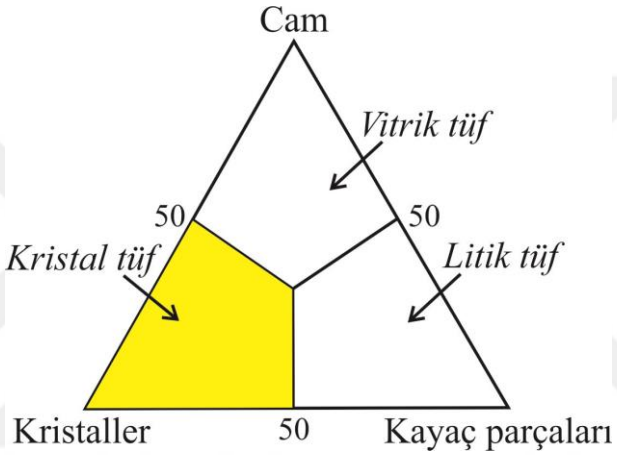


Şekil 4.44: Tavşanlı (Kü11) örneğinin tek nikol atındaki (a,c,e) odun dokusu görünümü ile çift nikol altındaki(b,d,f) odun dokusuna uyumlu gelişmiş kuvars, kalsedon ve opal oluşumlarının (f) görünümleri. (a,b) enine kesit, b,c) radyal kesit, d,e) teğet kesit).

Tavşanlı bölgesinden toplanan silisleşmiş ağaçlar Çokköy Formasyonu içerisindeki andezitik tüf seviyelerinde yer almaktadır. İçerisinde, bir kısmı kemirilmiş olan az köşeli bol miktarda kuvars, kırılmış, parçalanmış plajiyoklaz, epiklastik kayaç parçaları, deforme olmuş biyotit, amfibol ve opak minerallerden pirit gözlenmiştir. Bağlayıcı volkan camında ise yer yer killeşmeler mevcuttur (Şekil 4.45). Örnekler, Pettijohn et al. (1987) tüf sınıflamasına göre %50 oranından fazla kristal içerdiği için kristal tüf olarak tanımlanmıştır (Şekil 4.46).

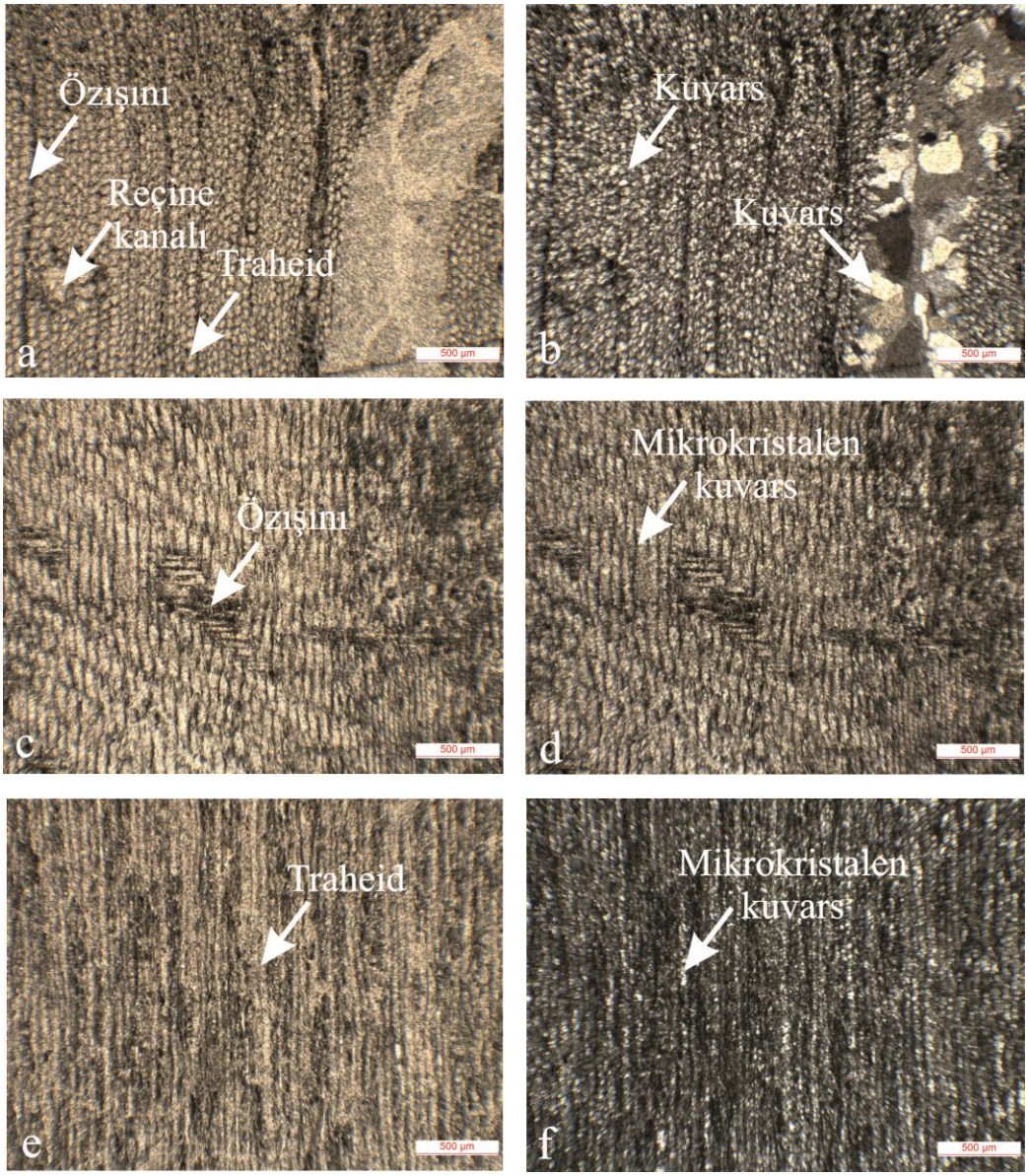


Şekil 4.45: Tavşanlı bölgesi andezit tüf örneğinin tek nikol (sol) ve çift nikol (sağ) altında görünümü.



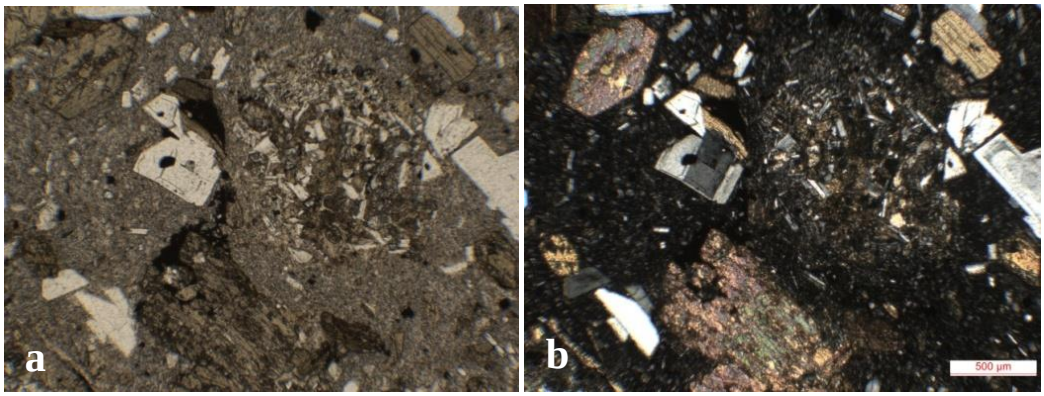
Şekil 4.46: Tüf sınıflamasında kullanılan üçgen diyagram (Pettijohn et al., 1987)

Osmancalı (Manisa) bölgesi silisleşmiş ağaçları, odun dokusu açısından genellikle korunmuş örnekler olup (Şekil 4.47a,c,e), polarizan mikroskop altındaki ince kesit çalışmalarında egemen olarak kuvars ve kalsedon (mikrokristalen kuvars) oluşumları (Şekil 4.47b,d,f) saptanmıştır. Traheid vb gibi odun dokularına uyumlu gelişen silis, kırık-çatlak gibi boşluklu alanlarda daha iri boyutlu kristaller oluşturmuştur (Şekil 4.47b).

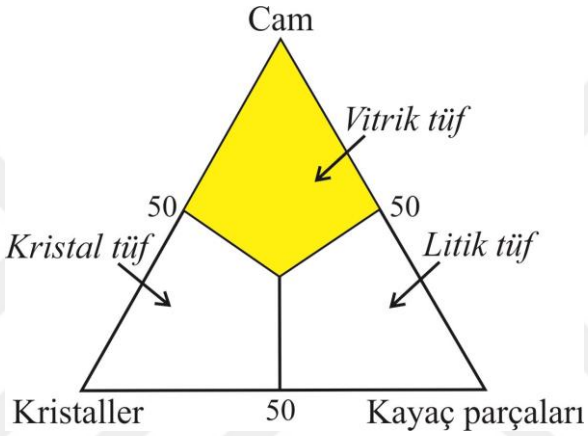


Şekil 4.47: Osmancalı (Os6) örneğinin; enine kesitte (a), radyal kesitte (b) ve teğet kesitte (c) odun dokularının ve kuvars, kalsedon, opalden oluşan mineralojik bileşiminin görüntüsü (tek nikol; sol, çift nikol; sağ).

Bölgede silisleşmiş ağaçların içerisinde konumlandıkları andezit tüfler epiklastik kayaç parçaları (bir kısmı silisleşmiş), kuvars, plajiyoklaz, amfibol, mika ve az miktarda opak mineral içermektedir (Şekil 4.48). Tüf içerisindeki tanelerin bağlayıcısı olan volkan camı altere olarak yer yer pomzalaşmış ve killeşmiştir. Örneklerdeki cam oranı tane oranından çok olduğundan dolayı Pettijohn et al. (1987) sınıflamasına göre vitrik tüf olarak tanımlanmıştır (Şekil 4.49).

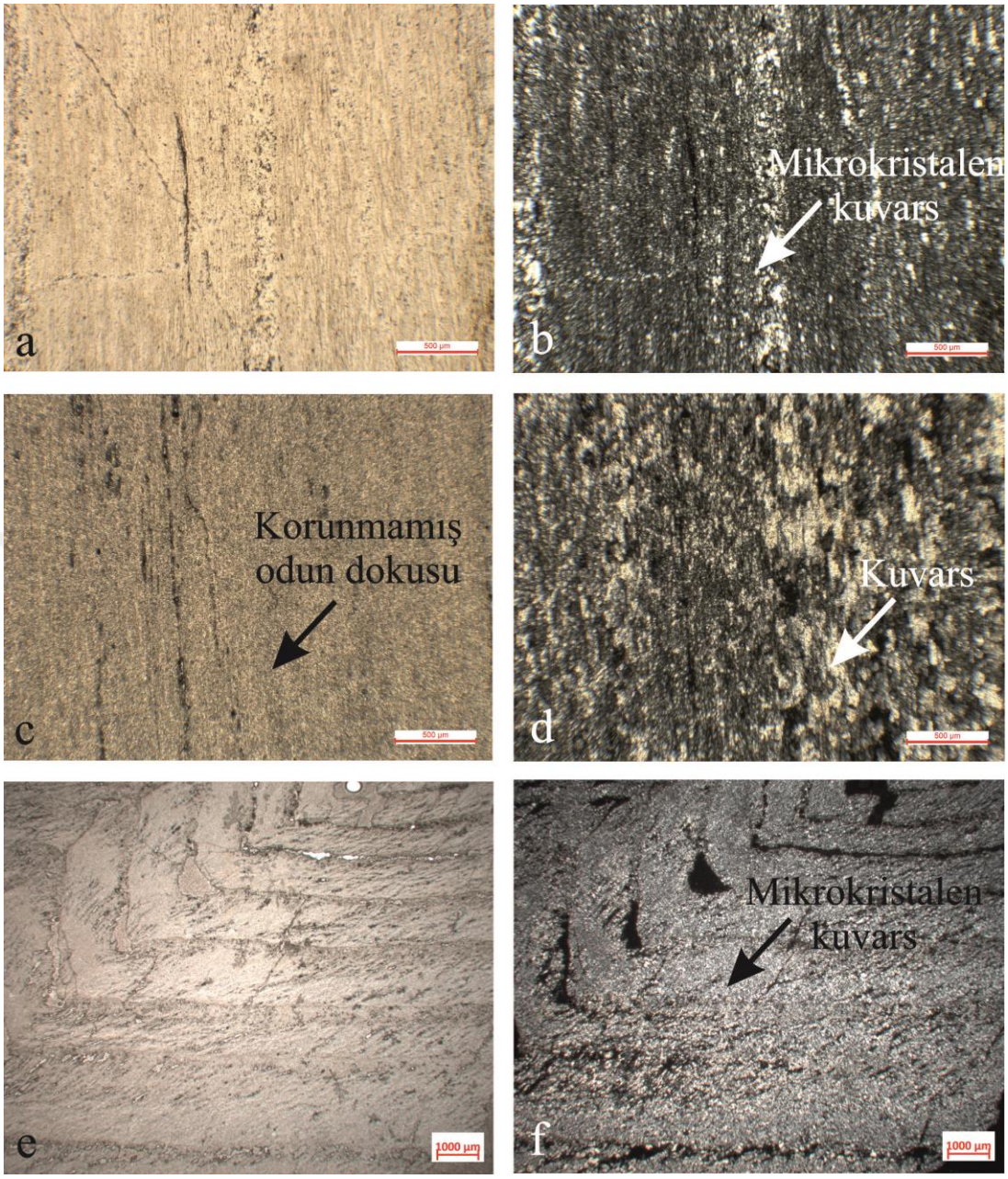


Şekil 4.48: Osmancalı (Manisa) bölgesindeki Foça Tüfüne ait örnek içindeki kayaç parçası, plajiyoklaz ve kuvars mineralerinin ait tek nikol (sol) ve çift nikoldeki (sağ) görünümleri.



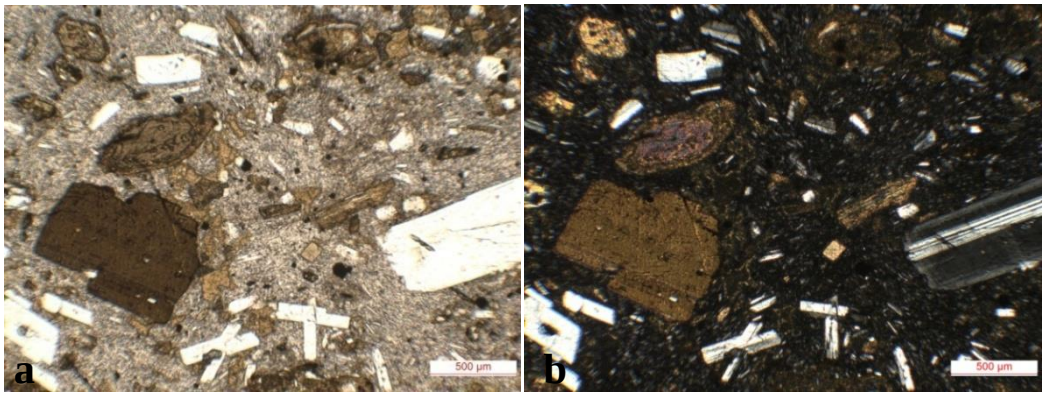
Şekil 4.49: Pettijohn et al. (1987) tüf sınıflamasında Osmancalı bölgesi yan kayacının tanımlaması (sarı alan).

Diğer bir çalışma bölgesi olan **Banaz (Uşak)** silisleşmiş ağaç örneklerinde, tek nikol altındaki çalışmalarda odun dokusunun genellikle korunmadığı gözlenmiştir (Şekil 4.50a,c,e). Çift nikol altındaki çalışmalarda ise sıklıkla ince-orta tane boyuna sahip kuvars taneleri saptanmıştır (Şekil 4.50b,d,f). Dokunun korunduğu az sayıdaki ince kesitlerde, diğer bölge örneklerinde olduğu gibi silis polimorflarının yapıya uyumlu gelişmiştir.



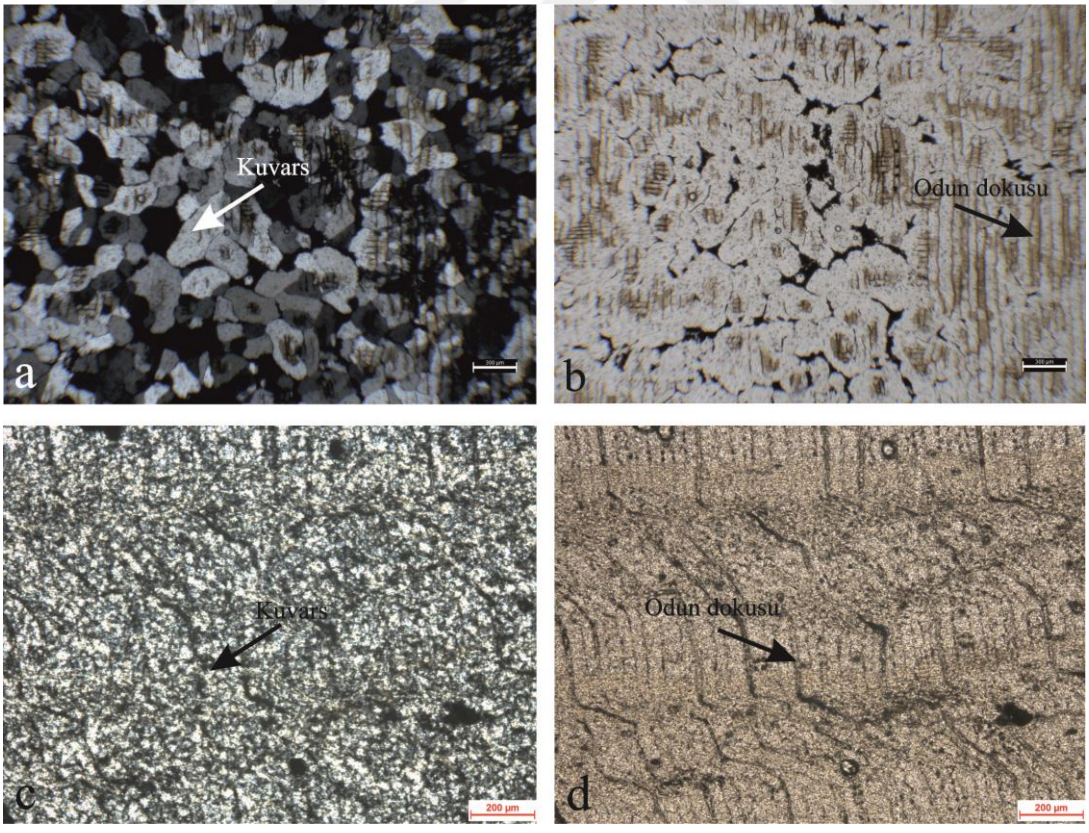
Şekil 4.50: Banaz bölgesine ait U1 (a,b), U3 (c,d) ve U2 (e,f) örneklerinde; korunmamış odun dokusunun tek nikol altındaki görünümleri (a,c,e) ile çift nikol altında tespit edilen silis polimorflarının (b,d,f) görünümlleri.

Banaz bölgesinde silisleşmiş ağaçlarının bulunduğu birim andezitik-riyolitik tüf olarak tanımlanmıştır. Polarizan mikroskop altındaki çalışmalarda ince kesitlerde biyotit, amfibol, plajiyoklaz tanımlanmış, kuvars az gözlenmiştir (Şekil 4.51). Amfibol kristallerinde biyotite dönümüşün başladığı denge kristalizasyonu sıklıkla tespit edilmiştir.



Şekil 4.51: Banaz (Uşak) bölgesindeki Yeniköy Formasyonu içindeki andezitik-riyolitik tüfler içerisinde, plajiyoklaz, biyotit, amfibol mineralleri ve porfirik dokunun tek nikol (sol) ve çift nikol (sağ) altında görünümü.

Trakya ve Batı Anadolu'ya ait silisleşmiş ağaç örnekleri mikroskop altında karşılaştırıldığında; yoğun miktarda iri kuvars kristalleri içerdikleri ve bu görünümleri ile tek mineralli kuvarsit kayacına benzer oldukları, ancak diyajenez koşulları altında oluştukları gözlenmektedir (Şekil 4.52a,c). Tek nikol altındaki görüntüler detaylı bir şekilde incelendiğinde ise, zayıf da olsa korunmuş ağaç dokusunun varlığı ile bu örneklerin silisleşmiş ağaç oldukları kanıtlanmaktadır (Şekil 4.52b,d).



Şekil 4.52: Malkara örneği (M7) kesitinde; a) Bol miktarda orta-iri tane boyu kuvars kristalleri (çift nikol) ve b) Kısmen korunmuş odun yapısı (tek nikol) ileTavşanlı örneği (Kü1) kesitinde c) İnce-orta taneli kuvarslar ve d) Kısmen korunmuş odun dokusunun görünüç

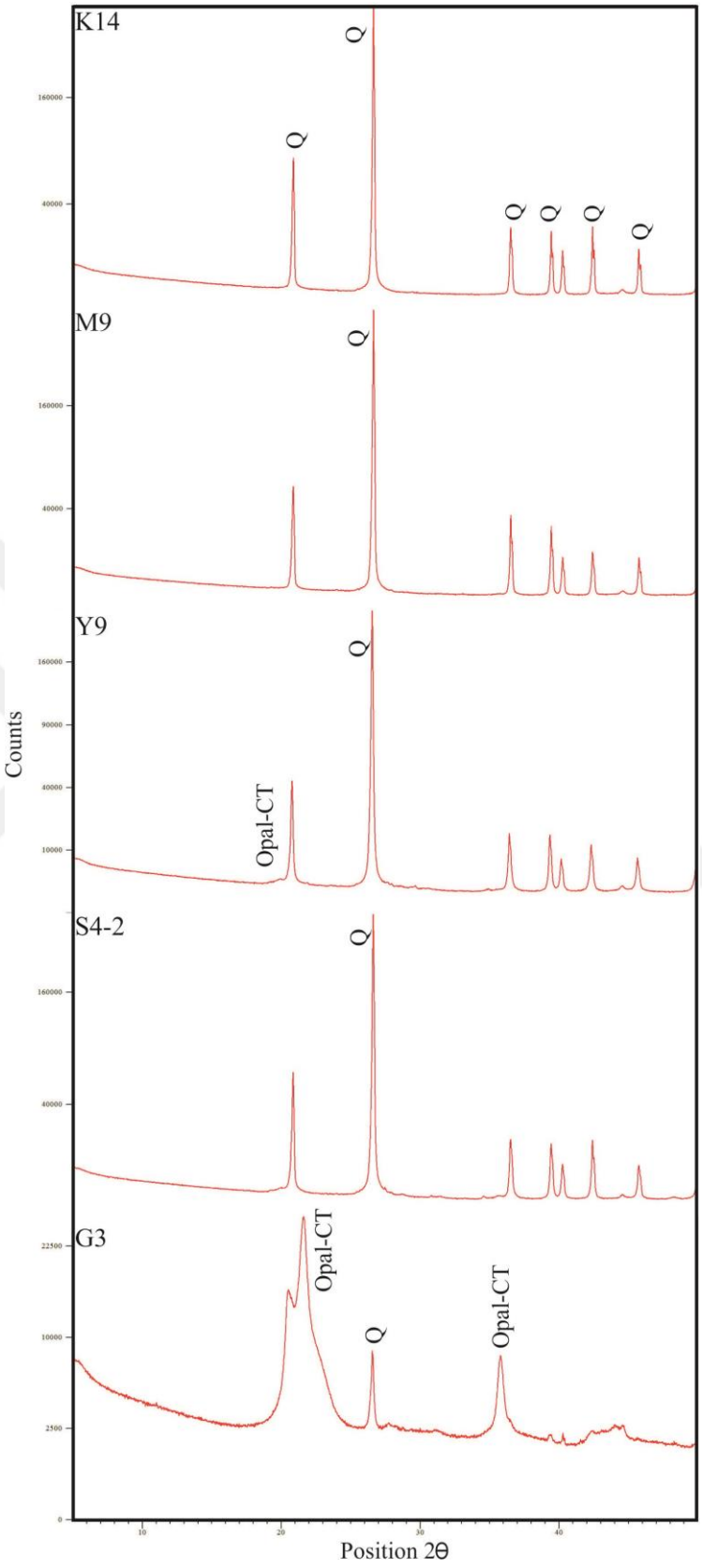
4.2.2. X-Işını Kırınım Yöntemi (XRD) Analizi

Trakya ve Batı Anadolu çalışma bölgelerini temsilen seçilen silisleşmiş ağaç örneklerinde, polarizan mikroskopta tespit edilen silis polimorflarını desteklemek amacıyla XRD analizleri yapılmıştır. Elde edilen analiz verilerinin yorumlanması sonucu silis polimorflarından kuvars (Q) ile düşük sıcaklıklarda bir arada oluşan zayıf kristalli kristobalit-tridimit birlikteliği (Opal-CT) her iki bölgede de tespit edilmiştir. Tüm sonuçlarda, saptanan polimorfların güçlü pikleri ile birlikte birçok zayıf piki beraber gözlenmiştir.

4.2.2.1. Trakya Bölgesi

Trakya örnekleri (K14, M9, Y9, S4-2, G3) XRD sonuçlarında kuvars açısından benzer difraktogramlar elde edilmiş, 100'lük pik olan 3.33Å'luk °2θ değeri 26 civarında saptanmıştır (Şekil 4.53). Sıklıkla beraber bulunan kalsedon ve kuvars, benzer pik değerlerinden dolayı XRD spektrumlarında beraber yer almaktadır. Diğer bir polimorf olan opal-CT'nin100'lük piki olan 4.10Å°2θ değeri 21,66 olarak okunmuştur ve en kuvvetli pik değerini G3 örneğinde vermiştir.

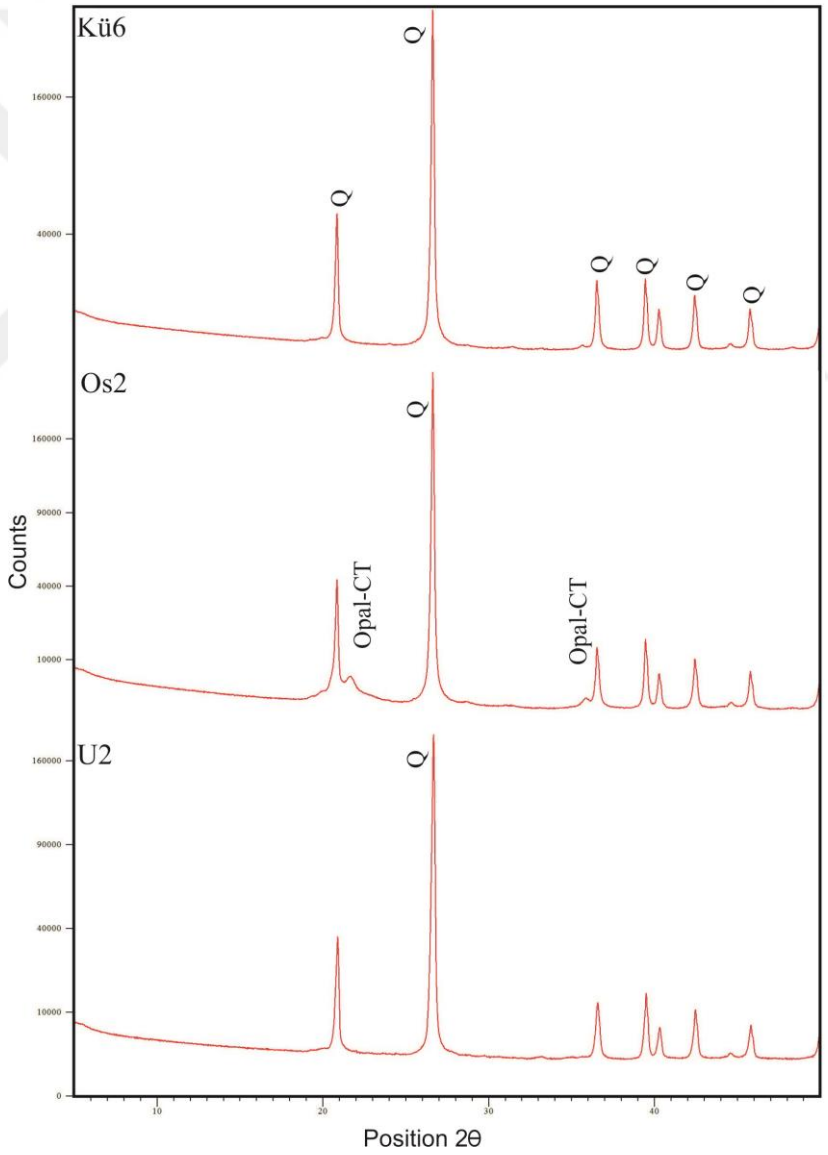
Polarizan mikrokop altında kristalen bir yapı sergileyen Keşan, Malkara, Yalıköy ve Silivri silisleşmiş ağaçlarında genel olarak benzer desenler elde edilirken (K14, M9, Y9, S4-2), mikroskop altında amorf bir yapı sergileyen farklı dokudaki Beylikdüzü örneği (G3) XRD sonuçlarında farklı desende gözlenmiştir (Şekil 4.53).



Şekil 4.53: Trakya Bölgesi silisleşmiş ağaç örneklerine ait XRD analizlerinde elde edilen silis polimofları (Q: Kuvars/Kalsedon, Opal-CT: Kristobalit-Tridimit).

4.2.2.2. Batı Anadolu Bölgesi

Batı Anadolu'ya ait üç çalışma bölgesi silisleşmiş ağaç örneklerinde (Kü6, Os2, U2) XRD analizleri gerçekleştirilmiştir. Toz örneklerden çekilen difraktogramlarda silisin polimorflarından olan kuvarsın 3.33 Å'luk %100'lük piki 26 °2θ tespit edilerek, ince kesitlerde saptanan varlığı desteklenmiştir (Şekil 4.54). Kalsedona ait 100'lük pik olan 3.34Å değerleri de 26 °2θ olarak saptanmıştır. Benzer pik değerlerinden dolayı kuvars ve kalsedon spektrumları çakışarak beraber gözlenmiştir. Manisa (Os2) örneğinde diğer bölgelerden farklı olarak opal-CT'ye ait 100'lük pik olan 4.10Å°2θ değeri 21,66 olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.54).



Şekil 4.54: Batı Anadolu Bölgesi silisleşmiş ağaç örneklerine ait XRD analizlerinde elde edilen silis polimofları (Q: Kuvars/Kalsedon, Opal-CT: Kristobalit-Tridimit).

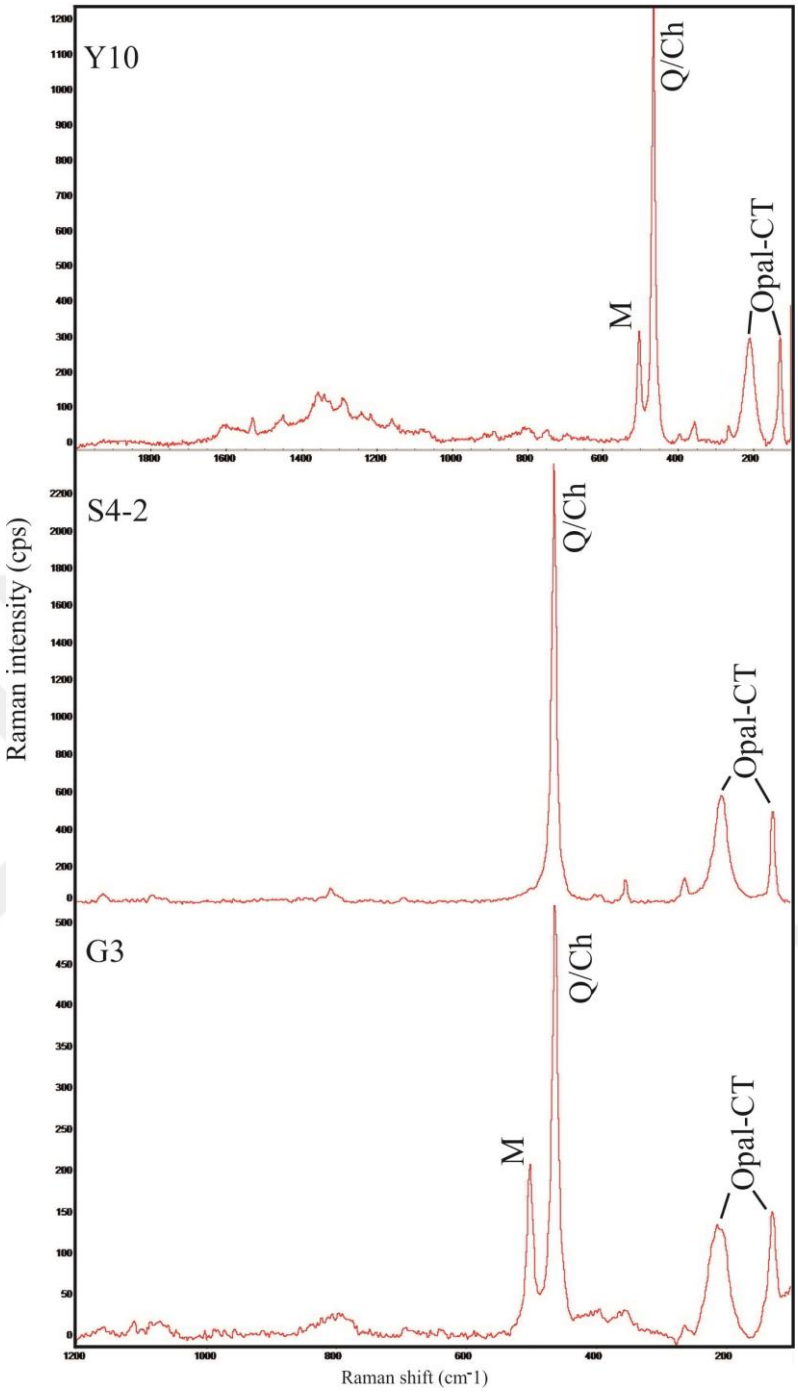
4.2.3. Raman ve Konfokal Raman Spektroskopisi Analizi

4.2.3.1. Trakya Bölgesi

Trakya Bölgesi çalışma alanlarına ait silisleşmiş ağaç örneklerinde, polarizan mikroskop altında tespit edilen silis polimorflarınının varlığını desteklemek amacıyla Raman analizleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizler sonucunda örneklerde, kuvvetli piklere sahip kuvars/kalsedon (Q/Ch) polimorf birlikteliği, moganit (M) ile zayıf pikler şeklinde okunan kristobalit-tridimit (Opal-CT) polimorfları saptanmıştır (Tablo 4.1, Şekil 4.55). Diğer örneklerden farklı olarak sadece Silivri bölgesi örneğinde moganite ait pik değeri tespit edilmemiştir. (Tablo 4.1, Şekil 4.55).

Tablo 4.1: Trakya Bölgesi örneklerine ait pik değerleri.

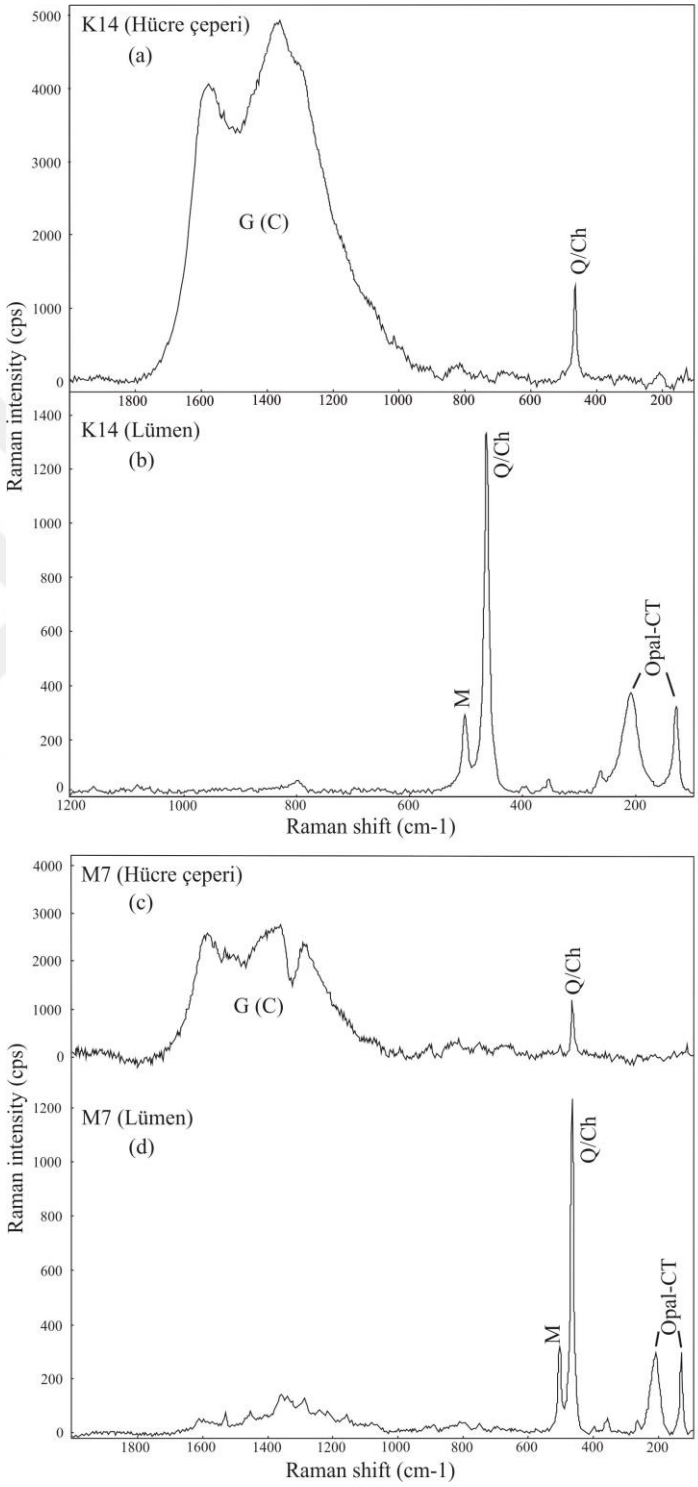
Örnek No		Kuvars/Kalsedon (cm^{-1})	Moganit (cm^{-1})	Kristobalit-Tridimit (cm^{-1})	Karbon (cm^{-1})
Y10		463,75	503,31	208,27 130,24	-
S4-2		464,97	-	207,42 128,79	-
G3		463,12	502,12	215,47 130,03	-
K14	Çeper	465,44	-	-	1578,66 1361,13
	Lümen	462,50	501,50	206,18 128,17	-
M7	Çeper	464,82	-	-	1587,23 1362,75
	Lümen	463,75	503,31	208,27 130,24	-



Şekil 4.55: Yalıköy (Y10), Silivri (S4-2) ve Beylikdüzü (G3) silisleşmiş ağaç örneklerine ait raman spektrumları ve silis polimoflarına ait pik değerleri (Q: kuvars, Ch: Kalsedon, M: Moganit).

Keşan ve Malkara bölgesine ait ince kesitler (K14 ve M7) üzerinde ayrıca Konfokal Raman Spektroskopisi (CRS) ile noktasal analizler gerçekleştirilmiştir. Özellikle bu iki örneğin seçilme sebebi, Trakya Bölgesi örnekleri içersinde odun dokusunda en fazla organik maddeye sahip olan örnekler olmalarıdır. Bu kapsamda odun dokusuna ait hücre çeperleri ve lümenlerden CRS okumaları yapılmıştır. Elde dilen spektrumlarda, Keşan (K14) ve Malkara (M7) örneklerinde hücre çeperlere silisin polimorfları olan kuvars/kalsedon ile çeper

yapısında bulunan karbona ait pikler tanımlanmıştır. Lümende gerçekleştirilen noktasal okumalarda ise kuvars/kalsedon, moganit ve opal-CT'ye ait silis piklerinin varlığı saptanmış, korbona ait veri elde edilmemiştir (Şekil 4.56).



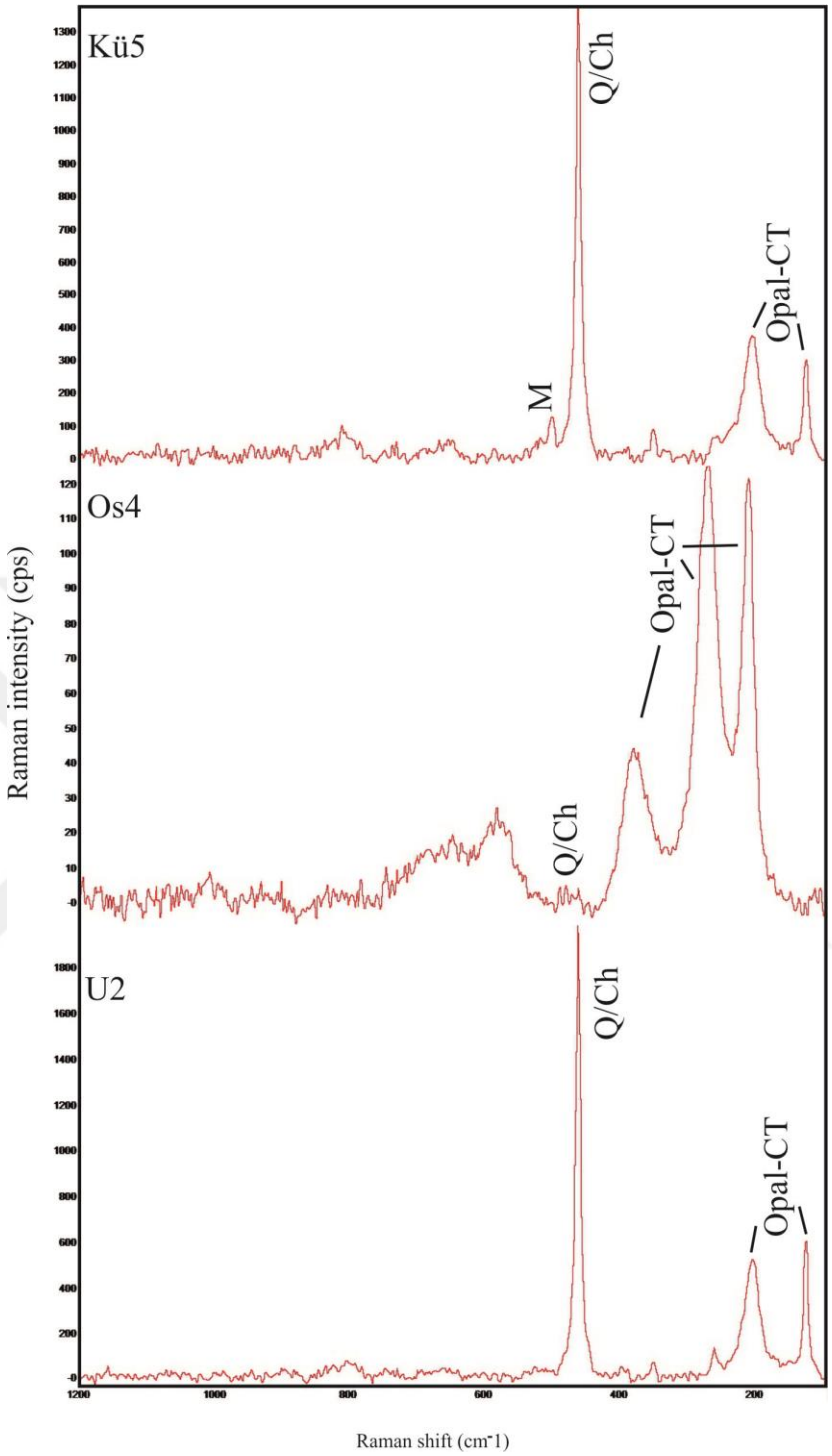
Şekil 4.56: Keşan (K14) ve Malkara (M7) silisleşmiş ağaç örneklerinde hücre çeperi ile lümenden alınan CRS okumaları ve silis polimoflarına ait pik değerleri (Q: kuvars, Ch: Kalsedon, M: Moganit, G(C): Karbon).

4.2.3.2. Batı Anadolu Bölgesi

Batı Anadolu silisleşmiş ağaç örneklerine ait Raman spektroskopisinde, Trakya Bölgesi örneklerine benzer spektrumlar elde edilmiş, kuvars/kalsedon, moganit ve opal-CT pikleri bu örneklerde de tanımlanmıştır. Osmancalı (Os4) örneğinde diğer iki bölge örneğinden farklı olarak kristobalit-tridimit (Opal-CT) piki çok kuvvetli okunmuştur (Tablo 4.2, Şekil 4.57). Banaz (U2) kodlu ağaç örneğinde ise moganit saptanmamıştır (Tablo 4.2, Şekil 4.57).

Tablo 4.2: Batı Anadolu Bölgesi örneklerinin raman spektroskopisi pik değerleri.

Örnek No	**Kuvars/Kalsedon (cm^{-1})**	**Moganit (cm^{-1})**	**Kristobalit-Tridimit (cm^{-1})**
Kü5	463,90	502,86	208,52 128,13
Os4	Çok zayıf	-	383,87 273,04 213,61
U2	465,59	-	209,27 128,17



Şekil 4.57: Tavşanlı (Kü5), Osmancalı (Os4) ve Banaz (U2) silisleşmiş ağaç örneklerine ait raman spektrumları ve silis polimoflarına ait pik değerleri (Q: kuvars, Ch: Kalsedon, M: Moganit).

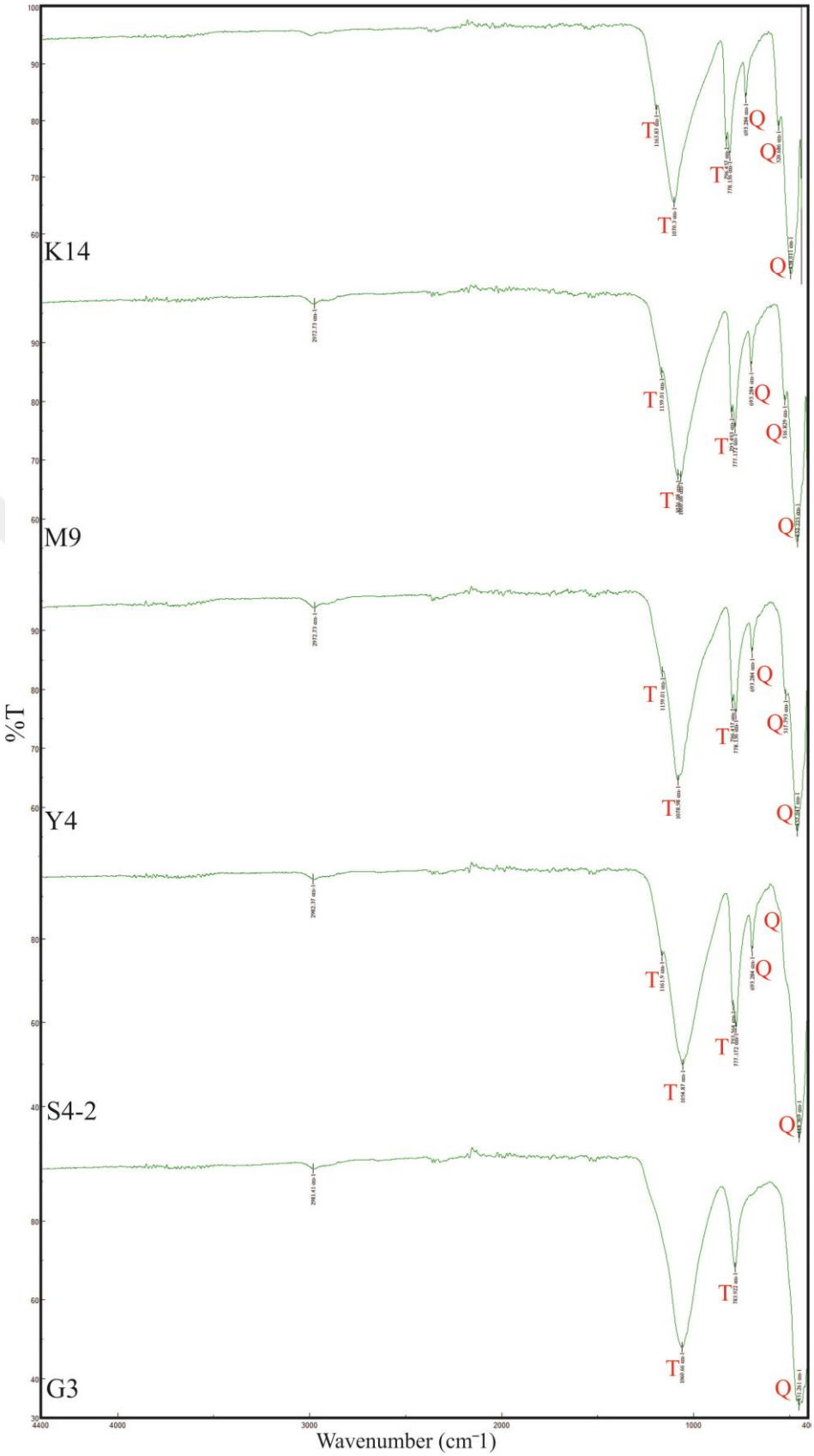
4.2.4. Fourier Dönüşümlü Kızılötesi (FTIR) Spektroskopisi Analizi

Trakya ve Batı Anadolu Bölgelerine ait silisleşmiş ağaç toz örneklerinde, mineralojik tayinleri destelemek amacıyla FTIR analizleri gerçekleştirilmiş ve odun dokularındaki silise ait IR spekturum değerleri elde edilmiştir (Tablo 4.3).Trakya bölgesinden (Şekil 4.58) ve Batı

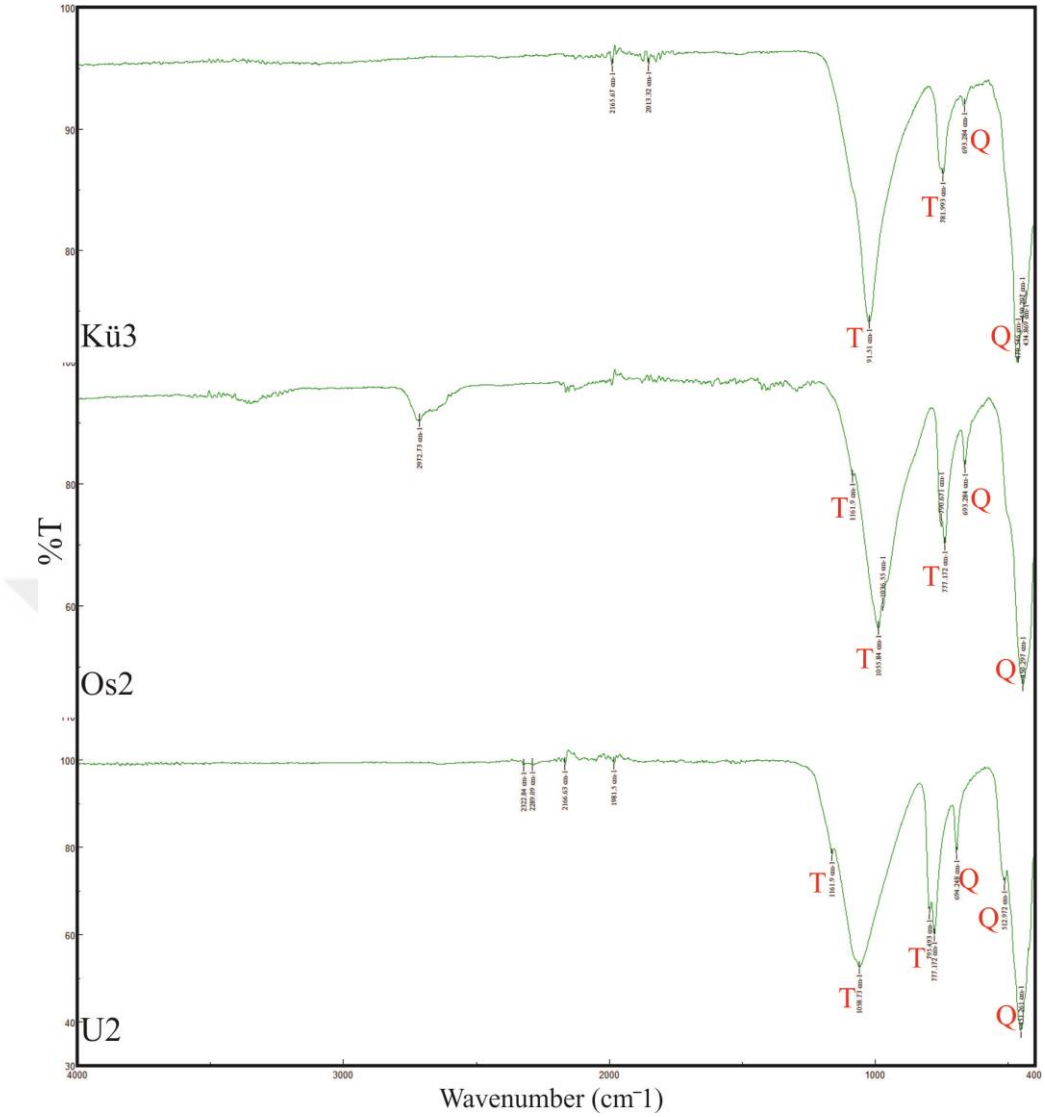
Anadolu Bölgesinden (Şekil 4.59) elde edilen veriler benzer olup, silis polimorflarından kuvars ve tridimitin varlığını göstermektedir.

Tablo 4.3: Silisleşmiş ağaç örnekleri FT-IR analizlerinde elde edilen %T değerleri ile ait oldukları silis polimorfları.

		IR Spektrum Değerleri (cm $^{-}$1)	
	Örnek No	Tridimit	Kuvars
Trakya	K14	1163,83 1070,3 796,45 778,13	693,28 520,68
	M9	1159,01 1076,08 1060,66 795,49 777,17	693,28 516,82 452,22
	Y4	1159,01 1078,98 796,45 778,13	693,28 517,79 452,04
	S4-2	1161,9 1054,87 793,56 777,17	693,28 448,36
	G3	1060,66 783,922	451,26
Batı Anadolu	Kü3	1091,51 781,99	693,28 470,54 450,29 434,86
	Os2	1161,9 1055,84 1036,55 790,67 777,17	693,284 450,29
	U2	1161,9 1058,73 795,49 777,17	694,24 512,97 451,26



Şekil 4.58: Trakya Bölgesi silisleşmiş ağaç örneklerine (K14, M9, Y4, S4-2, G3) ait FTIR spektrumları ile elde edilen tridimit (T) ve kuvars (Q) pikleri.



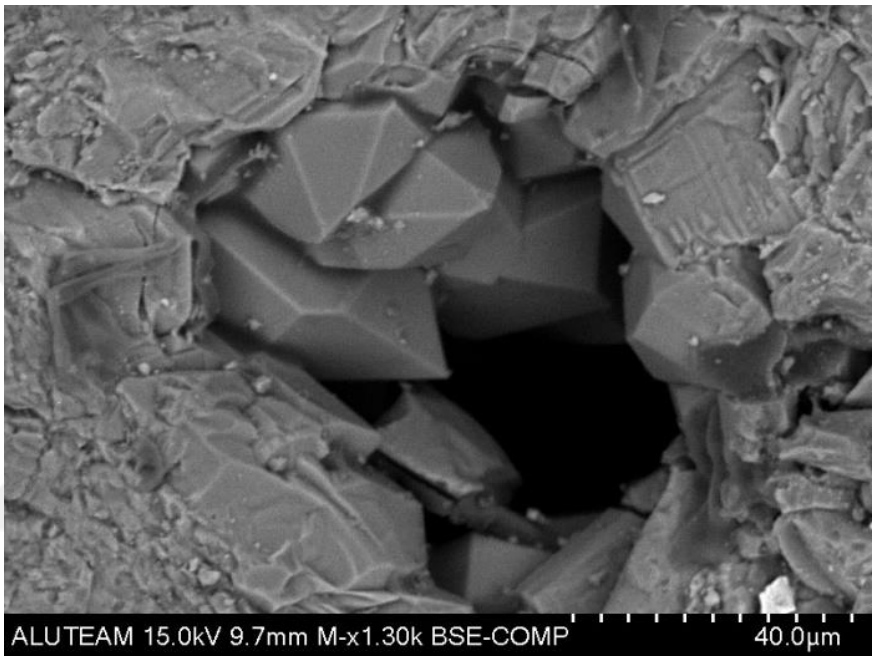
Şekil 4.59: Batı Anadolu Bölgesi silisleşmiş ağaç örneklerine (Kü3, Os2, U2) ait FTIR spektrumları ile elde edilen tridimit (T) ve kuvars (Q) pikleri.

4.3. JEOKİMYASAL BULGULAR

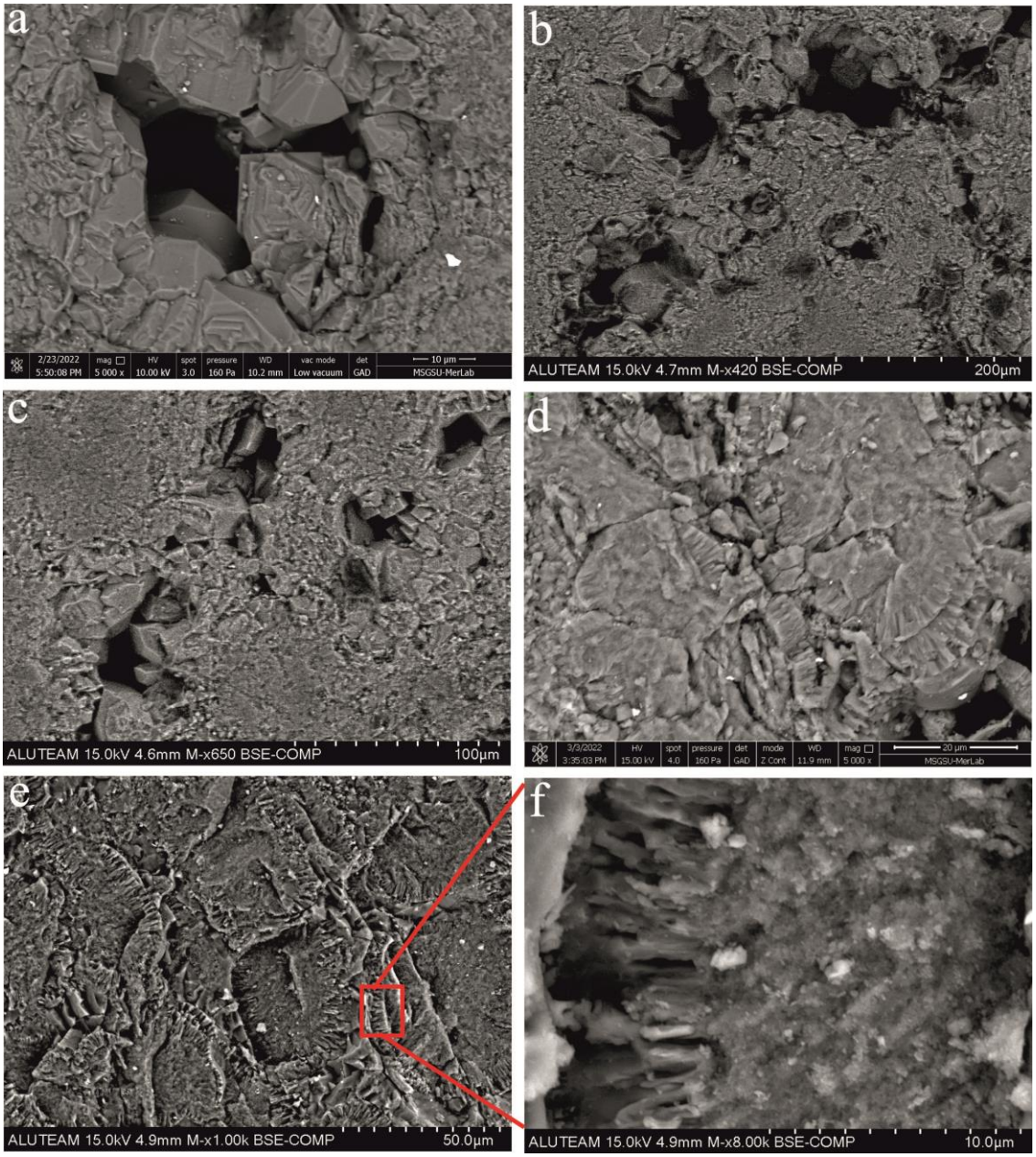
4.3.1. Taramalı Elekton Mikroskobu (SEM) ve Enerji Dispersiv Spektrum (EDS) Analizi

Taramalı elektron mikroskobunda (SEM) elde edilen yüksek büyütmede, silisleşmiş ağacın taşlaşmasına sebep olan silisin polimorfları ile odunun korunmuş olan anatomik yapısı görülebilmektedir. Bu amaçla doktora tez çalışması silisleşmiş ağaç örneklerinde SEM görüntülemeleri ile kimyasal bileşimlerin tespiti için EDS analizleri gerçekleştirilmiştir. Trakya Bölgesinde Keşan (K4, K12, K14), Malkara (M7) ve Batı Anadolu Bölgesinde Tavşanlı (Kü5) ile Osmancalı (Os3) örnekleri üzerinde incelemeler yapılmıştır.

SEM araştırmalarında kullanılan iki ana bölgeye ait örneklerde silisin polimorflarından kuvars (özşekilli kristal ve/veya mikrokristalen), kalsedon, opal-CT ve opal-A tespit edilmiştir. Hekzagonal kristalleri ile rahatlıkla tanınan, az miktarda bulunan iri kuvarslar, hücre lümenlerinde ve çatlaklarda gelişmiştir (Şekil 4.60; 4.61a,b,c). Mikrokristalin kuvarsların kristalizasyonuna ise hücreler arası boşluk gibi daha dar alanlarda ya da dar çaplı lümenlerde saptanmıştır. Işınsal-lifsi yapıdaki kalsedon, SEM görüntülemelerinde sıklıkla hücre çeperlerinde yer almıştır (Şekil 4.61d,e,f).



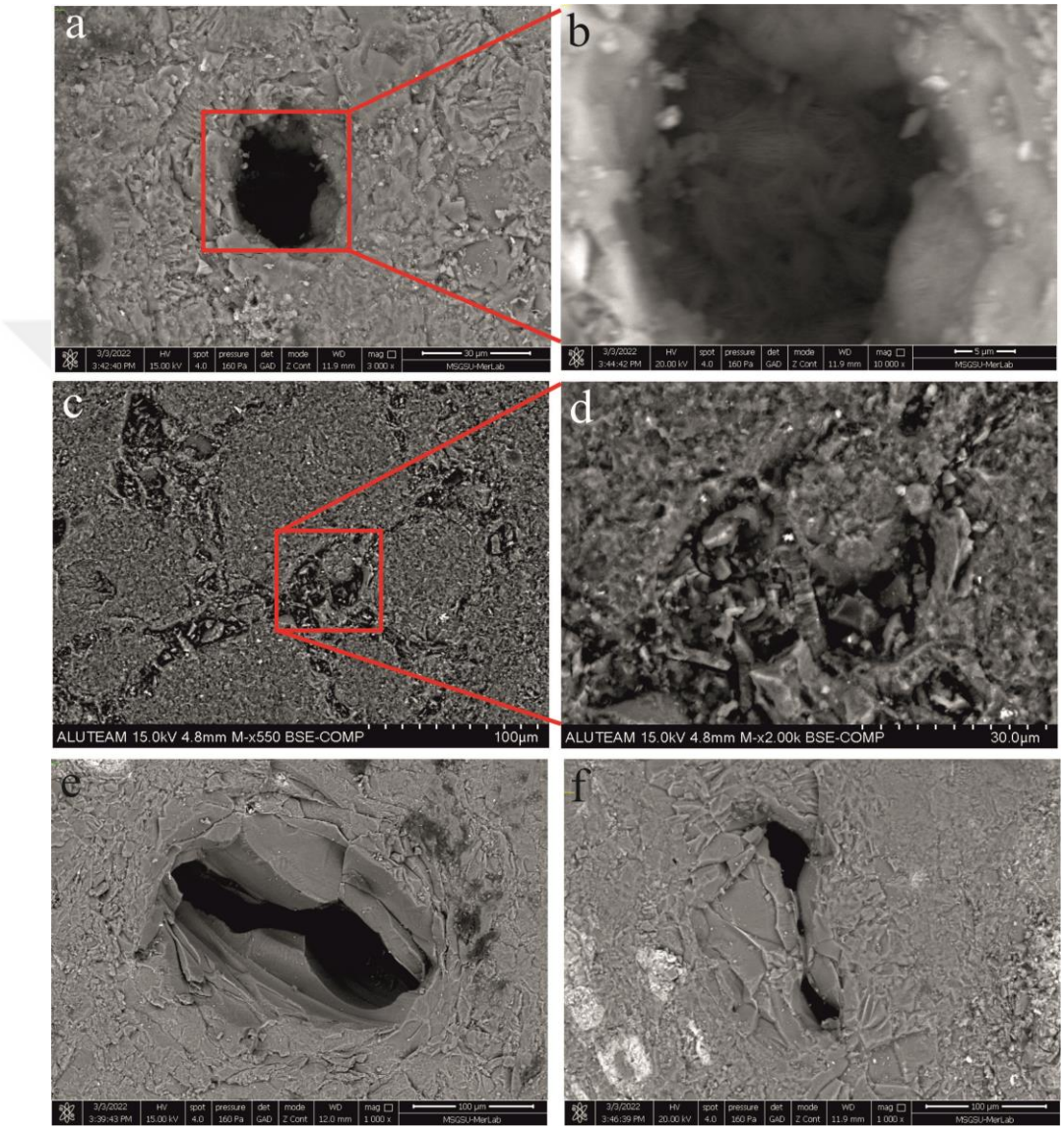
Şekil 4.60: Tavşanlı (Kü5) örneğinde tespit edilen özşekilli kuvars kristallerinin görüntüsü.



Şekil 4.61: a,b,c) Tavşanlı (Kü5) örneğinde lümen içlerinde gelişmiş iri kuvars kristalleri ile mikrokristalen kuvarslar. d) Osmancalı (Os3) silisleşmiş ağaç örneğinde ışınsal şekilde görünen kalsedon, mikrokristalen kuvars ve opal-CT, e) Odun yapısında içleri opal-CT ile dolmuş lümen ve kalsedon içeren hücre çeperi ile f) Büyütülmüş görüntüsü.

Silisin tanımlaması zor olan polimorfu olan opal-CT, kristobalit-tridimit birlikteliğidir ve genel görünümü taneli bir yapıya sahiptir. Silisleşmiş ağaçların yapısında çok yaygın olarak bulunan opal-CT, lümenlerde ve/veya boşluk içlerinde, mineralizasyonun iyi geliştiği örneklerinde uzun kristal eksenli şekilde görülür (Şekil 4.62a,b,c,d). Opal-A ise silisin kristallenmediği amorf olan formudur. Odun dokusunda lümen dolgusu olarak veya sıvalama şeklinde karşılaşılan amorf silis, fiziki yapısı ile SEM görüntülemelerinde tespit edilir.

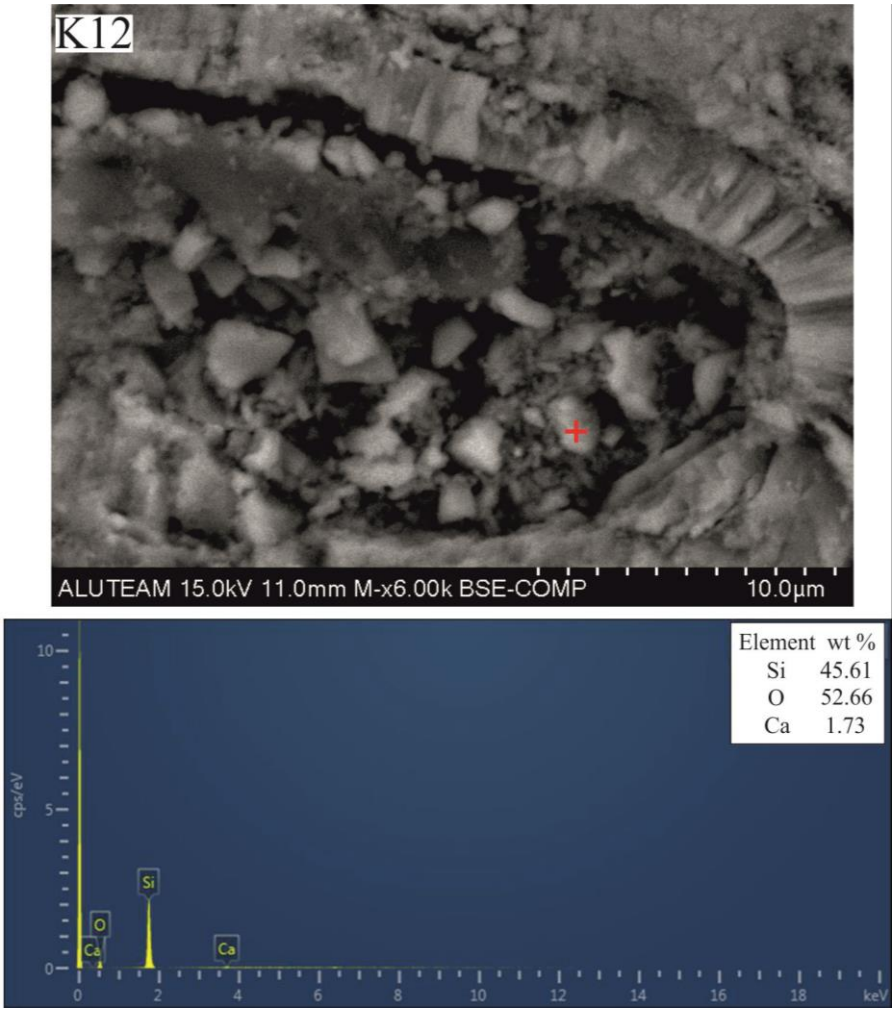
Odun dokusunda bulunan lümenler opal-CT (kristobalit-tridimit) ve/veya opal-A (amorf opal) ile doldurulmuş olarak bulunabildiği gibi, bir kısmı ise içi boş şekilde gözlenmiştir (Şekil 4.62e,f). Hücre çeperlerinde ve hücreler arası boşlukta ise sıklıkla mikrokristalin kuvars ve/veya kalsedon yer almıştır.



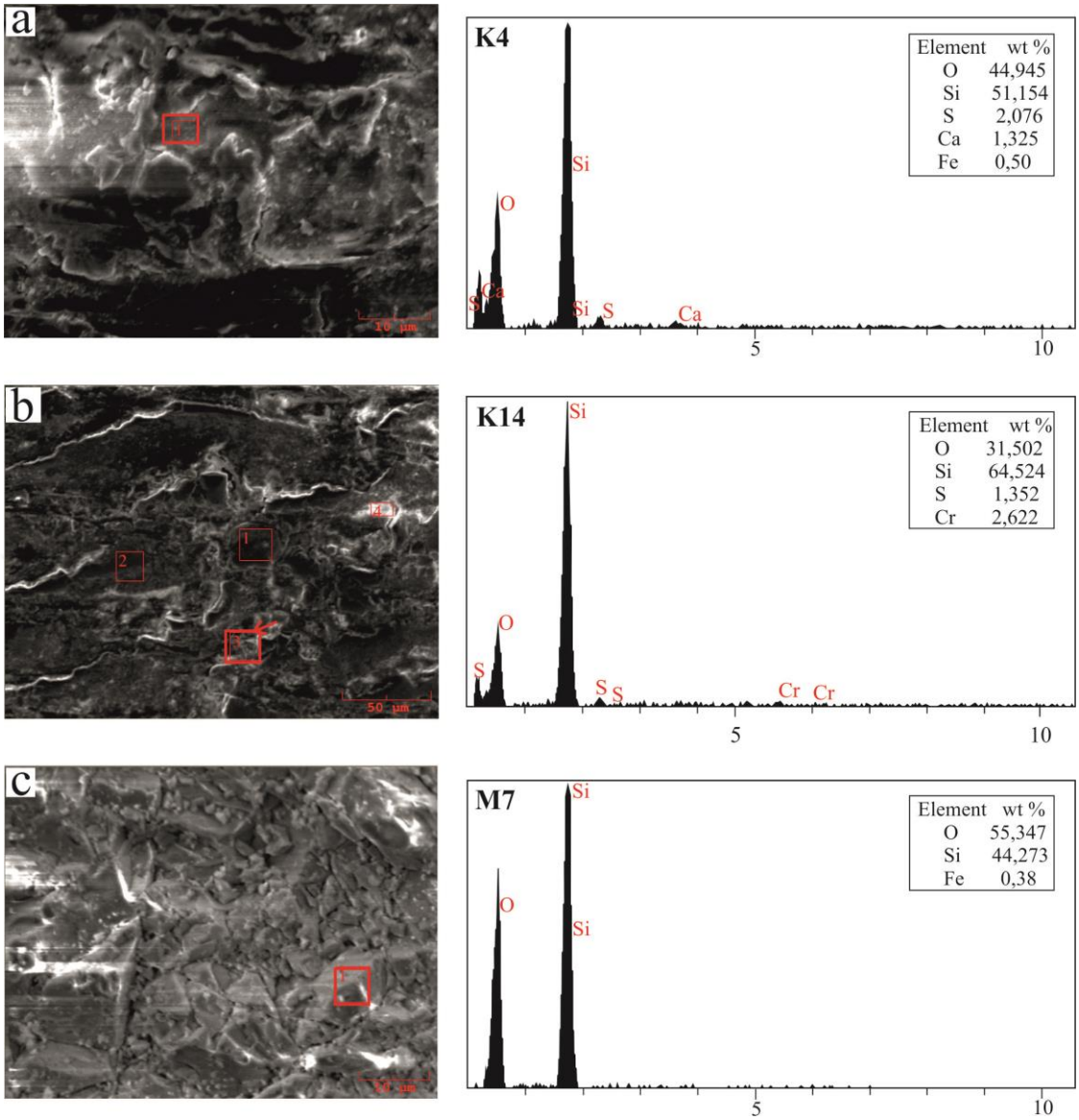
Şekil 4.62: Osmancalı (Os3) örneğinin a) Lümen içerisinde uzun kristaller şeklinde görülen opal-CT ve b) büyütülmüş görüntüsü, c) Lümen içlerinde yer alan opal-CT ve hücreler arası boşlukta gelişmiş mikrokristalen kuvars ile az miktarda kalsedon ve d) Büyütülmüş görüntüsü, e) İçi tam dolmamış, boşluklu lümende yer alan opal-A görüntüsü.

Silisleşmiş ağaç örneklerinde SEM görüntülemelerinin yanı sıra, gerçekleştirilen çok sayıda yarı kantitatif EDS analizler ile jeokimyasal olarak ağaçların içerdikleri elementler ve oranları yaklaşık olarak tespit edilmiştir. Elde edilen verilere göre; Trakya Bölgesi örneklerinin ana elementlerden Si ve O içerdiği, ayrıca; K12 (n7) örneğinin Ca, K4 örneğinin (n19) S, Ca, Fe,

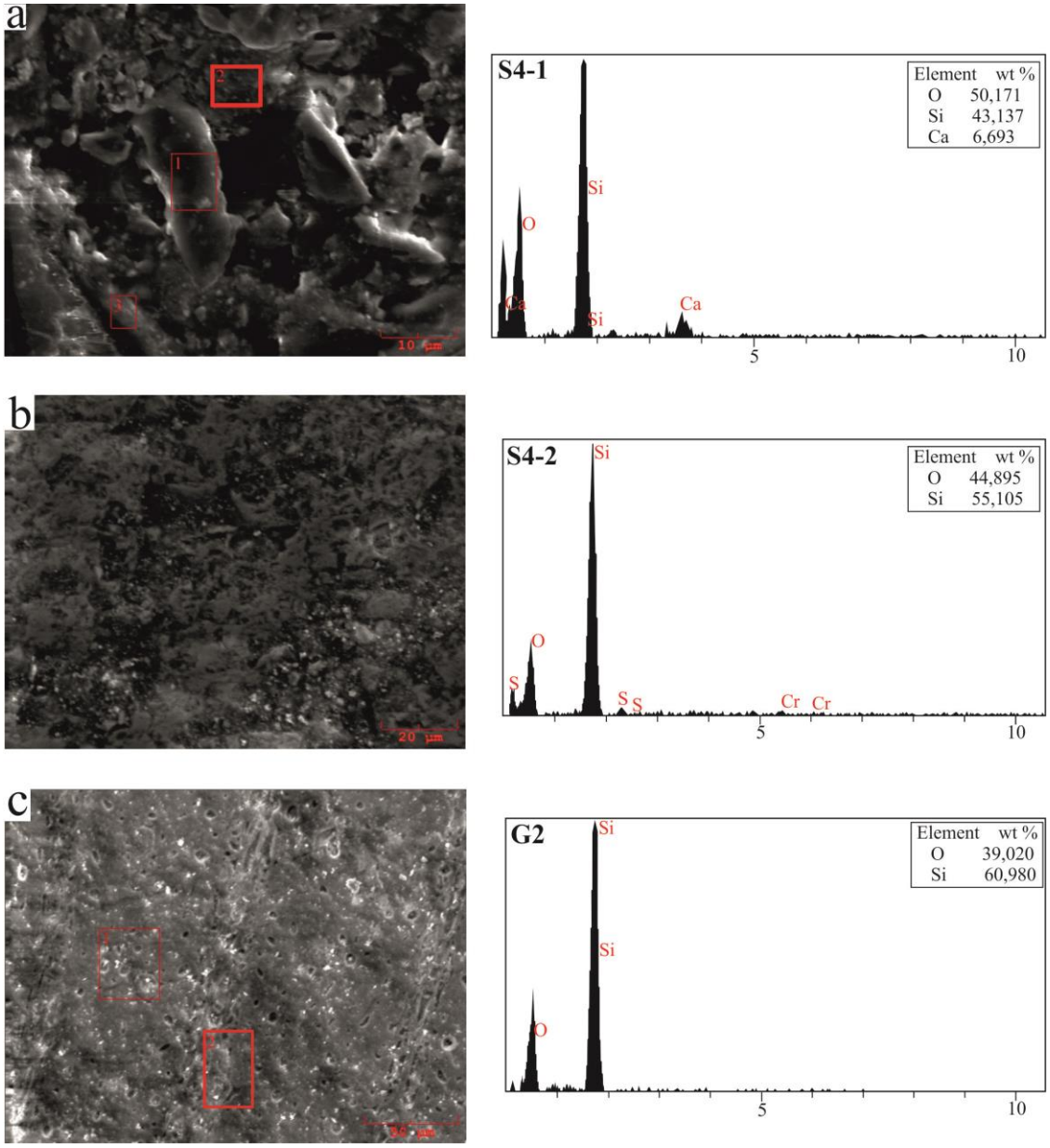
K14 örneğinin S, Cr, Malkara (M7) örneğinin (n2) Fe, Silivri (S4-1)'nin (n3) Ca içerdiği tespit edilmiştir (Şekil 4.63;4.64;4.65). Silivri (S4-2) (n4) ile Beylikdüzü (G2) (n5) örnekleri ise sadece Si ve O bulundurmaktadır (Şekil 4.62;4.63).Batı Anadolu örneklerinden Tavşanlı (Kü5) (n2) ve Osmancalı (Os3) örneklerinde ise sadece Si ve O elementleri saptanmıştır (Şekil 4.66).



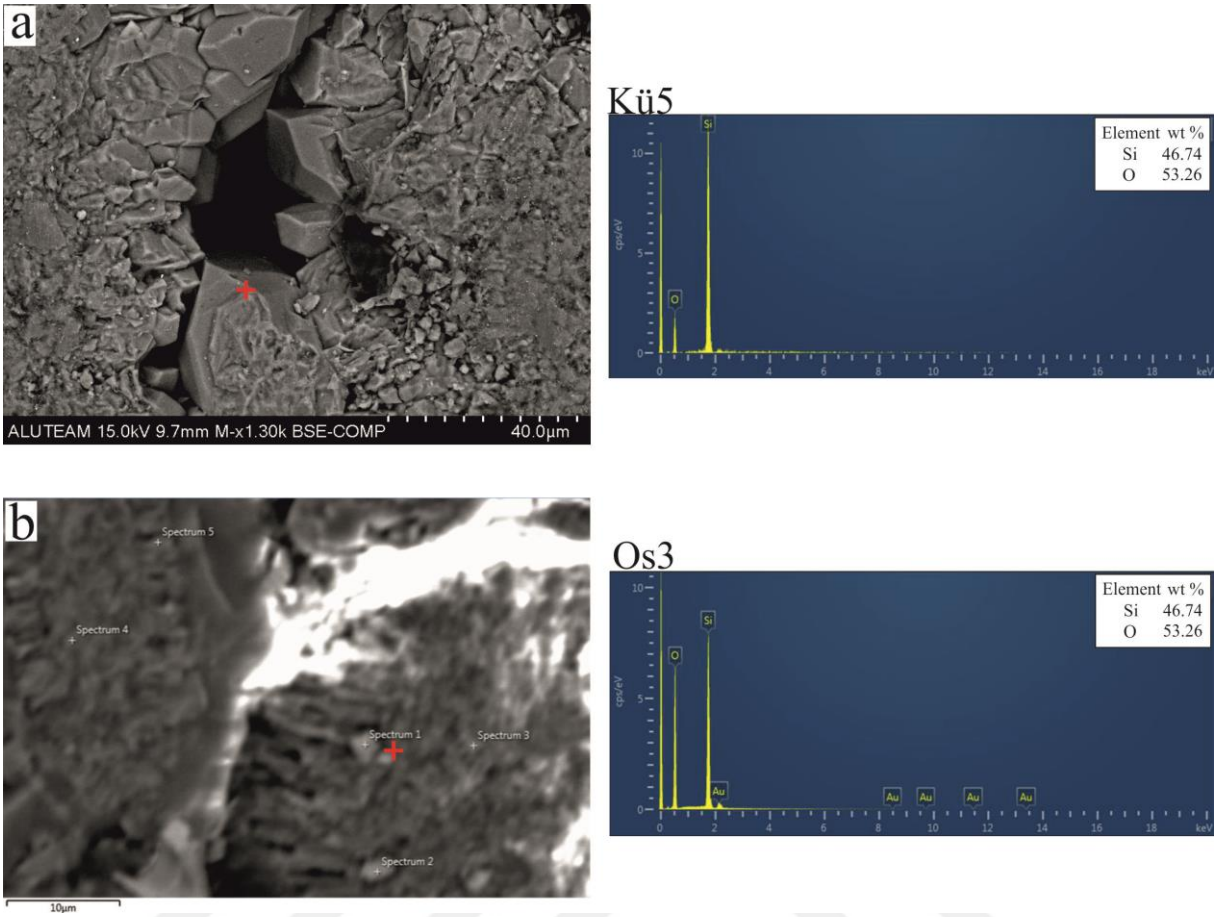
Şekil 4.63: Keşan (K12) örneğinin SEM altında silis polimorflarının (kalsedon ve opal) görüntüsü ile EDS yarı kantitatif analiz sonuçları.



Şekil 4.64: a) Keşan (K4) örneğinin, b) Keşan (K14) örneğinin, c) Malkara (M7) örneğinin SEM altında silis polimorflarının (kalsedon ve opal) görüntüsü ile EDS yarı kantitatif analiz sonuçları.



Şekil 4.65: a) Silivri (S4-1) örneğinin, b)) Silivri (S4-2) örneğinin, c) Beylikdüzü (G2) örneğinin SEM altında silis polimorflarının görüntüsü ile EDS yarı kantitatif analiz sonuçları.



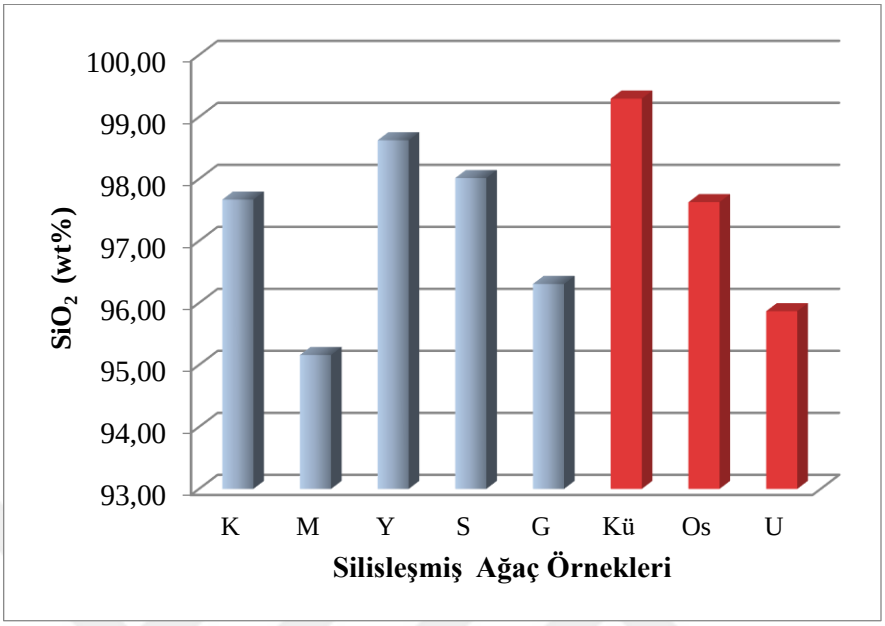
Şekil 4.66: a) Tavşanlı (Kü5), b) Osmancalı (Os3) örneğinin SEM altında silis polimorflarının ve EDS analiz sonuçlarının difraktogram görüntüleri.

4.3.2. Tümkayaç Jeokimyası (LA-ICP-MS ve ICP-OES)

Trakya ve Batı Anadolu bölgelerinden alınan silisleşmiş ağaç örneklerinde, tüm kayaç ana ve iz element kimyasal analizlerinin yanı sıra, ateşte kayıp (LOI), toplam karbon (TC) ve toplam kükürt (TS) değerleri ölçülmüştür. Bu analiz sonuçlarına göre;

Trakya Bölgesi silisleşmiş ağaçları, ana oksitlerden %95,16-98,60 aralığında SiO_2 değerlerine sahiptir (Tablo 4.4; Şekil 4.67). SiO_2 değerinden sonra en fazla bulunan element % 0,20-1,26 oranıyla Fe_2O_3 olup, özellikle renk değişimlerinde önemli rol oynamaktadır (Şekil 4.66). Al_2O_3 değerleri %0,01-0,37 arasında olup, oldukça düşük değerlerdedir (Tablo 4.4; Şekil 4.68). Alkali oranlarından Na_2O değeri %0,02-0,05 ve K_2O değerleri %0,005-0,04 arasında düşük oranlardadır (Tablo 4.4; Şekil 4.68). Trakya Bölgesi örnekleri, karbonatlar bakımından da oldukça fakir olup, CaO ve MgO oranları %0,001 ve %0,14 değerleri arasındadır (Tablo 4.4; Şekil 4.68). Silisleşmiş ağaçlar ana oksitlerden MnO (%0-0,005), TiO_2 (%0,002-0,023) ve P_2O_5 (%0,02-0,07) bakımından da fakirdir ve genellikle çok düşük

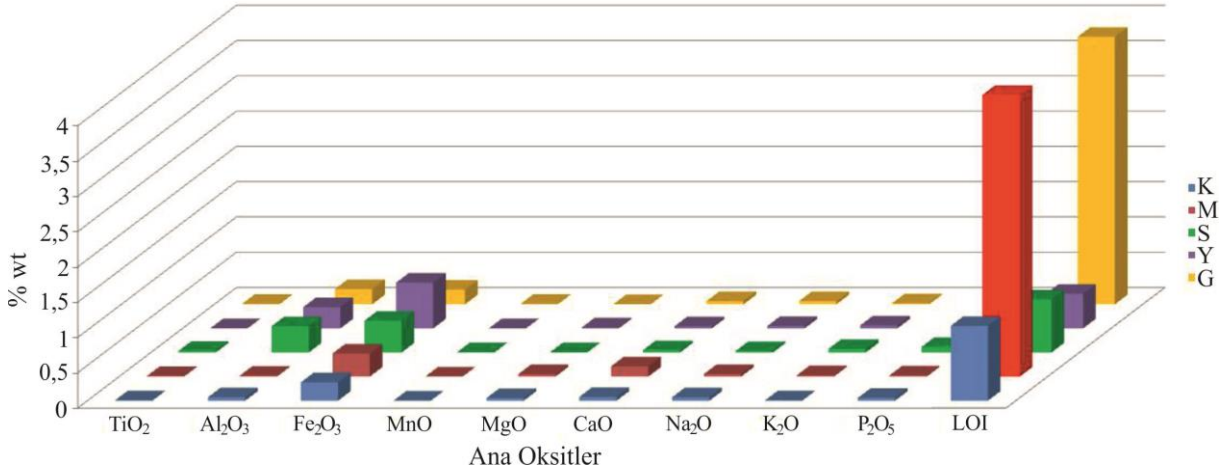
düzeylerde ölçülmüş veya bazı örneklerde yüzde olarak ölçülememiştir (Tablo 4.4; Şekil 4.68).



Şekil 4.67: Trakya (Mavi: Keşan (K), Malkara (M),Yalıköy (Y), Silivri (S), Beylikdüzü (G)) ve Batı Anadolu (Kırmızı: Tavşanlı (Kü), Osmancalı (Os), Banaz (U)) örnekleri SiO_2 değerlerine ait karşılaştırmalı histogram.

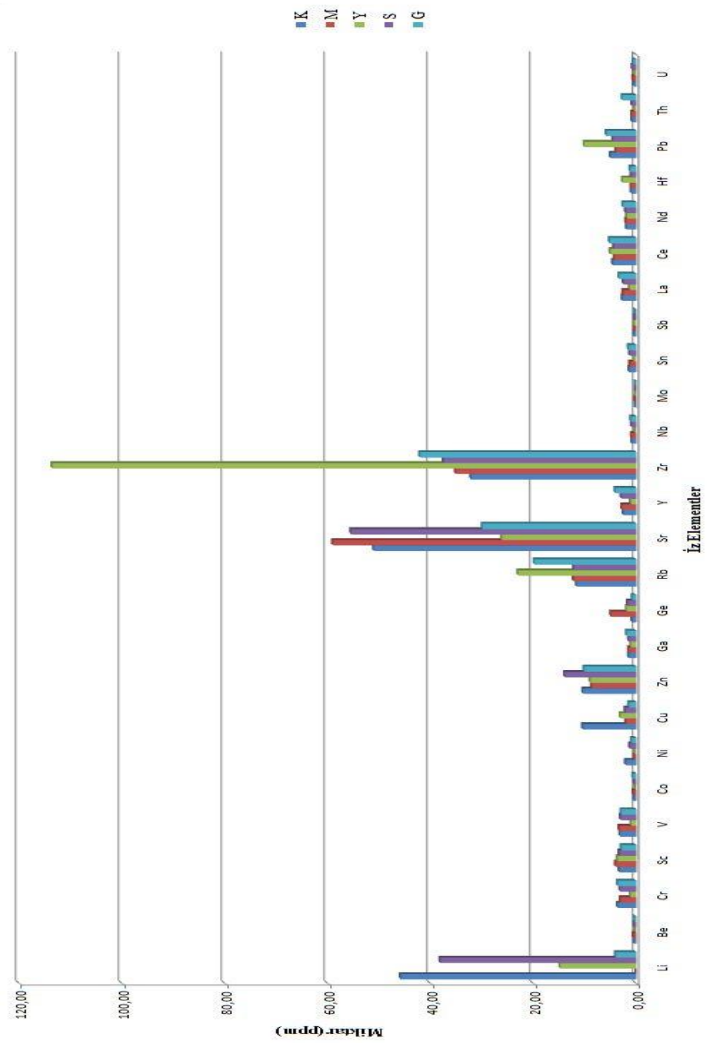
Tablo 4.4: Trakya ve Batı Anadolu Bölgelerine aitsilisleşmiş ağaçlarda bulunan ana oksit değerleri ile 900℃ LOI, TC ve TS ölçüm değerleri

		Keşan	Malkara	Silivri	Yalıköy	Beylikdüzü	Osmancalı	Tavşanlı	Banaz
SiO_2	wt%	97,667	95,160	98,015	98,623	96,306	97,625	99,295	95,867
TiO_2	wt%	0,006	0,008	0,023	0,002	0,006	0,011	0,007	0,008
Al_2O_3	wt%	0,048	0,013	0,371	0,300	0,215	0,045	0,060	0,007
Fe_2O_3	wt%	0,260	0,327	0,448	0,647	0,205	1,259	0,311	0,691
MnO	wt%	0,002	0,002	0,003	0,00	0,005	0,010	0,002	0,004
MgO	wt%	0,038	0,034	0,001	0,012	0,001	0,037	0,024	0,028
CaO	wt%	0,054	0,145	0,030	0,030	0,042	0,049	0,034	0,007
Na_2O	wt%	0,049	0,036	0,020	0,034	0,045	0,063	0,023	0,049
K_2O	wt%	0,005	0,018	0,051	0,042	0,012	0,031	0,048	0,026
P_2O5	wt%	0,040	0,018	0,076	0,026	0,020	0,025	0,129	0,113
LOI	wt%	1,06	3,99	0,75	0,49	3,79	1,05	0,05	3,00
Total	wt%	99,229	99,751	99,788	100,207	100,647	100,206	99,983	99,796
	n	3	2	2	3	2	6	2	2
TC	%	0,22	7,30	0,05	0,29	0,0742	0,22	0,23	0,20
TS	%	4,3666 ppm	0,19	0,00	0,00	0,0204	23,76	0	0,00

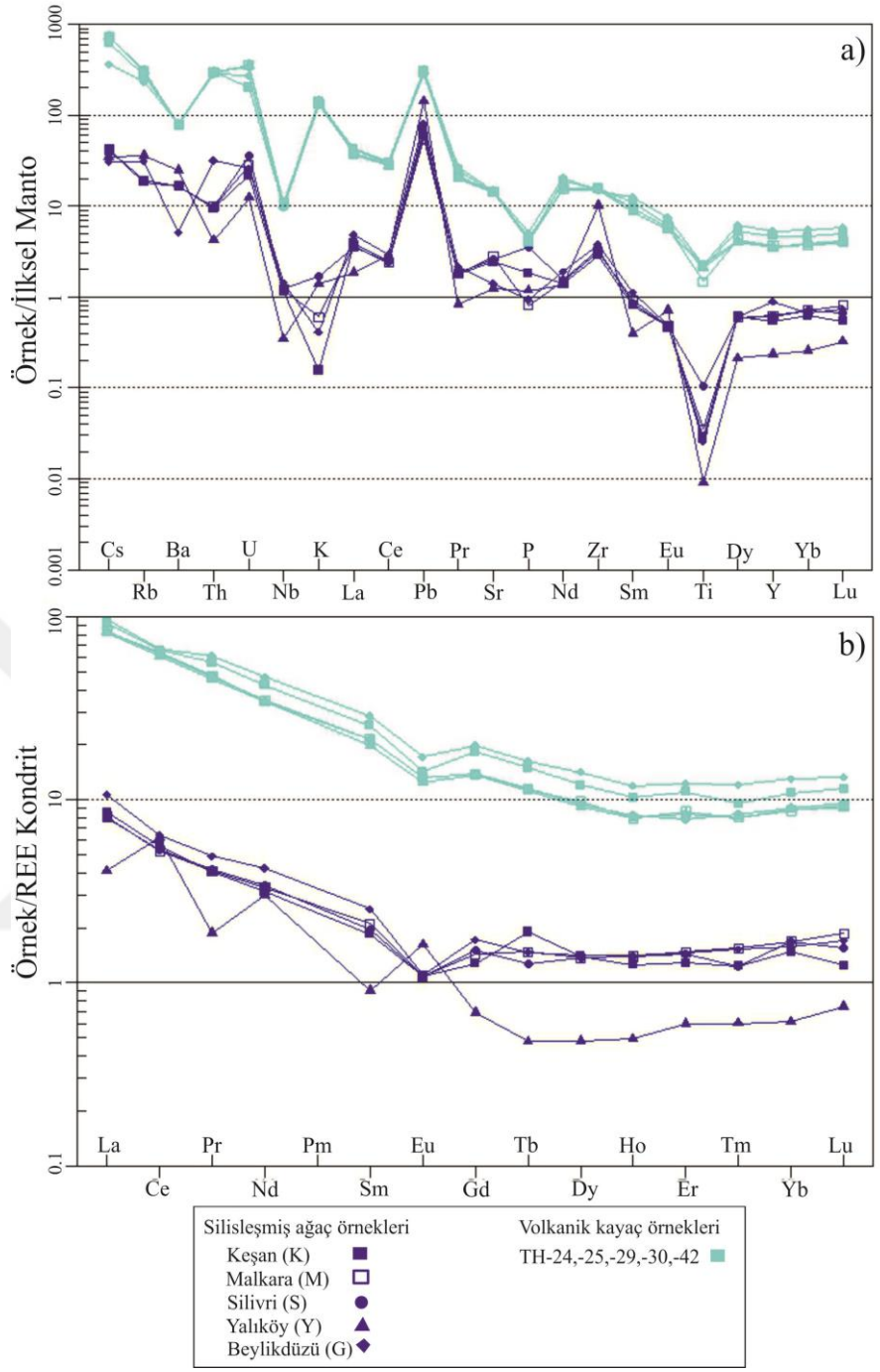


Şekil 4.68: Trakya Bölgesi (Keşan (K), Malkara (M),Yalıköy (Y), Silivri (S), Beylikdüzü (G)) silisleşmiş ağaç örneklerinin ana element oranlarının % ağırlık cinsinden histogramlarının görünümleri.

Trakya Bölgesi silisleşmiş ağaç örneklerinin iz elementlerippm düzeyinde ölçülmüş olup, Ba, Sr, Rb, Zr, Y, Li, As, Zn, Pb, Cr, V ve Cu oldukça yüksek değerlerde, Ga, Be, Sc, U, Th, Ni, Co ve bazı iz elementler de ise eser miktarlar tespit edilmiştir (Tablo 4.5; Şekil 4.69). Trakya Bölgesindeki silisleşmiş ağaçlarda ölçülen iz elementlerin, ilksel mantoya (PRIM) göre normalleşme diyagramında (Sun and McDonough, 1989), benzer şekilde Rb, Ba, Pb, Zr gibi büyük iyon çaplı elementlerce (LIL) zenginleştiği, Nb, P, Ti ve Thca fakirleştiği LIL elementlerden HFS elementlere doğru bir azalma olduğu gözlenmektedir (Şekil 4.70a). Trakya Bölgesi Hisarlıdağ Volkanitlerine ait bazı örneklerin elementer değerleri (Güçtekin, 2017) ile silisleşmiş ağaç örneklerinin paralel trendler sunduğu, ancak silisleşmiş ağaçlara göre volkanik kayaçların oldukça zengin olduğu gözlenmektedir. Özellikle iz element normalleşme diyagramında gözlenen bu durum, silisleşmeye neden olan hidrotermal çözelti kaynağının bölgedeki volkanik aktivite olduğu fikrini desteklemektedir. Benzer şekilde, volkanik kayaç örnekleri ile silisleşmiş ağaç örneklerinin REE (La-Lu)'nin, REE-kondrite (REE-CHONDRITE) göre normalleştirme diyagramında (Boynton, 1984) La-Sm a kadar hafif nadir toprak elementlerince nispeten zenginleşme gözlenirken, Eu-Lu arasındaki orta-ağır nadir toprak elementlerince (MREE-HREE) kondrite benzer değerler sunduğu gözlenmektedir (Şekil 4.70b). Her iki kayaç grubunda gözlenen paralel trendler ağaçların silisleşme mekanizmasında aynı kaynağı işaret etmektedir.



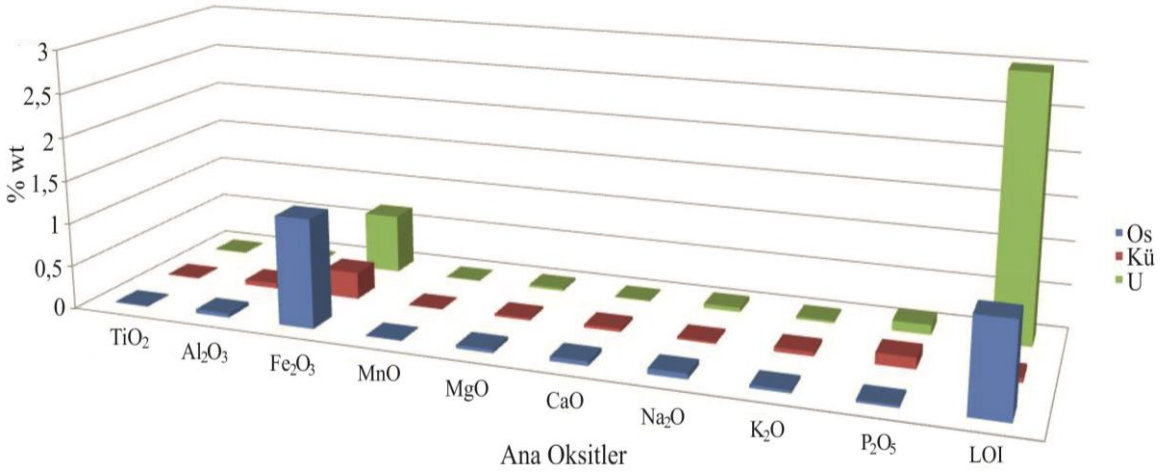
Şekil 4.69: Trakya Bölgesi (Keşan (K), Malkara (M),Yalıköy (Y), Silivri (S), Beylikdüzü (G)) silisleşmiş ağaç örneklerine ait bazı iz element değerlerinin ppm cinsinden histogramda görünümleri.



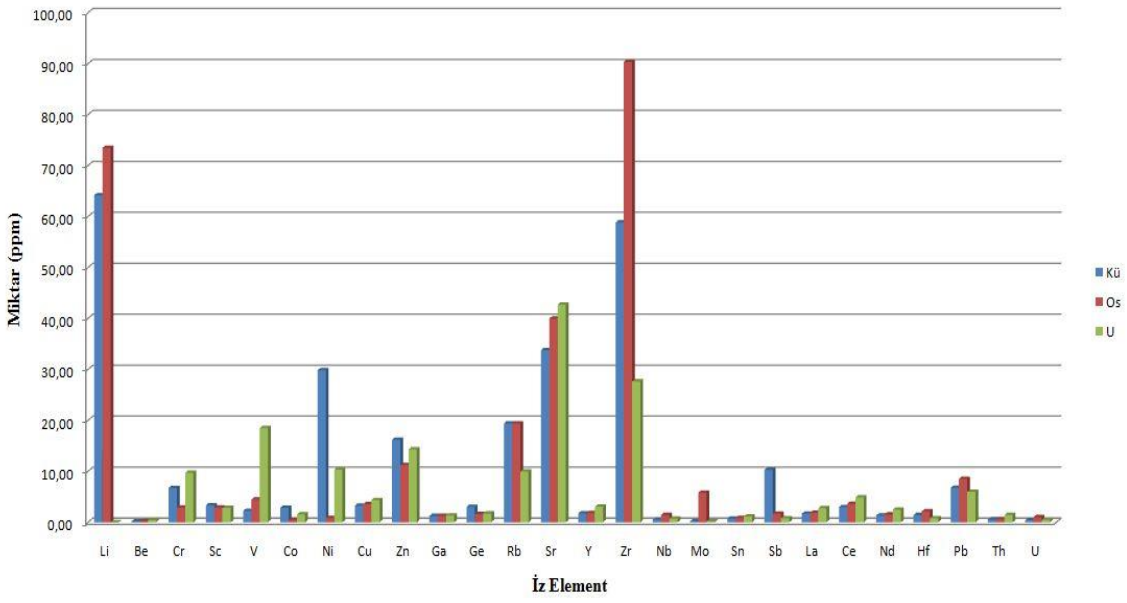
Şekil 4.70: Trakya Bölgesi silisleşmiş ağaç örneklerinin ve Hisarlıdağ Volkanitlerinden alınan bazı örmeklerin (Güçtekin, 2017) a) Örnek/PRIM-İz element (Sun and McDonough, 1989) diyagramında, b) Örnek/CHON-REE normalleştirme diyagramındaki (Boynton, 1984) görünümleri.

Batı Anadolu Bölgesi silisleşmiş ağaç örneklerinin ana oksit değerlerinin SiO_2 ile karşılaştırma diyagramları, Trakya Bölgesindeki örneklere benzerlik sunmaktadır (Tablo 4.4; Şekil 4.67; 4.71). Banaz ve Osmancalı bölgesindeki silisleşmiş ağaçların Fe_2O_3 oranları, Trakya Bölgesi örneklerine göre nispeten yüksek oluşu, bu örneklerin renk farklılıkları nedeniyle olduğunu düşündürmektedir (Tablo 4.4). Bu renk farklılıkları bazı iz elementlerin

de yüksek olmasına işaret etmektedir. Bu iz elementler Ni, Cr, V gibi elementlerdir. Batı Anadolu bölgesi silisleşmiş ağaç örnekleri, genel olarak Si_2O 'e karşı iz element diyagramlarında artan silis oranına göre değişimleri belli bir aralıkta olmakta ve Trakya bölgesi örneklerine benzerlik sunmaktadır (Tablo 4.4; 4.5; Şekil 4.72). Bununla beraber, lokal bazı farklılıklar göstermektedir. Örneğin Batı Anadolu örneklerinde, Li, Zr, Rb, Sr, As, Zn, Pb element değerleri Trakya bölgesindeki örneklere göre daha yüksek iken, Cr, Cu, Ga, Ga, Be, Sc, U, Th, Ni, Co değerleri benzer oranlarda gözlenmektedir (Tablo 4.4; 4.5; Şekil 4.72). Özellikle Li, V, As değerleri açısından bakıldığında Batı Anadolu örnekleri As bakımından daha zengin iken, Trakya bölgesi örnekleri ise P bakımından daha yüksektir (Tablo 4.4; 4.5).



Şekil 4.71: Batı Anadolu Bölgesi (Osmancalı (Os), Tavşanlı (Kü), Banaz (U)) silisleşmiş ağaç örnekleri ana elementlerinin oksit cinsinden değerlerinin % ağırlık olarak histogramda görünümleri.

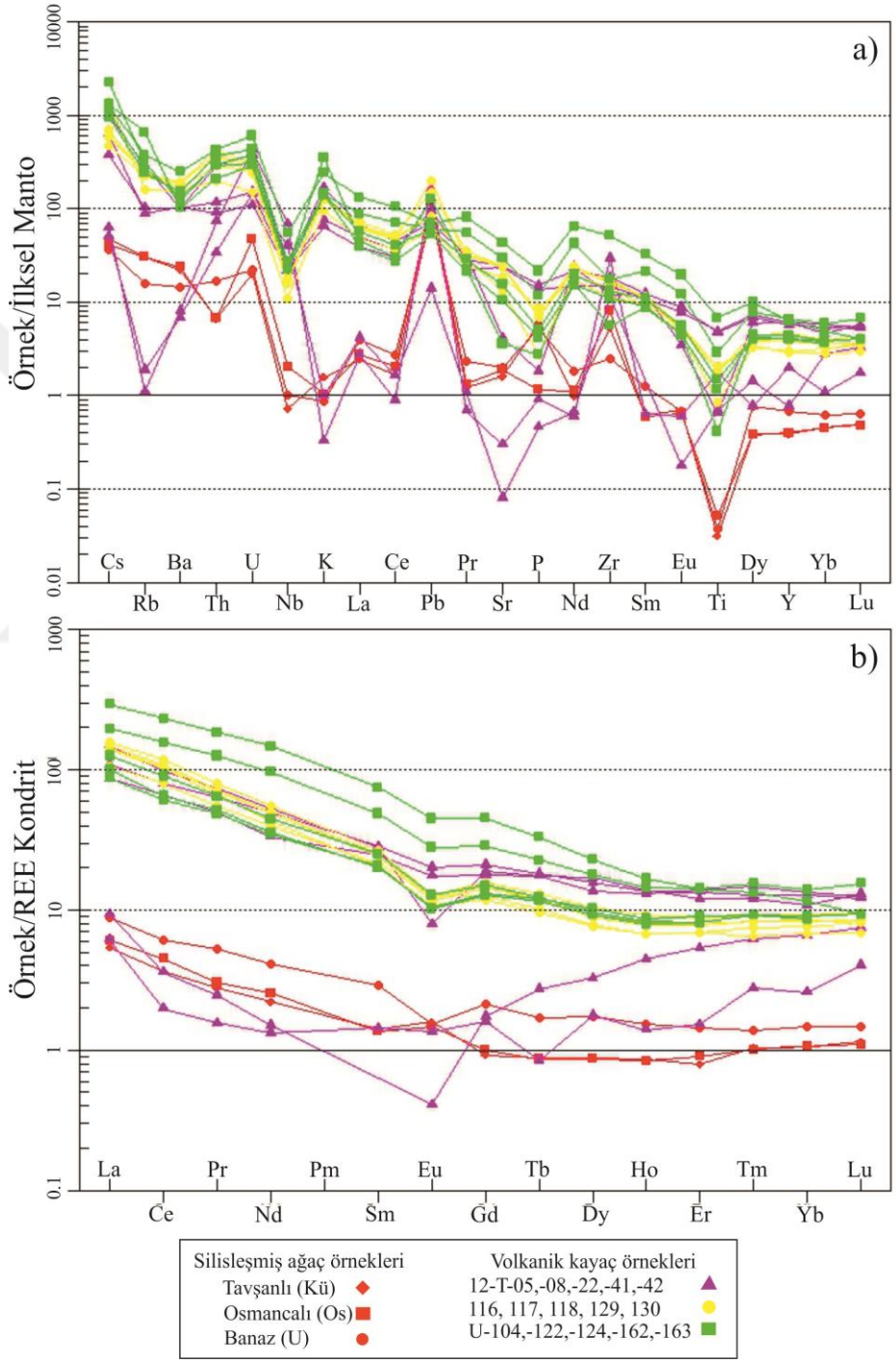


Şekil 4.72: Batı Anadolu Bölgesi (Osmancalı (Os), Tavşanlı (Kü), Banaz (U)) silisleşmiş ağaç örneklerine ait bazı iz element değerlerinin ppm cinsinden histogramda görünümleri.

Tablo 4.5: Trakya ve Batı Anadolu Bölgelerindeki silisleşmiş ağaç örneklerinin ortalama iz element değerleri (ppm cinsinden verilmiştir).

	K	M	Y	S	G	Kü	Os	U
Li	45,80	0,00	14,78	38,09	3,97	64,17	73,49	0,00
Be	0,40	0,51	0,16	0,42	0,33	0,18	0,23	0,42
Sc	3,30	3,98	3,64	3,30	2,86	3,33	2,90	2,86
V	3,11	3,28	0,96	3,03	2,91	2,22	4,47	18,47
Cr	3,59	3,04	1,09	3,10	3,58	6,72	2,90	9,71
Co	0,44	0,52	0,17	0,40	0,62	2,85	0,48	1,54
Ni	2,03	0,40	0,28	1,25	0,86	29,83	0,83	10,34
Cu	10,37	1,96	3,05	2,12	1,42	3,26	3,54	4,35
Zn	10,32	8,63	8,92	13,88	10,10	16,20	11,24	14,32
Ga	1,43	1,44	1,03	1,43	1,85	1,23	1,26	1,31
Ge	0,79	4,87	1,86	1,66	0,73	3,01	1,60	1,71
As	2,57	1,74	813,82	1,86	1,48	695,62	505,56	13,95
Rb	11,59	12,19	22,93	12,10	19,80	19,39	19,39	9,94
Sr	51,04	59,02	26,14	55,44	29,92	33,77	39,98	42,71
Y	2,47	2,78	1,07	2,86	4,05	1,76	1,80	3,06
Zr	32,11	35,09	113,59	37,46	42,04	58,83	90,35	27,64
Nb	0,83	0,86	0,25	0,88	1,02	0,52	1,46	0,72
Mo	0,13	0,17	0,09	0,11	0,10	0,21	5,80	0,19
Sn	1,37	1,21	0,47	1,25	1,49	0,73	0,82	1,14
Sb	0,42	0,33	0,44	0,31	0,17	10,30	1,69	0,79
Cs	0,33	0,33	0,27	0,33	0,24	0,38	0,33	0,29
Ba	114,68	116,52	173,46	115,37	35,66	155,26	167,79	100,07
La	2,66	2,51	1,27	2,46	3,31	1,68	1,87	2,75
Ce	4,53	4,23	5,03	4,34	5,16	2,97	3,63	4,87
Pr	0,49	0,50	0,23	0,51	0,60	0,34	0,37	0,65
Nd	1,88	1,99	1,82	2,05	2,54	1,32	1,53	2,47
Sm	0,36	0,41	0,18	0,38	0,49	0,28	0,26	0,56
Eu	0,08	0,08	0,12	0,08	0,08	0,12	0,11	0,11
Gd	0,33	0,37	0,18	0,39	0,45	0,24	0,26	0,55
Tb	0,09	0,07	0,02	0,06	0,07	0,04	0,04	0,08
Dy	0,45	0,44	0,15	0,44	0,45	0,28	0,28	0,56
Ho	0,09	0,10	0,04	0,10	0,10	0,06	0,06	0,11
Er	0,27	0,31	0,13	0,30	0,31	0,17	0,19	0,30
Tm	0,04	0,05	0,02	0,04	0,05	0,03	0,03	0,04
Yb	0,31	0,35	0,13	0,35	0,33	0,22	0,22	0,31
Lu	0,04	0,06	0,02	0,05	0,05	0,04	0,04	0,05
Hf	0,92	0,95	2,62	0,96	1,15	1,41	2,16	0,76
Ta	0,10	0,10	0,03	0,10	0,08	0,05	0,07	0,12
W	0,31	0,85	0,12	0,24	0,27	0,24	0,24	0,32
Tl	0,03	0,03	0,09	0,03	0,05	0,08	0,08	0,03
Pb	5,00	3,93	10,07	4,49	5,78	6,75	8,53	5,97
Bi	0,06	0,07	0,02	0,06	0,01	0,03	0,05	0,13
Th	0,80	0,84	0,36	0,83	2,69	0,57	0,57	1,44
U	0,46	0,59	0,26	0,76	0,55	0,42	0,99	0,46

Batı Anadolu silisleşmiş ağaç örneklerinin iz elementlerinin ilksel mantoya (PRIM) göre normalleşme diyagramında (SunandMcDonough, 1989; Şekil 4.73a), Trakya bölgesindeki silisleşmiş ağaçların iz elementleri ile benzemekte ve REE açısından da, Örnek/Chondrite - REE normalleştirme diyagramında benzer davranışlar sergilemektedir (Boynton, 1984; Şekil 4.73b).



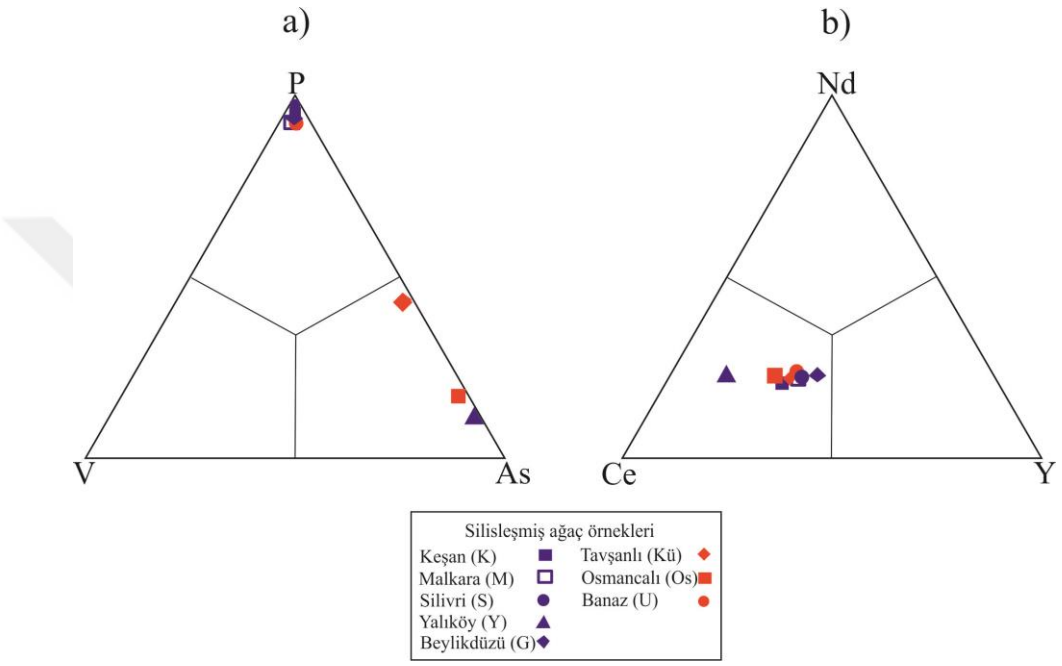
Şekil 4.73: Batı Anadolu Bölgesi silisleşmiş ağaç örnekleri ile volkanik kayaç örneklerinin (▲: Ersoy and Helvacı, 2016; ●Ersoy ve diğ., 2012;■:Karaoğlu, 2012) a) Örnek/PRIM-İz element diyagramında (Sun and McDonough, 1989) b)Örnek/CHONDRITE-REE normalleştirme diyagramında (Boynton, 1984) görünümleri.

Batı Anadolu'da Tersiyer - Neojen Volkanizması pek çok petrolojist tarafından çalışılmış olup, çok evreli volkanizmanın volkanik-volkanosedimanter ürünleri, bölgelere göre çok farklı isimler verilerek tanımlanmıştır. Bu çalışmaların bazılarından elde edilen verilere göre; Tavşanlı (Kütahya) bölgesinde volkanik kayaçlardaki iz elementlere bakıldığında Ni ve Cr içeriğinin, özellikle yüksek MgO içeren bazaltlarda yüksek olduğu (52,7– 68,7 ppm), evrimleşmiş bazaltlarda ise düşük (8,7 ppm) olduğu gözlenmektedir (Ersoy and Helvacı, 2016). Tavşanlı (Kütahya) bölgesindeki silisleşmiş ağaçlarda da benzer şekilde Ni ve Cr içerikeri nispeten yüksektir (29,83-6,72 ppm). Osmancalı (Manisa) civarındaki Yuntdağı volkanitlerinde Ni ve Zr (0,4-74,8; 87,2-221,4 ppm) değerleri yüksek bulunmuştur ve benzer durum Cr içerikleri için de geçerlidir (Ersoy ve diğ., 2012). Osmancalı'da bulunan tüfler içindeki silisleşmiş ağaçlarda da Ni (0,83 ppm), Cr (2,90 ppm) ve Zr (90,35 ppm) değerleri nispeten yüksektir. Banaz (Uşak) civarında ise, Karacahisar volkanitleri içerisinde Ni ve Cr açısından en yüksek değerleri (269,0 ve 513,0 ppm) içermektedir (Karaoğlu et al., 2010).

Tüm bunların yanısıra, silisleşmiş ağaç örneklerinde nispeten üksek olan As, Pb ve V değerleri, Trakya bölgesi örneklerine ait üçgen diyagramda As ve V'ye göre Pb'ce nispeten daha zengin olduğu gözlenmektedir (Şekil 4.74). Tavşanlı ve Osmancalı bölgesindeki silisleşmiş ağaçlarda çok yüksek As değerleri (695,6-505,6 ppm) tespit edilmiştir. Banaz civarında ise As vardır (14 ppm) fakat diğer iki bölgeye göre daha düşüktür (Şekil 4.74). Batı Anadolu'nun jeolojisinde tektonik aktivitenin de çok yaygın olduğu düşünnüldüğünde, özellikle As zenginliği tektonik hatlar boyunca hidrotermal akışkanların bu elemetleri taşımasıyla zenginleşme oluşabileceğini göstermektedir (Kuşcu, 1995).

Silisleşmişe ağaçlarda As, Y, Ce, P, V gibi iz elementlerin yüksek oluşu, silisleşmenin tamamlandığı, depolanmadan sonraki diyajenez evresinde silisleşmiş ağacın odun dolusu içerisinde oluşabilecek As'ce zengin ksenotim (Y içeren), wakefieldite (Ce ve Y içeren) gibi ikincil minerallerin varlığını (Matysová et al., 2016) düşündürmektedir. Çekya'da Krkonoše Piedmont Baseni (KPB)'ne ait örnekler üzerinde LA-ICP-MS ve Mikroprop analiz (EPMA) yöntemiyle yapılan bir çalışmada tanımlanan bu minerallerin oluşumu, diyajenezin gerçekleşmesi esnasında V ve REE 'nin göçü ile oluşabileceği ileri sürülmüştür (Matysová et al., 2016). Bu minerallerin gelişimi, ağaç dokusunda herhangi bir etki yaratmamaktadır. Trakya ve Batı Anadolu bölgesi ağaçlarında mikroskobik olarak bu mineraller tespit edilmemiş, ancak bu elementlerin nispeten yüksek oluşu ile, jeokimyasal olarak değerlendirilmesi gerekliliği ortaya çıkmıştır. Bu amaçla hazırlanan P-V-As ile Nd-Ce-Y

üçgen diyagramlar değerlendirildiğinde, Batı Anadolu örneklerinde P-V-As üçgeninde As'ce zenginliği, Trakya örneklerinde P'ce zenginliği gözlenmiştir (Şekil 4.74a). Nd-Ce-Y diyagramında ise her iki bölgeye ait örneklerin Ce'ce zengin wakefieldite alanına düştüğü tespit edilmiştir (Şekil 4.74b). Jeokimyasal olarak tanımlanan bu minerallerin var olup olmadığı, elektron mikprop analiz (EPMA) gibi yöntemlerle daha detaylı çalışılarak ortaya konmalıdır.

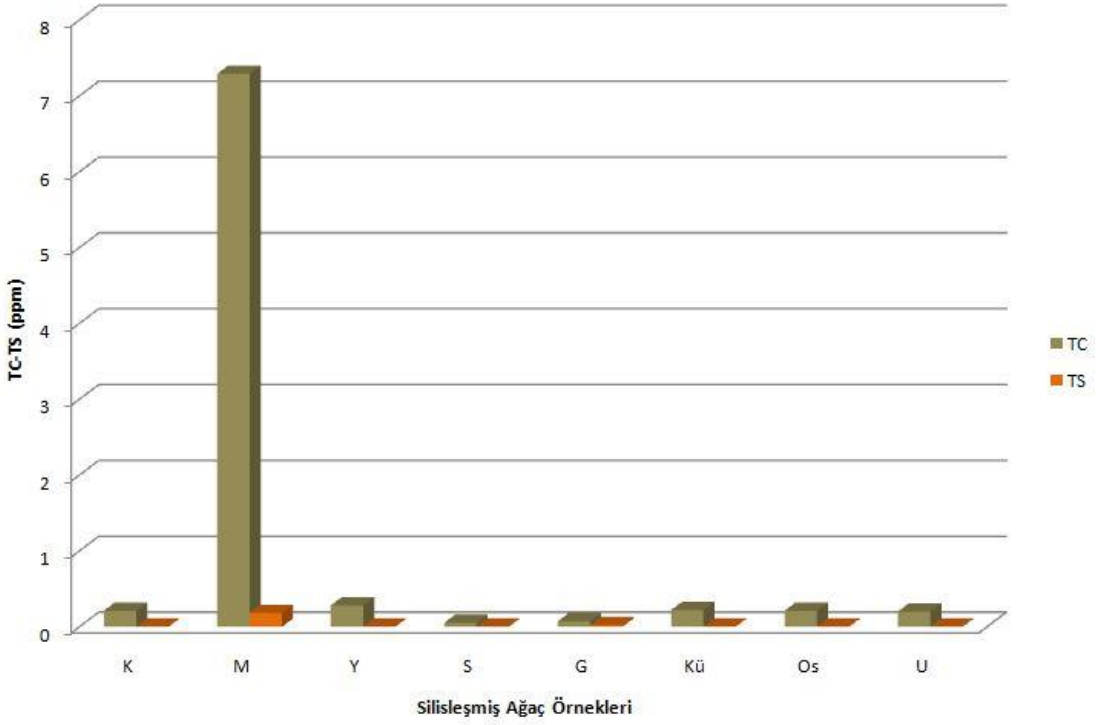


Şekil 4.74: Trakya Bölgesi (mavi) ve Batı Anadolu bölgesi (kırmızı) sislisleşmiş ağaç örneklerinin a) P-V-As, b) Nd-Ce-Y üçgen diyagramlarındaki görünümleri.

Trakya Bölgesinden alınan silisleşmiş ağaç örneklerinde toplam karbon (TC) değerleri ortalama %0,074 ile 0,29 arasında değişmekle birlikte, Malkara civarındaki örnekte %7,4 civarında çıkmıştır (Tablo 4.6; Şekil 4.75). Bu örnek, bölgede var olan ve işletilmekte olan kömür ocaklarında, kömür oluşumuna paralel olarak kısmen kömürleşmiş, kısmen de silisifikasyona uğramış örnekte tespit edilmiştir. Toplam kükürt (TS) değerleri ise, çok düşük olup % 0,02-0,19 civarındadır (Tablo 4.6). **Batı Anadolu'dan** alınan silisleşmiş ağaç örneklerinde ise TC değerleri ortalama % 0,20-0,23 arasında değişmektedir (Tablo 4.6). TS değerleri ise, Tavşanlı (Kütahya) ve Banaz (Uşak)'dan alınan örneklerde kükürt ölçülemezken, Osmancalı (Manisa) örneğinde ise yaklaşık 24ppm olarak saptanmıştır (Tablo 4.6; Şekil 4.75).

Tablo 4.6: Trakya ve Batı Anadolu bölgelesi örneklerine ait TC ve TS değerleri.

Örnek	n	Ölçüm		Ölçüm	
		TC (%)	**TS** (%)	**TC** (%)	**TS** (%)
Keşan	3	0,2085	0	0,2526	13,1 ppm
		0,1836	0		
Malkara	2	7,3389	0,1947	7,2596	0,1778
Yalıköy	3	0,1386	0	0,4257	0
		0,3014	0		
Silivri	2	0,0430	0	0,0604	0
Beylikdüzü	2	0,0979	0,0203	0,0506	0,0206
Tavşanlı	2	0,1461	0	0,3130	0
Osmancalı	6	0,2283	0	0,3360	0,0119
		0,1773	0,0162	0,1662	33,2 ppm
		0,2220	9,6 ppm	0,1824	49,2 ppm
Banaz	2	0,1753	0	0,2257	0



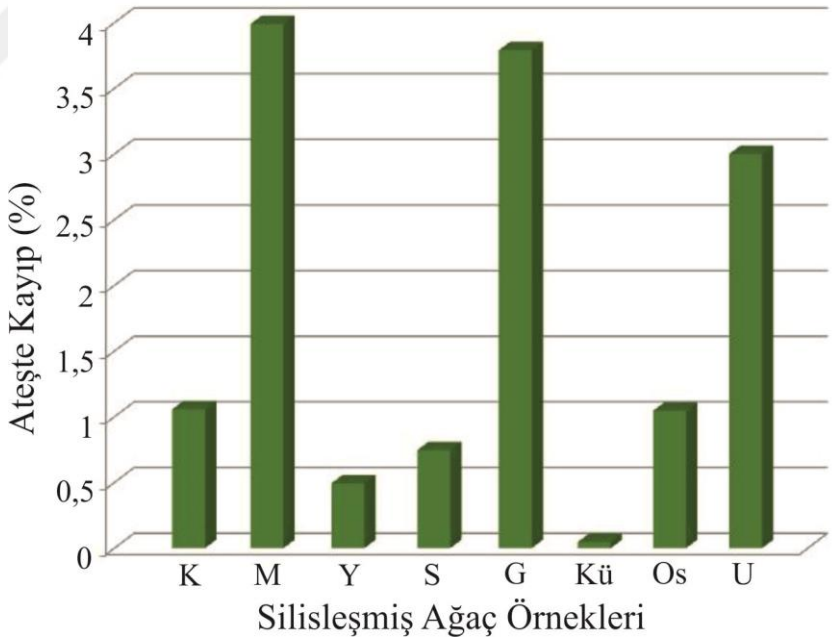
Şekil 4.75: Trakya Bölgesi (Keşan (K), Malkara (M),Yalıköy (Y), Silivri (S), Beylikdüzü (G)) ve Batı Anadolu (Tavşanlı (Kü), Osmancalı (Os), Banaz (U)) silisleşmiş ağaç örneklerinin toplam karbon (TC) ve toplam kükürt (TS) oranlarının ppm cinsinden histogramlarının görünümleri.

Silisleşmiş ağaçların ateşte kayıp (Loss on Ignatıon; LOI) değerleri, bunların mineralojik bileşimi hakkında bilgi verebilir. Trakya bölgesinde toplam altı (6) adet örnekten Beylikdüzü (G4) ve Malkara (M7) örnekleri %3,79-3,99 ile oldukça yüksek LOI değerine sahiptir (Tablo 4.7; Şekil 4.76). Beylikdüzü (G4) ağacı, tamamen opalleşmiş, Malkara örneği ise kısmen opalleşmiş-kısmen kömürleşmiş bir özellik göstermektedir. Silivri (S4-2) ve Yalıköy (Y4)'den alınan silisleşmiş ağaç örneklerinde LOI sırasıyla, %0,75 ve %0,49 olarak

saptanmıştır (Tablo 4.7; Şekil 4.76). Bu örneklerde silis polimorflarınnın daha kristalin yapıda, opal-CT, kalsedon ve kuvars bileşiminde olduğu gözlenmektedir. Keşan bölgesinden iki adet örnekte (K12, K4) gerçekleştirilen ateşte kayıp analizinde, az miktarda silisleşmiş ve daha fazla oranda *kömürleşmiş ağaçta* %7,75, *silisleşmiş ağaçta* %1,06 LOI değerleri elde edilmiştir (Tablo 4.7; Şekil 4.76). Bu sonuçlar ile silisleşmiş ve kömürleşmiş ağaçların içerdikleri silisin oransal farkı, LOI analizi ile de kanıtlanmıştır. Batı Anadolu bölgesinin silisleşmiş ağaçlarında ateşte kayıp, özellikle opalleşmenin yoğun olduğu Banaz (U3) örneğinde %3, kısmen opalleşme ve mikrokristalin yapıdaki Osmancalı (Os2) örneğinde %1.05 ve Tavşanlı (Kü6) örneğinde ise çok düşük olup, %0.05 ölçülmüştür (Tablo 4.7; Şekil 4.76).

Tablo 4.7: Trakya ve Batı Anadolu Bölgelesi örneklerine ait LOI değerleri.

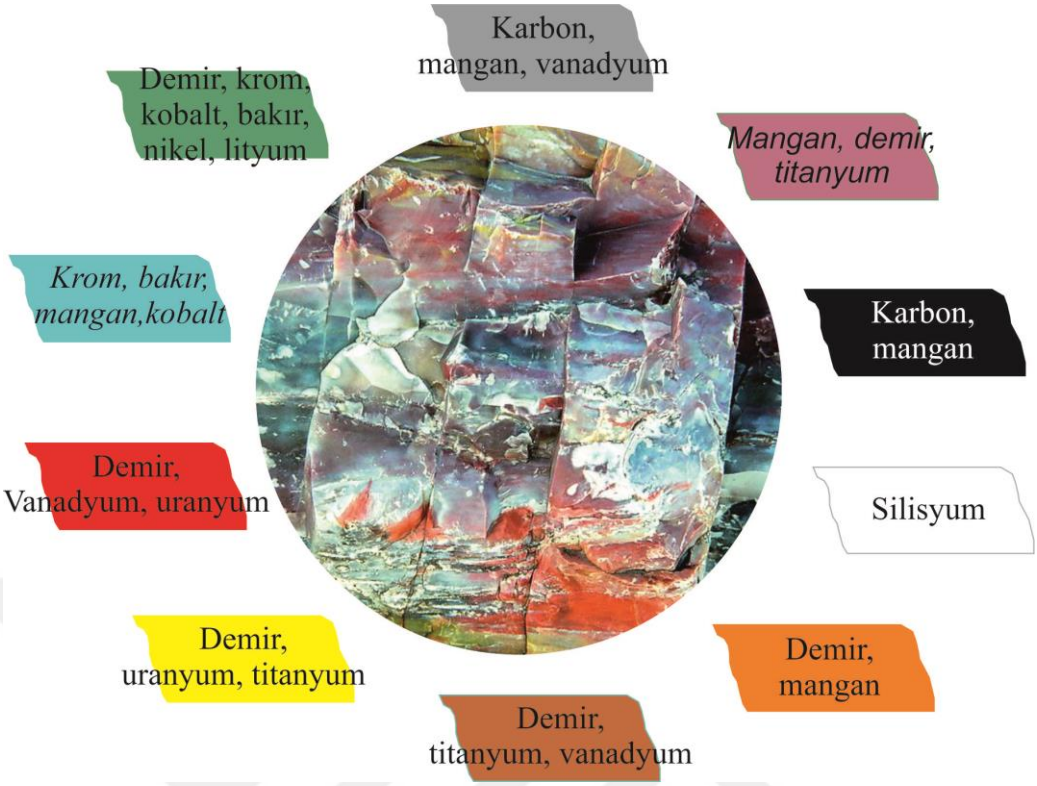
Örnek	K4	K12	M7	Y4	S4-2	G4	Kü6	Os2	U3
LOI %	7,75	1,06	3,99	0,49	0,75	3,79	0,05	1,05	3,00



Şekil 4.76: Trakya (Keşan (K), Malkara (M), Yalıköy (Y), Silivri (S), Beylikdüzü (G)) ve Batı Anadolu (Tavşanlı (Kü), Osmancalı (Os), Banaz (U)) bölgeleri silisleşmiş ağaç örneklerine ait ateşte kayıp analiz değerlerini gösteren histogram.

Silisleşmiş ağaçlarda renklerin kökeni, bunların ana ve iz element açısından jeokimyasal bileşimlerinin bir yansımasıdır. Trakya ve Batı Anadolu Bölgelerinden alınan silisleşmiş ağaç örnekleri içerisinde renk açısından en zengin olanları başta Tavşanlı (Kütahya) ve Beylikdüzü (İstanbul), Banaz (Uşak) ve sonrasında nispeten renk geçişlerine sahip Osmancalı (Manisa) ağaçlarıdır. Keşan, Malkara, Silivri ve Yalıköy örneklerinde ise egemen olarak gri, kahverengi ve siyah renkleri gözlenmektedir.

Silisleşmiş ağaçların bileşimindeki silis polimorfları genellikle renksiz olarak oluşmakta ve ağaçta beyaz bir görüntü sunmaktadır (Şekil 4.77). Fakat içerdikleri organik madde oranı ile asıl katkıyı veren ana ve iz element içerikleri renk konusunda önemli rol oynamaktadır (Şekil 4.77). Söz konusu elementlerin içinde en yaygın ve önemli olanı demirdir (Fe). Ağaç içersindeki bolluk oranı ve oksidasyon durumuna göre başta kızıl-kahve tonlarının doygunluğu olmak üzere, diğer bazı elementlerle birleşerek gökkuşağının renklerini oluşturabilir. Tez çalışması örnekleri içersinde kızıl-kahve, siyahımsı kızıl, koyu bordo ve siyah renk geçişlerinin en belirgin gözlendiği Banaz (U) ağaçlarında Fe_2O_3 değeri %0,691 olarak saptanmıştır. Ayrıca, diğer örneklere göre Banaz'da saptanan oldukça yüksek V değerinin de (18,47 ppm) bu renk tonlarına katkısı olduğu düşünülmektedir. En düşük Fe_2O_3değeri olan %0,205 renk açısından homojen açık gri, mavimsi gri, gir tonlarına sahip Beylikdüzü (G) örneğinde tespit edilmiştir. Mavi rengin oluşumunda önemli bir yere sahip olan MnO, Beylikdüzü örneği içinde çok az değerde de olsa (%0,005) saptanmış, 3,58 ppm Cr varlığı da belirlenmiştir. Opalleşmiş bu odunlarda ölçülen yüksek değerlerdeki Al_2O_3 (%0,215), La (3,31 ppm) ve Th (2,69 ppm) elementleri varlığının da, farklı renklere sahip olmalarında etken olduğu düşünülmektedir. Silisleşmiş ağaçlarda demirden sonra sık rastlanan ikinci önemli element kromdur (Cr). Silisleşmiş ağaçlar için baskın olan Cr (Tablo 4.5), canlı yeşil rengin görüldüğü Tavşanlı örneklerinde 6,72 ppm değerinde tespit edilmiştir. Bu örneklerdeki Fe_2O_3 (%0,311), Li (64,17 ppm), Co (2,85 ppm), Ni (29,83 ppm) değerlerinin de, yeşil rengin farklı tonlarda oluşmasının nedenleri olabileceği şeklinde yorumlanmıştır.



Şekil 4.77: Silisleşmiş ağaçlarda renklenmeyi sağlayan elementler (Mustoe and Acosta, 2016'dan derlenmiştir).

4.4. PALEOBOTANİK BULGULAR

Cupressaceae GRAY 1821

***Glyptostroboxylon rudolphii* DOLEZYCH&VAN DER BURGH 2004**

Şekil 4.78

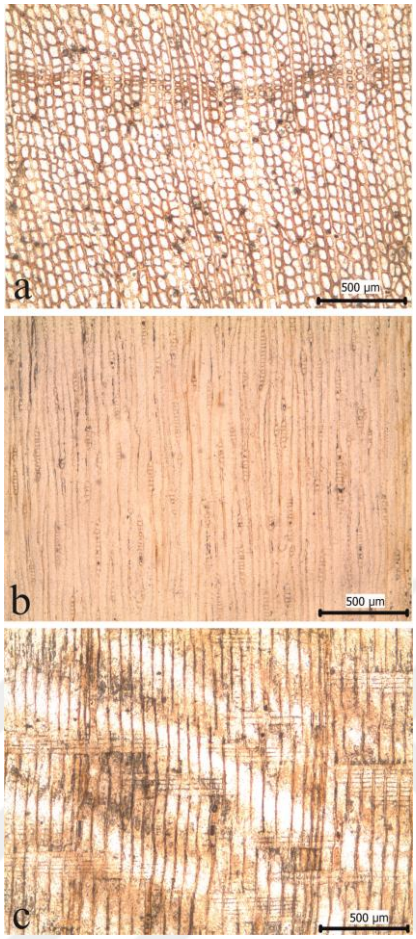
Materyal: K4, K5, K10, K14, K15, K16

Lokasyon: Keşan (K)

Mikroskobik Tanımlama: *Enine kesit:* 2-4 sıra halinde dizilmiş traheidli yıllık halka sınırı belirgindir, fakat ilkbahar odunundan yaza geçiş belirgin değildir. Traheidler dörtgen, poligonal, bazıları dairesel şekilde, odun parankima hücreleri dağınık olarak dizilmiştir.

*Teğet kesit:*3-8 hücre yüksekliği olan özışınları tek sıralıdır. Öz ışınları veodun parankima hücrelerinin enine çeperleri ince ve düzdür.

Radyal kesit: Özışınları homoselüler ve karşılaşma yeri geçitleri taxodiod ve glyptostroboid tiptedir. Traheidlerin radyal çeperlerindeki kenarlı geçitler 1-2 sıralı ve krasül oluşumu belirgindir.



Şekil 4.78: K5 örneğinin a) Enine b) Teğet, c) Radyal kesit görünümleri.

Cupressaceae GRAY 1821

***Taxodioxylon gypsaceum* (GÖPPERT) KRÄUSEL 1949**

(Syn:*Sequoioxylon gypsaceum* (GÖPPERT) GREGUSS 1967)

Şekil 4.79

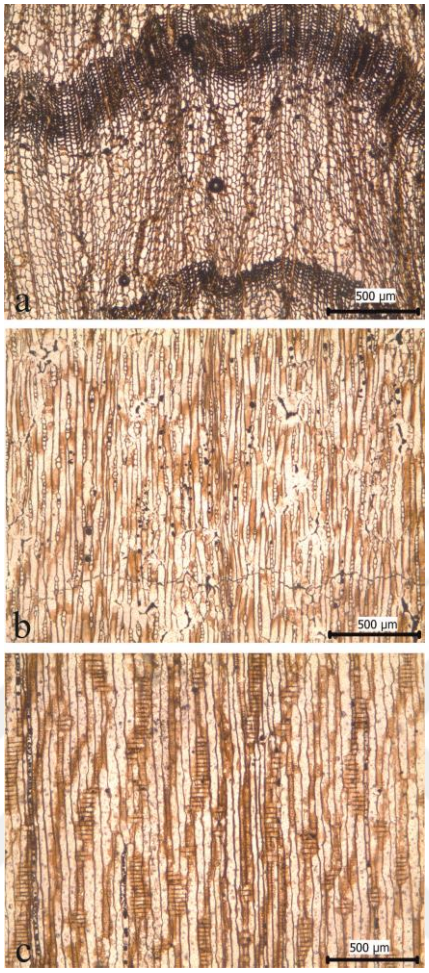
Materyal: K12, M7

Lokasyon: Keşan (K), Malkara (M)

Mikroskobik Tanımlama: *Enine kesit:* Yıllık halka sınırı belirgin ve ilkbahar odunundan yaza geçiş ani ya da yavaştır. Reçine kanalı yoktur. Traheidler köşeli ya da hafif yuvarlak, odun parankima hücreleri dağınık dizilmiştir ve reçine kanalı yoktur.

Teğet kesit: Tek sıralı özışınlarınınyüksekliğiçoğunlukla 4-15 hücredir. Odun parankima hücrelerinin kesitleri düz ya da dişlidir. Krasül oluşumu belirgindir.

Radyal kesit: Homoseslüler özışınlarının yatay çeperinde geçit yoktur. Taodioid tipte olan karşılaşma yer geçitleri 2-4 adettir.



Şekil 4.79: M7 örneğinin a) Enine b) Teğet, c) Radyal kesit görünümleri.

Ginkgoaceae ENGLER 1897

cf. *Ginkgoxylon lesboense* SÜSS 2003

Şekil 4.80

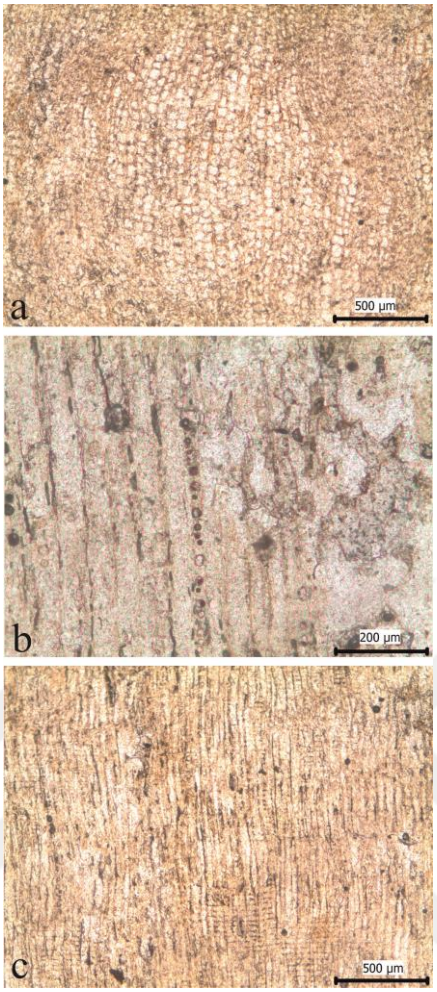
Materyal: K17

Lokasyon: Keşan (K)

Mikroskobik Tanımlama: *Enine kesit:* Yıllık halka sınırı belirsiz yada az belirgindir. Traheidler düzensiz çaplardadır, reçine kanalı yoktur.

Teğet kesit: Özışınları seyrek, düzensiz çaplı ve tek sıralıdır. Odun parankima hücreleri boğumlu bir yapıdadır, traheidlerinde spiral kalınlaşma benzeri yapılar görülebilir.

Radyal kesit: Traheidlerdeki geçitler tek ya da iki sıralıdır. Özışınları homojendir ve cupressoid tipte karşılaşma yeri geçitleri vardır.



Şekil 4.80: K17 örneğinin a) Enine b) Teğet, c) Radyal kesit görünümleri.

Fagaceae DUMORTIER 1829

cf. *Quercoxylon caucasicum* (GAJVORONSKIJ) MÄDEL-ANGELIEWA 1968

Şekil 4.81

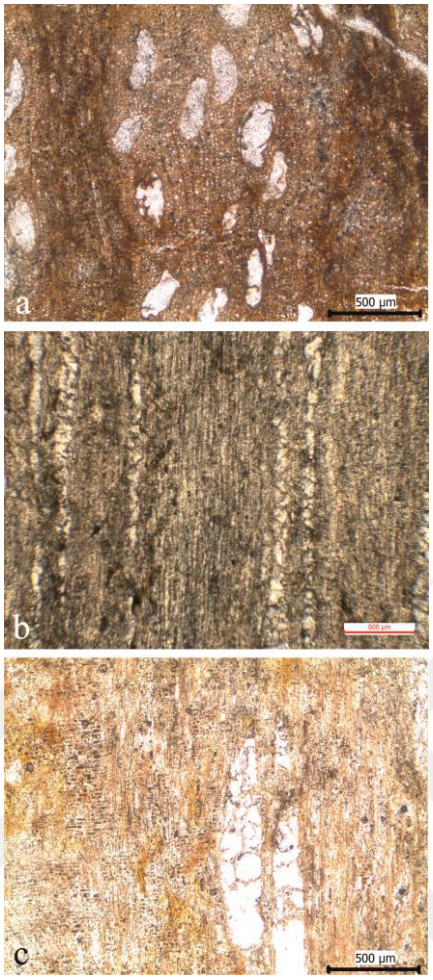
Materyal: K11, K13

Lokasyon: Keşan (K)

Mikroskobik Tanımlama: *Enine kesit:* Yıllık halka sınırı belirgin değildir. Dağınık traheleri radyal yönde dizilmişlerdir. İlkbahardan yaz odununageçişler belirgin değildir.

Teğet kesit: Özışınları 1-2 ya da çok sıralı ve boyları 1 mm'den daha fazladır.

Radyal kesit: Homoselüler özışınları yatık hücreler halindedir; bazıları ise karemsidir. Perforasyon tablası basit tiptedir.



Şekil 4.81: K11 örneğinin a) Enine b) Teğet, c) Radyal kesit görünümleri.

Juglandaceae A.RICHARD ex KUNTH 1824

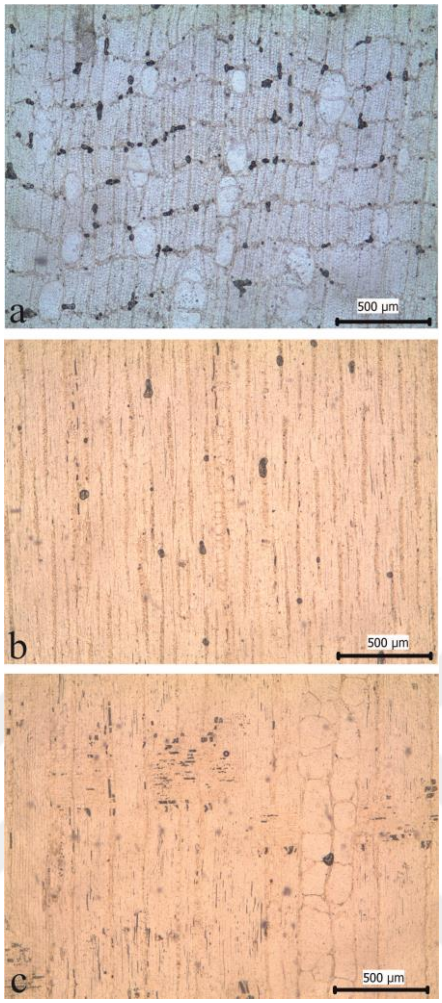
***Pterocaryoxylon tuncayi* Akkemik**

Şekil 4.82

Materyal: S5-1

Lokasyon: Silivri (S)

MikroskobikTanımlama: Türe has özellikler ilk defa Akkemik ve diğ. (2019a)'da tanımlanmış olup şu özellikleri içermektedir: Perforasyon tablası basit ve özışınları heterosellülerdir. Yoğun olarak bulunan kristaller sadece genişlemiş ve çevresi koruyucu zarla çevrili halde olan boyuna parankima hücreleri içerisinde bulunmaktadır.



Şekil 4.82: S5 örneğinin a) Enine b) Teğet, c) Radyal kesit görünümleri.

Lauraceae JUSS. 1789

***Laurinoxylon* sp.**

Şekil 4.83

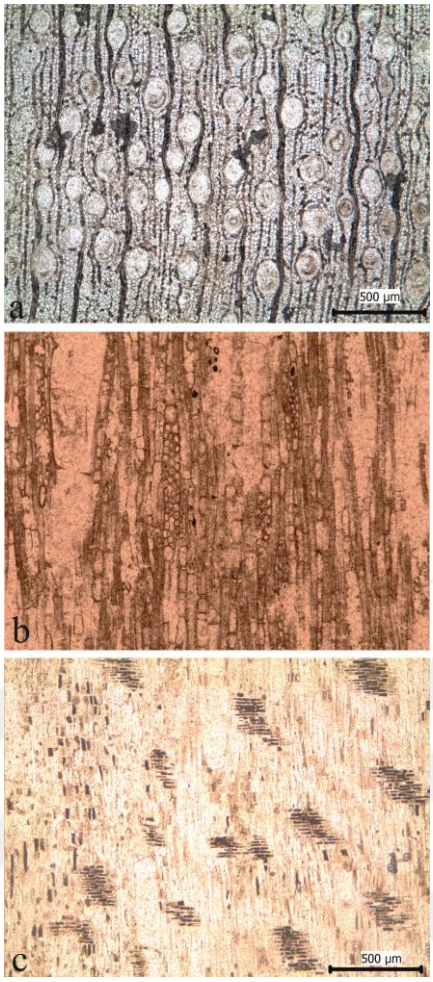
Materyal: Y10, Y12, S2-1, G3

Lokasyon: Yalıköy (Y), Silivri (S), Beylikdüzü (G)

MikroskobikTanımlama: *Enine kesit:* Yıllık halka sınırları genellikle belirgin ya da belirgin değil, dağınık traheli, traheler çoğunlukla tek tek dizilmiş ya da radyal yönde 2-3 trahe bir arada bulunur. 1 mm^2'deki trahe sayısı 5-20 adettir.

Teğet kesit: Özışınları 1-3 sıralı ve genellikle uç kısımlarında yağ ve musilaj hücreleri vardır. Bu hücreler sadece özışınları çevresinde görülmüştür.

Radyal kesit: Özışınları genellikle heteroselülerdir. Genel olarak yatık durumdaki hücrelerden oluşan özışınlarının alt ve üst sınırlarında 1-3 sıralı ve genişlemiş olan, çoğunluğu yağ ve musilaj içeren hücreler bulunmaktadır. Perforasyon tablası basit tiptedir.



Şekil 4.83: G3 örneğinin a) Enine b) Teğet, c) Radyal kesit görünümleri.

Lauraceae JUSS. 1789

cf. *Sassafrasoxylon* sp.

Şekil 4.84

Materyal:S4-1, S4-2

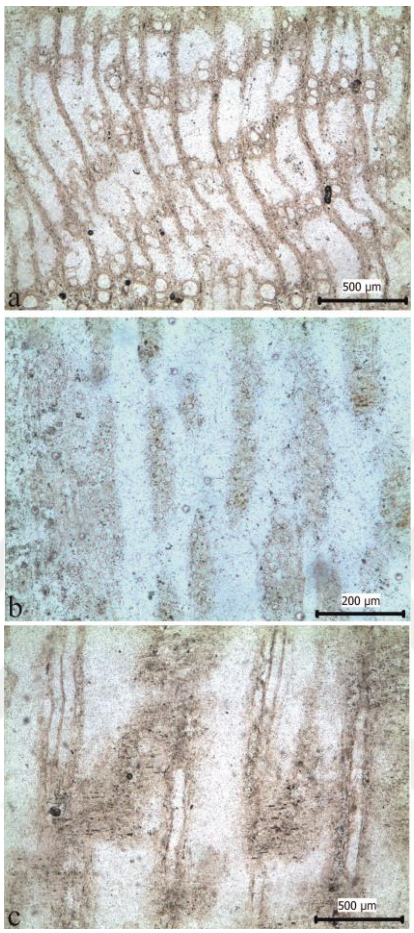
Lokasyon: Silivri (S)

MikroskobikTanımlama: *Enine kesit:* Yıllık halka sınırları genellikle belirgin, halkalı trahelidir. İlkbahar odunu traheleri genellikle radyal yönde 2-3'lü gruplar halinde iken, yaz odunu traheleleri çapraz bantlar ve dalgalı teğet bantlar halinde dizilmiştir.

Teğet kesit: Özışınları 1-5 sıralıdır. Yer yer normal özışını hücrelerine göre daha geniş yağ hücrelerine benzeyen hücreler vardır. Uçta yer alan hücreler daha uzun ve geniş olup seyrek olarak kristaller içermektedir.

R*adyal kesit:* Özışınları heteroselüler, uç kısımlarda 1-6 sıralıdır ve kare ya da genişlemiş hücreler vardır. Bu hücreler yağ hücrelerine benzemektedir. Yer yer de kristaller içermektedir. Perforasyon tablası basit tiptedir.

Bu örnekler kesin olarak tanımlanamamakla birlikte en fazla *Sassafrasoxylon* cinsine benzediğinden bu cinse benzeyen örnekler olarak tanımlanmıştır.



Şekil 4.84: S4-1 örneğinin a) Enine b) Teğet, c) Radyal kesit görünümleri.

Fabaceae LINDL 1836

***Dichrostachyoxylon zirkelii* (FELIX)**

Şekil 4.85

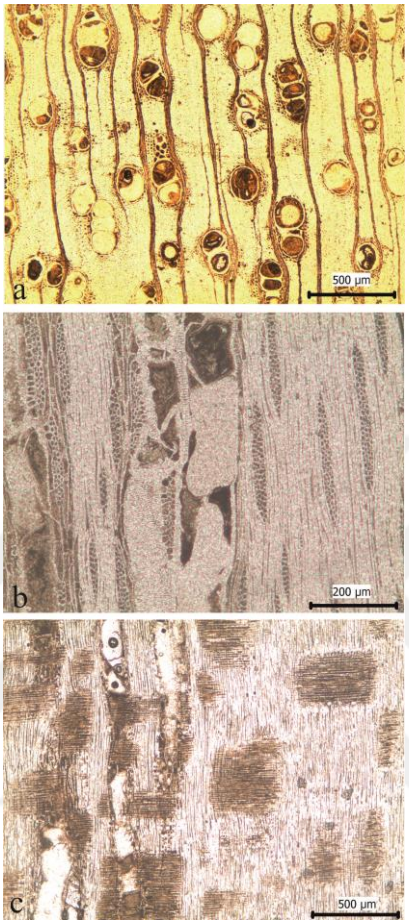
Materyal:S5, G4

Lokasyon: Silivri (S), Beylikdüzü (G)

MikroskobikTanımlama: *Enine kesit:* Belirginyıllık halka sınırları genellikle sınırda bulunan boyuna paranşim hücrelerinden dolayı görülebilmektedir. Odunu dağınık trahelidir, traheler tek ya da radyal yönde çoğunlukla 2-3 hücreli gruplar oluşturur. Enine kesitte boyuna parankima hücreleri vacisentik (traheyi 2-3 sıra halinde çepeçevre sarmış), aliform (trahe çevresinde kanat gibi uzanmış), ve konfluent (traheler arasında bant şeklinde devamlı) şeklinde ve yaygındır.

Teğet kesit: Özışınları 1-5 sıralı ve en çok 60 hücre yüksekliğindedir.

Radyal kesit: Özışınları homoselüler ve sadece yatık hücrelerden oluşur. Perforasyon tablası basit tiptedir.



Şekil 4.85: G4 örneğinin a) Enine b) Teğet, c) Radyal kesit görünümleri.

Cupressaceae GRAY 1821

***Taxodioxylon* HARTIG 1848 emend. GOTHAN 1905**

Şekil 4.86

Materyal: Kü1, Kü6, U2.

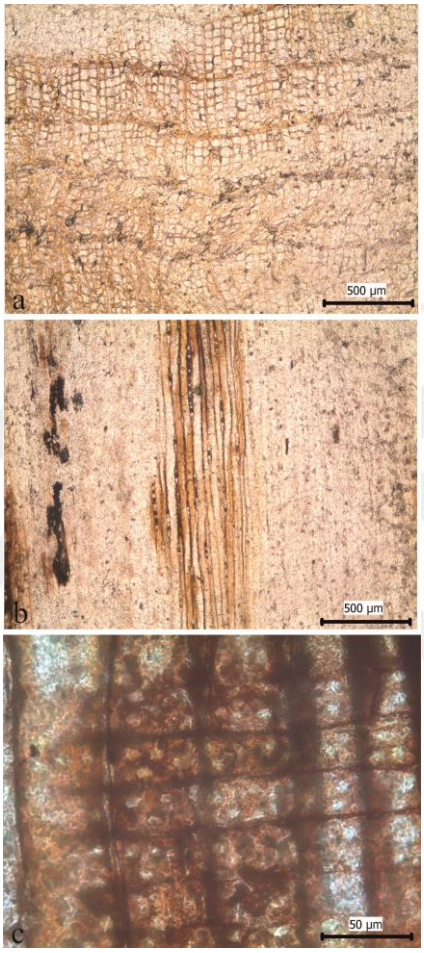
Lokasyon: Tavşanlı (Kü), Banaz (U)

MikroskobikTanımlama: *Enine kesit:* Yıllık halka sınırı belirgindir, 2-3 sıralı yassılaşmış ve kalın çeperli yaz odunu trahedilerinden dolayı sınır belirgin şekilde görülür. Traheidlerin çeperleri ilkbahar odununda genellikle ince ve yaz odununda kalındır, ilkbahar odunundan yaz odununa geçiş anidir. Reçine kanalı yoktur. Traheidlerin baskın şekilde köşelidir. Boyuna paranşimler bol sayıda, dağınık ve marjinaldir.

Teğet kesit: Öz ışınları baskın şekilde tek sıralıdır, çok nadiren kısmı olarak iki sıralıdır.

Özışını yüksekliği 2-35 hücre, genellikle 5-15 arasında değişir.

Radyal kesit: Özışınları homojendir. Traheid çeperleri üzerindeki kenarlı geçitler genellikle 1-2 sıralıdır. Öz ışınların horizontal ve teğet çeperleri düzdür. Karşılaşma yeri geçitleri taksodioid tipte, bir ya da iki sıra üzerinde 2-6 adettir. Boyuna parankima hücrelerinin enine çeperleri düzdür.



Şekil 4.86: Kü6 örneğinin a) Enine b) Teğet, c) Radyal kesit görünümleri.

Pinaceae SPRENG. ex F. RUDOLPHI 1830

***Pinuxylon* GOTHAN 1906**

Şekil 4.87

Materyal: Os1, Os3, Os8, Os9.

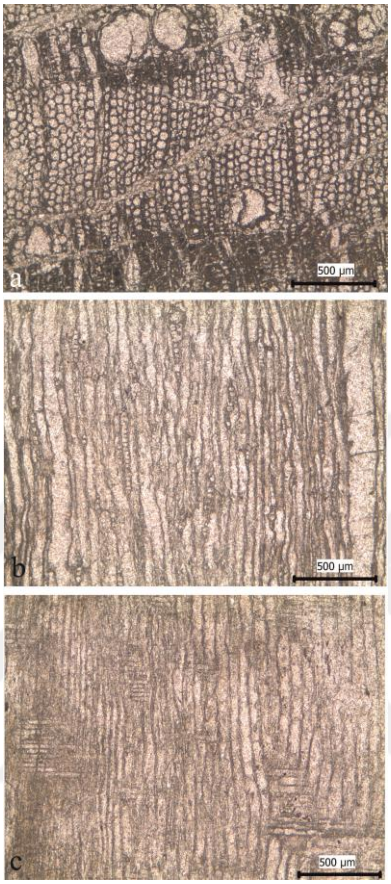
Lokasyon: Osmancalı (Os)

Mikroskobik Tanımlama: *Enine kesit:* Yıllık halka sınırları belirgin, ilkbahar odunundan yaz odununa geçiş anidir. İlkbahar odunu traheidleriköşeli, kare ya da çokgen şeklindedir. Boyuna reçine kanalları yaygın olarak gözlemlenir ve epitel hücreleri ince çeperlidir.

Teğet kesit: Özışınları heteroselüler, tek sıralı ve idiobalst hücreleri olanlarda kısmen 1-3

sıralıdır. Özışını yüksekliği 10 hücreye kadardır, boyuna parankima gözlemlenmemiştir.

Radyal kesit: Özışını traheidleri düzgün çeperli, karşılaşma yeri geçitleri, geniş, pinoid tipte ve her bir karşılaşma yerinde 1-2 geçit vardır.



Şekil 4.87: Os3 örneğinin a) Enine b) Teğet, c) Radyal kesit görünümleri.

Fagaceae DUMORTIER 1829

Quercoxylon* sect. *Ilex

Şekil 4.88

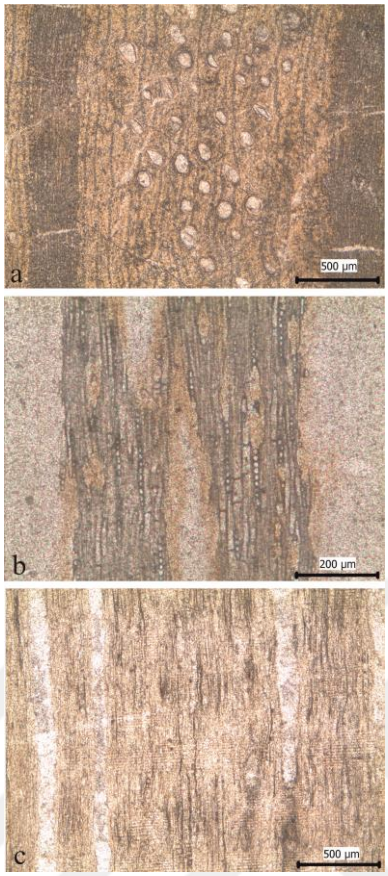
Materyal: Y11, S2-a,Kü10, Kü11, Kü14.

Lokasyon: Yalıköy (Y), Silivri (S), Tavşanlı (Kü)

Mikroskobik Tanımlama: *Enine kesit:* Yıllık halka sınırı genellikle belirgin değil, dağınık traheli ve traheler radyal yönde bir yıllık halkadan diğerine devamlıdır. Özışınları çok geniştir. Boyuna parankima hücreleri yoğun ve dağınıktır. Traheler genellikle tek tek yer dağılmış, kalın çeperli ve yuvarlak şekillidir.

Teğet kesit: Özışınları iki farklı boyutta olup tek sıralı ve çok geniş bir şekilde çok sıralıdır. Geniş özışınlarının boyu 1 mm'den fazladır.

Radyal kesit: Özışınları homoselülerdir. Boyuna parankima yaygındır. Perforasyon tablası basit tiptedir.



Şekil 4.88: Kü11 örneğinin a) Enine b) Teğet, c) Radyal kesit görünümleri.

Juglandaceae A. RICHARD ex KUNTH 1824

***Pterocaryoxylon* (FRANCINI 1931) MÜLL.-STOLL et MÄDEL 1960**

Şekil 4.89

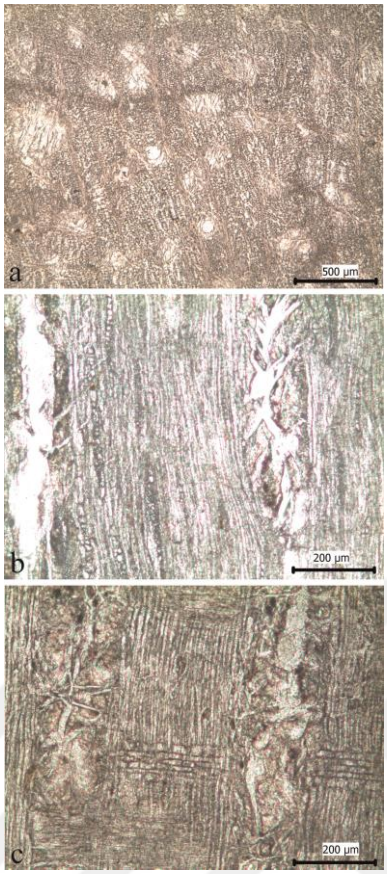
Material: Y9,Os7, Os11.

Lokasyon: Yalıköy (Y), Osmancalı (Os)

MikroskobikTanımlama: *Enine kesit:*Yıllık halka sınırları genellikle belirgin ya da belirgin değildir. Dağınık trahelidir vetraheler çoğunlukla tek tek dizilmiştir ya da radyal yönde 2-3 trahe bir arada bulunur. 1 mm^2'deki trahe sayısı 5-20 adettir. Boyuna parankima hücreleri dağınık ve özellikle tek sıralı kısa teğet bantlar halindedir.

Teğet kesit: Özışınları dar, 1-2 (-3) sıralı ve yükseklikleri 25 hücre kadardır.

Radyal kesit: Özışınları genellikle heteroselüler, orta kısımdaki hücreler yatıktır, dış kısımlarda 1-4 sıra halinde kare ya da dikine şekilde dizilmiş sınır hücreleri vardır. Genişlemiş boyuna parankima hücreleri içerisinde kristaller yoğundur. Bazı kristallerin etrafı çevrilidir. Perforasyon tablası basittir.



Şekil 4.89: Os11 örneğinin a) Enine b) Teğet, c) Radyal kesit görünümleri.

4.5. GEMOLOJİK BULGULAR

4.5.1. Özgül Ağırlık

Trakya ve Batı Anadolu çalışma bölgelerini temsilen seçilen örneklerinde gerçekleştirilen özgül ağırlık ölçümleri ile silisleşmiş ağaçlara ait elde edilen verilerde Trakya Bölgesi örnekleri 1,93 – 2,56 gr/cm^3, Batı Anadolu örnekleri ise 2,05–2,50 gr/cm^{3}aralığında olduğu saptanmıştır (Tablo 4.8).

Tablo 4.8: Çalışma bölgelerine ait örneklerin özgül ağırlık değerleri.

	Örnek No	Özgül Ağırlık (gr/cm^3)	n
Trakya	K4	2,347-2,53	2
	M7	2,267-2,50	2
	Y9	2,14-2,16	2
	S2	2,56-2,620	2
	G3	1,93-1,98	3
Batı Anadolu	Kü5	2,05-2,19	4
	Os3	2,19-2,205	2
	U2	2,50-2,52	2

Tespit edilen değerler neticesinde, Trakya ve Batı Anadolu Bölgeleri silisleşmiş ağaç örneklerin opalden kuvarsa kadar çok çeşitli bir mineralojiye sahip oldukları saptanmış ve içerdikleri silis polimorflarının varlığı özgül ağırlık testi ile desteklenmiştir (Şekil 4.90).



Şekil 4.90: Elde edilen tüm özgül ağırlık değerlerinin silis polimorfları ile ilişkilerini gösteren diyagram.

4.5.2. Rekraktif İndeks (RI)

Trakya ve Batı Anadolu çalışma bölgelerine ait silisleşmiş ağaç örneklerinden temsili olarak seçilenlerinde refraktif indeks (kırılma indeksi) ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Parlatılmış örneklerdeki ışığın kırılma değerleri 1,53-1,55 aralığında saptanmıştır (Şekil 4.91). Bu değer kuvars mineraline ait olup, ağaçların bünyelerinde bulunan kuvars oluşumlarını desteklemektedir.

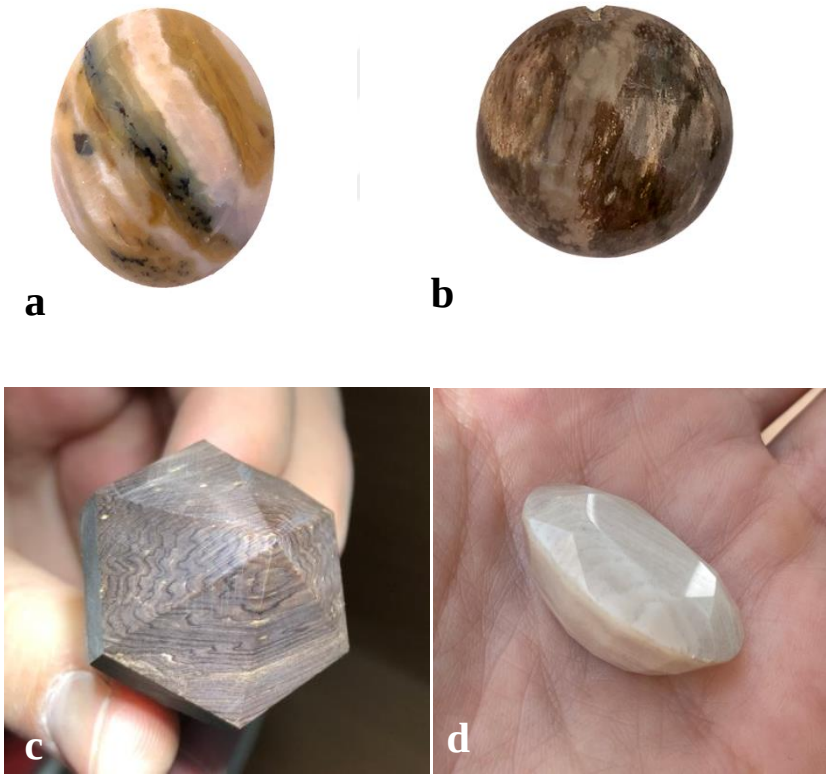


Şekil 4.91: Parlatılmış Tavşanlı (Kü2) örneğinin refraktometrede görülen 1,54 RI değeri.

4.5.3. Kesim İşlemleri

Silisleşmiş ağaç örnekleri gemolojik açıdan öncelikle laboratuvar ortamında makro olarak incelenmiş ve desen, renk, dayanım açısından uygun görülenleri süstaşı çalışmaları için seçilmiştir. Örnek seçimlerinin mümkün olduğunca her bölgeyi temsilen olmasına dikkat edilmiştir.

Trakya ve Batı Anadolu çalışma bölgelerinden toplanan silisleşmiş ağaçlar arasında renk ve desen farkları bulunmakta, aynı noktadan alınan ağaçlarda dahi farklı dış özellikler görülebilmektedir, Tavşanlı (Kütahya) (Şekil 4.92a), Beylikdüzü (İstanbul) ağaçları renk ve desen açısından en zengin örnekler iken, Silivri (İstanbul) (Şekil 4.92b,c), Banaz (Uşak)'a ait ağaçlar renk ve desen açısından kısıtlıdır. Diğer örnekleme alanlarında ise renk açısından kahve/siyah/gri tonları gözlense de, desen açısından daha çok çeşitlilik vardır. Silisleşmiş ağaç örneklerinin opak malzemeler olmasından dolayı kesim tekniği olarak daha çok basit kabaşon (bir yüzeyi kubbe, bir yüzeyi düz) kesim seçilmiş, dış formları yuvarlak, oval, damla ve daha az miktarda köşeli olarak şekillendirilmiştir (Şekil 4.92a,b). Sıklıkla saydam ve yarı saydam taşlarda tercih edilen faset (yüzeyli) kesim için ise en iyi sonucun alınabileceği az desenli/desensiz, tek renk ağaç örnekleri arasından seçim yapılmıştır (Şekil 4.92c,d).



Şekil 4.92: a) Tavşanlı, b) Silivri silisleşmiş ağaç örneğinin kabaşon form verilmiş ve cilalanmış görünümü ile farklı formlarda faset kesim yapılmış c) Silivri bölgesi örneğinin cilasız görünümü, d) Beylikdüzü bölgesi örneğinin cilalı görünümü.

Atölye çalışmaları esnasında ilk dikkat çeken nokta, örneklerin ince dilimler üzerindeki renk/desenleri ile taşlamadan sonra elde edilen renk/desenlerin genellikle farklı olmasıdır (Şekil 4.93; 4.94). Bunun nedeni, silisleşmiş ağaç odun dokularının petrifikasyon ile

kendilerine has desenlere dönüşmeleri, ayrıca ana ve iz elementlerin kazandırdığı farklı renkler geçişleridir. Böylelikle her silisleşmiş ağaç, hatta taşlaşmış her parçası benzersiz bir görünüm sunmakta, işlendikçe farklı görünümlere kavuşmaktadır. Bir diğer önemli nokta ise kesim yönüdür. Aynı dilimin farklı yönde taşlanarak elde edilen iki kabaşonunda iki farklı renk/desen elde edilmektedir. Bu sebeple ağaca form verilmeden önce, alınan ince dilimler üzerindeki desenlere göre bir planlama yaparak kesim yönünün belirlenmesi en doğru yöntemdir.



Şekil 4.93: Tavşanlı (a,b) ve Beylikdüzü (c,d) silisleşmiş ağaç örneklerinin, ham (a,c) ve kaboşon form verilerek cilalanmış (b,d) görünümleri.



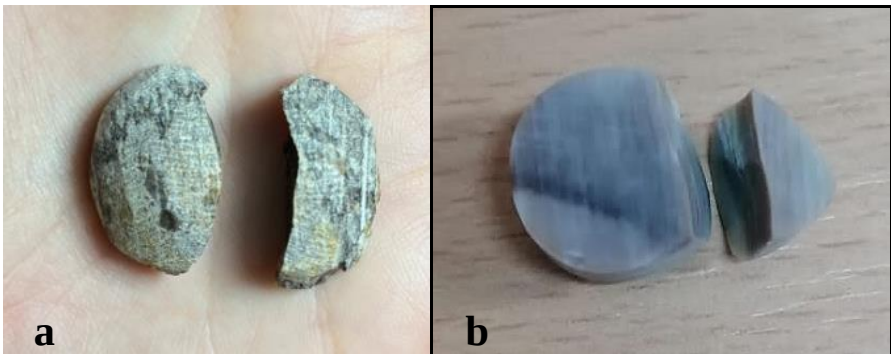
Şekil 4.94: a, b) Tavşanlı bölgesi silisleşmiş ağaçlarının ham halleri (a, c) ile kaboşan kesim ve cilalama işlem sonuçları (b, d).

Gemolojik çalışmalarda silisleşmiş ağaçların görsel güzelliğinin yükseltilmesi, göze hitap edebilmesi için cilalama işlemi büyük önem taşımaktadır. Kesim ve taşlama işlemlerinden sonra örneğe mükemmel oranda bir kabaşon form verilse bile renkleri oldukça mat ve soluk görünmekte, yüzeyindeki desenleri ise belirgin olmamaktadır (Şekil 4.95a,c). Keçe makinesinde elmas toz ve yağ ile gerçekleştirilen işlemde dop ucundaki örneğin her noktasına eşit şekilde muamele edilmesi sonucu homojen bir cila efekti elde edilmekte ve silisleşmiş ağaç örneğinin süstaşı olma potansiyelini arttırmaktadır (Şekil 95b, d).



Şekil 4.95: Silisleşmiş ağaçlarda cilanın önemi. a, c) Kaboşon kesilmiş örneklerin cila öncesi ve b,d) Cilalama işlemi sonrası görünümleri.

Silisifikasyon süreci geçirerek taşlaşan ağaç örnekleri oldukça sert malzemelerdir. Fakat bir kısım örnekte dilimleme ve taşlama işleminde, bir kısmın da ise doplama ve keçe makinesindeki cilalama işlemi sırasında çok parçalı kırılmalar meydana gelmiştir (Şekil 4.96a,b). Öncelikle ince çatlaklar şeklinde başlayan deformasyonlar, işlemin devam etmesiyle genişleyerek kalıcı hasarlara dönüşmüştür. Özellikle Beylikdüzü bölgesine ait opalleşmiş ağaçlarında keskin yüzeyli çok parçalı kırılmalar yaşanmaktadır. Bu sebeple örneklerde doplama işleminden vazgeçilmiş ve ayrıca keçe ile cilalama işlemi kontrol altında tutularak minimum seviyede parlatma yapılmıştır.



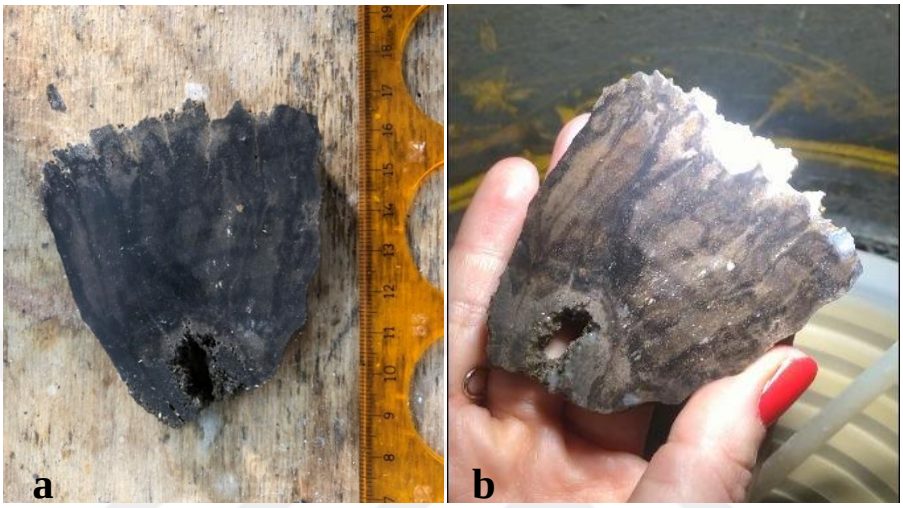
Şekil 4.96: İşlemler sırasında kırılmış silisleşmiş ağaç örneklerine örnekler (a,b).

Basit kabaşon form verilen silisleşmiş ağaç örneklerinden en fazla renk ve desen çeşitliliğine sahip olanları 925 ayar gümüş materyal ve döküm metal kullanılarak geleneksel el işçiliği ile broş, kolye ucu ve yüzük tasarım çalışmaları gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.97a,b,c,d,e).



Şekil 4.97: a) Yuvarlak kabaşon formda Keşan örneği ile broş, b) Dikdörtgen formda Silivri örneği ile kolye ucu,c) Yuvarlak kabaşon kesilmiş Beylikdüzü örneği ile kolye ucu, d) Damla kabaşon formda Osmancalı örneği ile kolye ucu ve e) Dikdörtgen kabaşon kesimli Beylikdüzü örneği ile tasarlanan yüzük çalışmasının görünümü.

Süstaşı çalışmaları kapsamında kaboşan forma uygun olmayacak, koyu renkler sunan ve desen açısından fakir örneklerde ince dilimler kesilmiş, orijinal görünümlerinin korunması için dış kısımları düzeltilmemiştir (Şekil 4.98a,b). Sonrasında, en fazla desene sahip yüzeylerine cilalama yapılan ağaçlarda desenler belirginleştirilmiş vesüs eşyası olarak kullanımı tasarlanmışlardır.



Şekil 4.98: Os2 (Manisa) silisleşmiş ağaç örneğine ait, kesilmiş ince dilimin a) Cilasız, b) Cilalı görünümü.

5. TARTIŞMA

Dünyanın çeşitli coğrafyalarında, farklı jeolojik yaşlara sahip olan silisleşmiş ağaçlar, ülkemizde de çeşitli bölgelerde, Jura'dan – Pliyosen'e kadar farklı yaşlara ve tür zenginliğine sahiptir. Bu konuda, paleobotanik, paleoklimatolojik ve paleocoğrafik açıdan farklı araştırmacılar tarafından günümüze kadar gerçekleştirilmiş çalışmalar bulunmaktadır (Özgüven-Ertan, 1971; Şanlı, 1982; Kayacık et al., 1995; Aras et al., 2004; Akkemik et al., 2005; Sakınç ve diğ., 2007; AkkemikandSakınç, 2013; Akkemik et al., 2016; Acarca Bayam et al., 2018; Yurtseven 2018; Akkemik et al., 2019a;b; Denk et al., 2019; Polat ve diğ. 2019). Ancak, jeolojik, jeokimyasal ve gemolojik bakımdan oldukça kısıtlı çalışmaların yapılmış olduğu tespit edilmiştir. Ülkemizde fosil ağaçların bulunduğu bölgeler incelendiğinde, daha yaygın olarak Tokat, Ankara ve Bolu civarındaki taşlaşmış ağaç ormanları incelenmiş olup, Trakya ve Batı Anadolu'da sınırlı sayıda ve dar kapsamlı araştırmaların yapıldığı görülmektedir. Trakya ve Batı Anadolu'da yapılan bu çalışmada bazı lokasyonlarda saptanan fosilleşmiş ağaçlar, genellikle, Miyosen yaşlı Neojen volkanizmasıyla ilişkili şekilde, genellikle göl-akarsu ortamlarında oluştuğu sonuçlarına ulaşılmıştır. Trakya ve Batı Anadolu'da tespit edilen silisleşmiş ağaçlar çeşitli yönleriyle değerlendirilmiştir (Çevik Üner ve diğ., 2020; Çevik Üner et al., 2022a,b).

5.1. SİLİSLEŞME SÜREÇLERİNE İLİŞKİN DEĞERLENDİRMELER

Jeolojik devirler boyunca ağaçların silisleşmesi, diğer taşlaşma türlerine göre daha yaygın bir oluşumdur. Silisleşmenin olabilmesi için öncelikle ağaçların, suyun bol, serbest oksijenin az veya hiç olmadığı, nispeten sıcak, nötr veya asidik (pH = 3-6) bir ortamda gömülme sürecine ihtiyaç vardır. Silisleşme/taşlaşma, ağacın içinde bulunan hemüselüloz, selüloz ve lignin organik kısımlarının bozulup, yerine silis veya diğer inorganik elementlerin geçmesi esasına dayanır.

Fosilleşmiş ağaçlar, volkanik faaliyetler ile doğrudan veya dolaylı ilişkili olarak, karasal çökeller içerisinde silisleşme, kömürleşme, karbonatlaşma, fosfatlaşma ve mumyalaşma şeklinde farklı içeriklerde taşlaşırlar (Weibel, 1996; Voudouris et al. 2007; Kim et al., 2009; Sweeney et al., 2009; Dietrich et al., 2013; Saminpanya and Sutherland, 2013; Hassan, 2015; Mustoe, 2015; Matysová, 2016; Chopparapu and Rajanikanth, 2018; Lee et al., 2018; Pe-Piper et al. 2019;Viney et al., 2019).

Petrifikasyon mekanizmalarından biri olan silisleşme, volkanik aktiviteler ile zenginleşen sularda yer alan baskın silis ile diğer inorganik elementlerin, ağacın odun dokusundan geçerken mineralizasyona uğramaları ile oluşmaktadır. Burada, gerçekleştirilen jeokimyasal çalışmalarla elde edilen element çeşitliliği hidrotermal oluşumu kanıtlar niteliktedir. Ağaçların silisleşme mekanizmasında volkanizma ve hidrotermal suların etkinliği haricinde, aktif volkanik faaliyetin olmadığı veya çok uzakta gerçekleştiği bir ortamı işaret eden teoriler de bulunmaktadır. Silivri bölgesi ağaçlarının çökelme ortamına da benzeyen bu farklı mekanizma, aktif fluviyal ortamda bulunan ağaçların, olgunlaşmamış kumtaşları içerisindeki feldispatın bozulmasıyla açığa çıkan silis ile mineralize olması (Matysová, 2016) veya kumtaşlarındaki zengin silisin iklim koşulları ile çözünmesi ve odun dokusu içerisine girerek silisifikasyonu meydana getirmesi (Sakınç ve diğ., 2007) prensibine dayanmaktadır. Fakat ağaçların taşlaşmasını sağlayacak miktarda silisin sadece yüzey koşullarında çözülerek oluşması yaklaşımı, jeokimyasal açıdan detaylı şekilde araştırılması gereken bir konudur.

Silisleşme ortamının anlaşılabilmesi için Ballhaus et al. (2012) tarafından gerçekleştirilen deneysel bir çalışmaya göre volkanik malzeme içerisindeki ağaçların silisleşmesi için pH'ı 4 civarında olan asidik bir hidrotermal çözelti ile 100^{o}C civarında sıcaklığın olması gerekliliği ileri sürülmüştür. Läbe et al. (2012) tarafından yapılan deneysel çalışmada silisleşmenin olabilmesi için riyolitik volkanizma varlığı ile 150^{o}C sıcaklık ve 1 atm basınç ortamının gerektiğinden bahsedilmektedir. Akahane et al. (2004) ise silisçe zengin sıcak su kaynaklarında oluşan silisleşmiş ağaçların mekanizmasını anlayabilmek için, 10 cm uzunluğundaki dal parçalarını 50-52^{o}C sıcaklıkta ve pH derecesi 2,95-3,0 olan kaynak içine yerleştirmiştir. Yedi yıl süren deney sonucunda ağaç dokusunun ağırlıkça %38,1'inin silisleştiği, fakat kuvars, kalsedon gibi kristalize formların değil, sadece amorf form olan opalin geliştiği tespit edilmiştir.

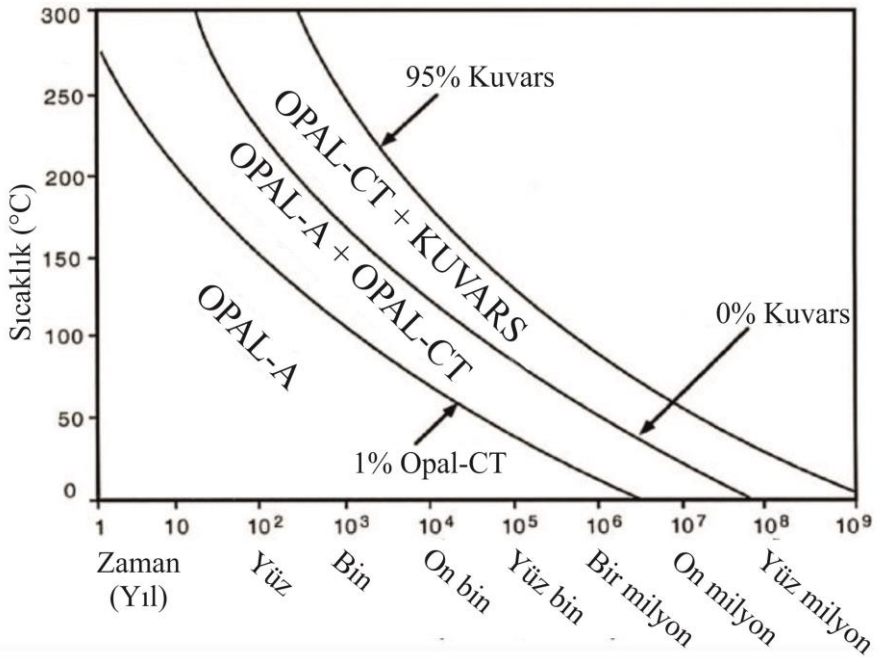
Trakya ve Batı Anadolu'daki farklı lokasyonları temsil eden silisleşmiş ağaçlardan hazırlanan üç yönlü (enine, radyal, teğet) ince kesitler ile toz numuneler üzerinde gerçekleştirilen mikroskobik ve analitik çalışmalarda, silisin aşağıda belirtilen beş polimorfu tespit edilmiştir;

- Opal-A (amorf)
- Opal-CT (taneli yada uzamış kristalli)
- Kalsedon (lifsi-ışınsal)

- ❖ Moganit (monoklinal kuvars)
- ❖ Kuvars (mikrokristalen, orta ve iri kristalli)

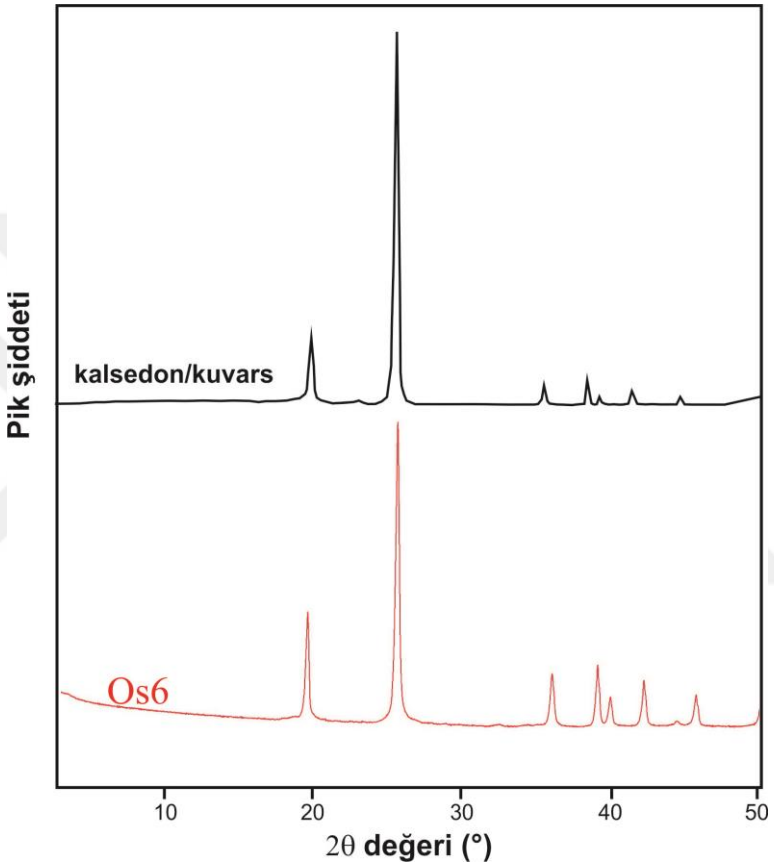
Odun dokusunda yer alan bu polimorfların sulu çözeltilerdeki diyajenezi opal-A'dan opal-CT'ye ve opal-CT'den de kalsedon/kuvarsa geçiş şeklinde meydana gelmektedir (Bardet and Pounou, 2017; Viney et al., 2019; Mustoe and Dillhoff, 2022). Stein (1982)'a göre petrifikasyon sırasında ortamda bulunan egemen silis, odun dokularında geçişi sırasında öncelikle amorf halde çökelir ve zaman geçtikçe yavaşça kristalleşir. Bu görüş, doktora çalışması örneklerinde yan yana oluştuğu görülen iri kuvars kristalleri ile opalin varlığına uymamakta, fakat silisin aşama aşama kristallenmesinin yanı sıra, bazı örneklerde görülen bol miktardaki iri kuvarsların birincil olarak ta oluşabileceğini düşündürmektedir.

Deneysel verilere ve saha gözlemlerine dayalı hazırlanan faz diyagramına göre, ağaçların sığ gömülme koşullarında opal-A'nın opal-CT'ye dönüşü yavaş bir süreçtir, opal-CT'nin kuvars kristallerine dönüşmesi için ise daha uzun zaman dilimleri gereklidir (Şekil 5.1; Mustoe and Dillhoff, 2022). Trakya ve Batı Anadolu Bölgeleri ağaçlarında, mikroskop ve çeşitli analiz yöntemleriyle farklı fazlarda dengeye ulaşmamış silis saptanmıştır. Bu durumun sebebi, ağaçların genç yaşlara sahip olmalarından dolayı, içerdikleri silisin bütünüyle kuvars kristallerine dönüşmesi için yeterli zamana sahip olmamalarından kaynaklanmaktadır (Şekil 5.1).



Şekil 5.1: Doğal sedimanter ortamda silis fazlarının dönüşüm oranları (Mustoe and Dillhohh, 2022'den alınmıştır).

Buurman, (1972), Stein (1982) ve Dietrich et al. (2020) tarafından en yaygın polimorfların kalsedon ve mikrokristalen kuvars olduğu belirtilmiştir. Doktora tez çalışmasında incelenen silisleşmiş ağaçlarda opal, kalsedon ve kuvars tanımlanmış, literatüre benzer şekilde özellikle de mikrokristalen kuvarslar bol miktarda tespit edilmiştir. Mikroskop çalışmalarında görülen kuvars/kalsedon varlığı, XRD analizlerinden elde edilen benzer spektrumlar ile de desteklenmiştir (Şekil 5.2).



Şekil 5.2: Osmancalı (Os6) örneğinin XRD analiz spektrumu ile kalsedon/kuvarsa ait ideal spekturumunun karşılaştırılması.

Odun dokusunun içerdiği kuvars ve kalsedon rahatlıkla tanımlansa da, opal-CT'yi (kristobalit-tridimit) polarizan mikroskop altında opal-A'dan ayırmak zor olabilmektedir. Silisleşmiş ağaç örneklerine ait ince kesitlerle çok sık karşılaşılan bu durum Mustoe (2015) tarafından da belirtilmiştir. İki polimorf arasındaki bu durum nedeniyle, genel bir yanılgı olarak araştırmacılar opal-CT'ye amorf opal tanımı yapabilmektedir (Mustoe and Dillhoff, 2022). Doktora çalışmasında da karşılaşılan benzer problemin çözümü ve silisin polimorflarının daha net tanımlanabilmesi için XRD analizinin ile beraber Raman ve FTIR analizleri de gerçekleştirilmiştir. Söz konusu üç analiz sonucu olan spektrumlarda Opal-CT'nin varlığını kanıtlayan pik değerleri elde edilmiştir. Ayrıca, silisin monoklinal sistemde

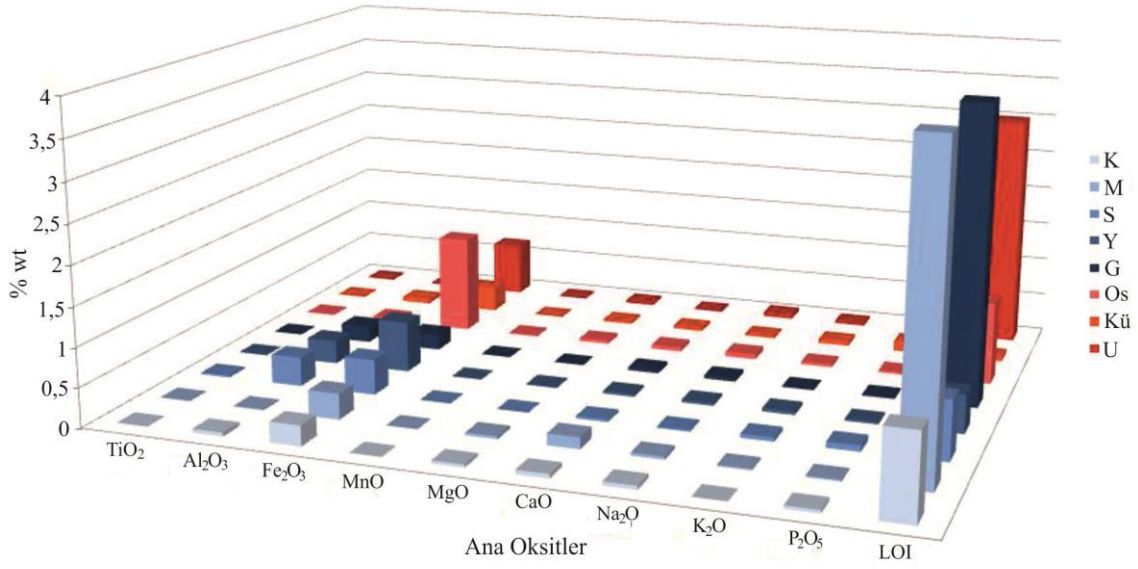
kristallenmiş formu olan moganitin, Raman analizlerinde elde edilmesi, doktora tez çalışmasına artı bir bilimsel değer katmıştır.

Özellikle Malkara-Keşan bölgeleri ağaçlarının mikroskop altındaki hücre çeperlerinde koyu kahve-siyah renkli olarak görülen kısımlar tespit edilmiş, organik madde olarak tanımlanan bu alanlarda yapılan Konfokal Raman analizi ile karbonun varlığı kanıtlanmıştır. Organik maddeye, bu bölgeler dışındaki bazı örneklerde de rastlanmıştır. Odun dokusunun silisleşmesi ilk olarak hücre çeperlerinde başlamakta ve süreç ilerledikçe çeperde şablon görevi gören organik maddenin yerlerine geçmektedir (Mustoe and Dillhoff, 2022). Bu tespitin doğrultusunda, organik madde miktarı bol içeren odun dokularındaki mineralizasyonun erken safhalarda olduğu düşünülebilir.

5.2. SİLİSLEŞMİŞ AĞAÇLARIN JEOKİMYASAL DEĞERLENDİRMESİ

Silisleşmiş ağacın taşlaşma sürecinde SiO_2 'nin yanı sıra FeO ve Al_2O_3, sedimanter ortamda yer altı suyu ile ağaç dokularına taşınan önemli element oksitlerdir. Ancak, her iki bölgede de FeO ve Al_2O_3 değerleri oldukça düşük olup, benzer şekilde diğer önemli oksitlerden Na_2O, K_2O, CaO ve MgO değerleri de oldukça düşüktür. Bunun nedeni bölgedeki yer altı suyunun kimyasındaki iyonik değişimler olabilir (Mustoe, 2008).

Silisleşmiş ağaçlarda, Fe_2O_3 değeri genellikle ağacın oluşumu esnasında, silisleşmeye neden olan çözeltilerle taşındığı ve yer altı suyunun iyonik kimyasına bağlı olarak değişkenlik gösterdiği ileri sürülmektedir (Mustoe, 2008). Al_2O_3 genellikle ortamdaki kil oranının varlığını gösterirken, MnO değerleri ise yüzeysel koşullarda çökelmede yaygın bulunan oksitlerden biridir (Hassan, 2019).



Şekil 5.3: Trakya (Mavi: Keşan (K), Malkara (M), Silivri (S), Yalıköy (Y), Beylikdüzü (G)) ve Batı Anadolu (Kırmızı: Osmancalı (Os), Tavşanlı (Kü), Banaz (U)) Bölgeleri silisleşmiş ağaç örneklerine ait ana oksit değerlerini gösteren histogram.

Fosil ağaçların kazanmış olduğu renkler, jeokimyasal olarak tanımlanması gereken önemli bir özelliktir. Mustoe and Acosta (2016) oksitlenmiş demirin, kırmızı renkteki odunda en önemli renklendirici olduğunu belirtmiş, koyu kırmızı rengi yüksek demir (Fe) oranına bağlamış, azalmasıyla da rengin soluklaştığını belirtmiştir. Bu çalışmada kırmızımsı tonlara sahip Banaz (Uşak) örneklerinde %0,691 FeO değeri ile 18,47 ppm V elde edilmiştir. Mustoe and Acosta (2016), parlak yeşil rengin demir ile birlikte yüksek krom (Cr) elementinden kaynaklandığını belirtmiştir. Çalışmasında, koyu yeşil tonların Cr elementi içeriğinin yüksekliğinden, soluk yeşil rengin ise düşük konstantrasyondan olduğunu ileri sürmüştür. Tavşanlı (Kütahya) örneğindeki Cr değerinin (6,72 ppm) yüksek olması bu çalışmaya paralellik göstermektedir.

Fosilleşme esnasında ağaçta oluşan renklerin kökenine ilişkin Mustoe and Acosta (2016) iki fikir öne sürmüştür. Bunlardan biri; renklenmeyi sağlayan elementlerin ağacın gömüldüğü ortamdan türetildiği, diğeri ise uzak bir kaynaktan yer altı suyuyla ağacın gömüldüğü bölgeye taşındığıdır. Bazı ağaçlarda ise iki mekanizma birden işlemiştir. Hem Trakya hem de Batı Anadolu Bölgelerindeki silisleşmiş ağaçlar, volkanik hidrotermal bir getiri olan Co, Ni, Cr, Cu, Zn, ve Pb elementelerini içermektedir. Bu elementlerin varlığı, ait oldukları bölgelerde aktif olan riyolitik-andezitik volkanizmanın getirisi olarak yorumlanmıştır.

Batı Anadolu örnekleri As bakımından daha zengin iken, Trakya Bölgesi örnekleri ise P bakımından daha yüksek tespit edilmiştir (Şekil 5.4). İz elementler içerisinde P, As ve V silisleşmiş ağaçlarda, hidrotermal kökeni gösteren diğer önemli iz elemetlerdir.

Kömür sahalarındaki kükürt (S) bolluğunun çökelme ortamları ile ilgili olabileceği ileri sürülmektedir (Chou, 2012). ABD, Çin, İngiltere, Almanya, Macaristan, Türkiye, Endonezya ve Brezilya'daki kömür sahalarında yapılan çalışmalarda, kükürdün düşük değerlerde olmasının nedeni kömürlerin çoğunlukla akarsu ortamında çökelmeleri neden olurken; yüksek kükürt oranlarının ise, deniz suyundan etkilenen ortamlarda veya tatlı su ortamlarında ya da başka bir kaynaktan beslenen kükürtle çökelebileceğinden olduğu ileri sürülmektedir (Chou, 2012). Dolayısıyla, Trakya Bölgesi kömür oluşumları ile eş zamanlı olarak taşlaşan silisleşmiş ağaçların, düşük değerlerdeki toplam kükürt oranları, bu ağaçların akarsu ortamında çökelmiş sedimanlar içerisinde oluşabileceğini göstermektedir. Kömürlerin kökenine yönelik yapılan çalışmalarda Türkiye Linyitlerinin tatlısu ortamlarında yüksek sülfür oranları içerecek şekilde oluştuğunu ileri sürülmektedir (Chou, 2012).

Ateşte kayıp ölçümlerinde, kalsedon türü silika polimorfunda su içeriğinin %1,5, daha metastabl silika polimorfu olan moganitte ise %2-3 olduğu yapılan çalışmalar sonucu ileri sürülmektedir (Miehe and Graetsch, 1992; Chou, 2012). Bu değerlere benzer su içerikleri, Colorado'da Eosen yaşlı silisleşmiş ağaçlarda, ağırlıkça %1,5-13,4 ve daha yukarısı olan LOI değerleri, opalin bünyesindeki suyun kaybı ve yüksek organik madde içeriğinden olabileceği şeklinde yorumlanmıştır (Mustoe, 2008; Chou, 2012).

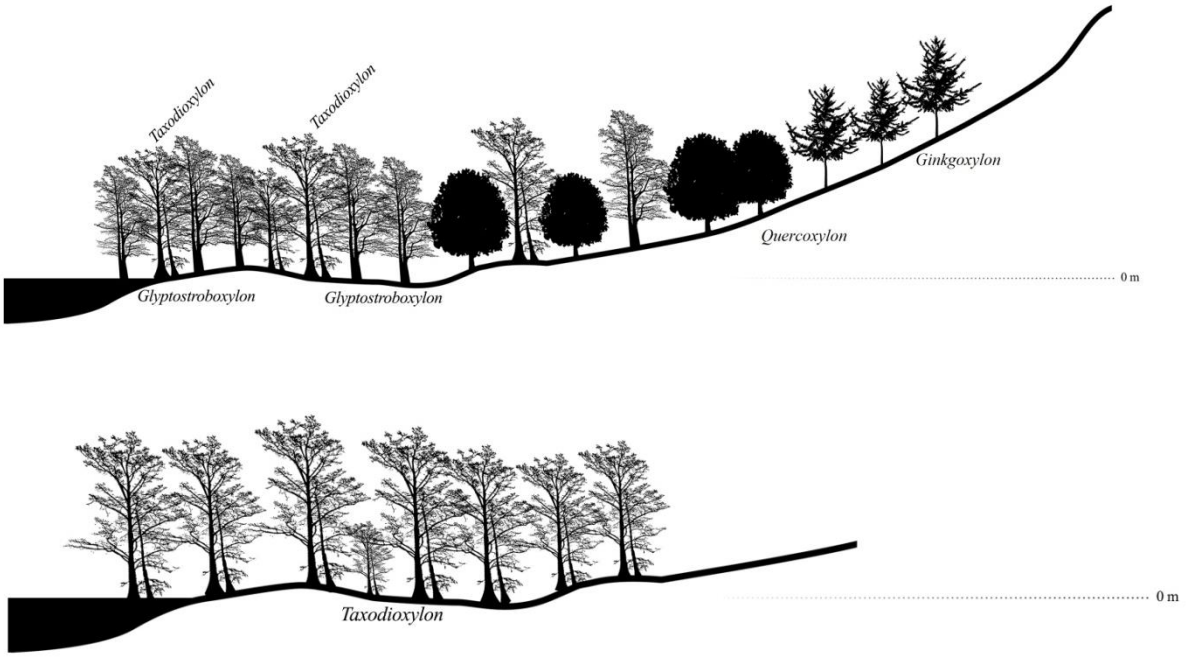
Trakya ve Batı Anadolu Bölgelerindeki silisleşmiş ağaçların jeokimyasal incelemeleri sonucu elde edilen veriler, bu bölgelere yakın Yunanistan ve Batı Trakya'da, Limni Adası ve Fakos Yarımadası silisleşmiş ağaçlarının jeokimyası ile karşılaştırıldığında, benzer özelliklere sahip oldukları görülmektedir. Her iki bölgedeki silisleşmiş ağaçların, Senozoyik magmatizması ve buna bağlı geç evre nötr hidrotermal çözeltilerden oluşan aktivitelerle ilişkili olabileceği sonucuna varılmıştır (Voudouris et al., 2007). Keşan bölgesinden farklı iki adet örnekte (K12, K4) gerçekleştirilen ateşte kayıp analizinde, silisleşmiş ağaçta %1,06 LOI ve kömürleşmiş ağaçta ise %7,75 değerleri elde edilmiştir (Tablo 4.9) Bu sonuçlar ile silisleşmiş ve kömürleşmiş ağaçların içerdikleri silisin oransal farkı, LOI analizlerine yansımış olup, organik maddece zengin bir örneğin yüksek LOI değerlerine sahip olduğu gözlenmiştir.

Özellikle Osmancalı (Manisa) olmak üzere, Trakya ve Batı Anadolu'da bazı bölgelerde tanımlanan silisleşmiş ağaçlar jeolojik oluşum ortamı ile ana ve iz element içeriği bakımından Midilli Adası (Yunanistan) Sigri piroklastik kayaçları içerisinde oluşan silisleşmiş ağaçlara benzerlik göstermektedir. Erken Miyosen yaşlı Sigri Piroklastik Tüfleri ve çamur akıntıları içinde gömülü olarak oluşan silisleşmiş ağaçlar, Ege ve Trakya Bölgesindeki bazı lokasyonlardaki silisleşmiş ağaçlar gibi hidrotermal çözeltilerin etkisiyle oluşmuştur (Voudouris et al., 2007; Pe-Piper et al., 2019). Zouros et al., (2007) tarafından da belirtildiği gibi, Batı Anadolu ve Midilli'de bulunan taşlaşmış ağaçlar, oluşum mekanizmalarının silisleşme olması ve aynı dönemdeki volkanik aktivitelerle doğrudan bağlantılı olmaları açısından benzerlik sunmakta, ayrıca paleobotanik açıdan her iki bölgede uyumlu orman yapıları tanımlanmaktadır.

5.3. PALEOCOĞRAFİK ve PALEOKLİMATOLOJİK DEĞERLENDİRMELER

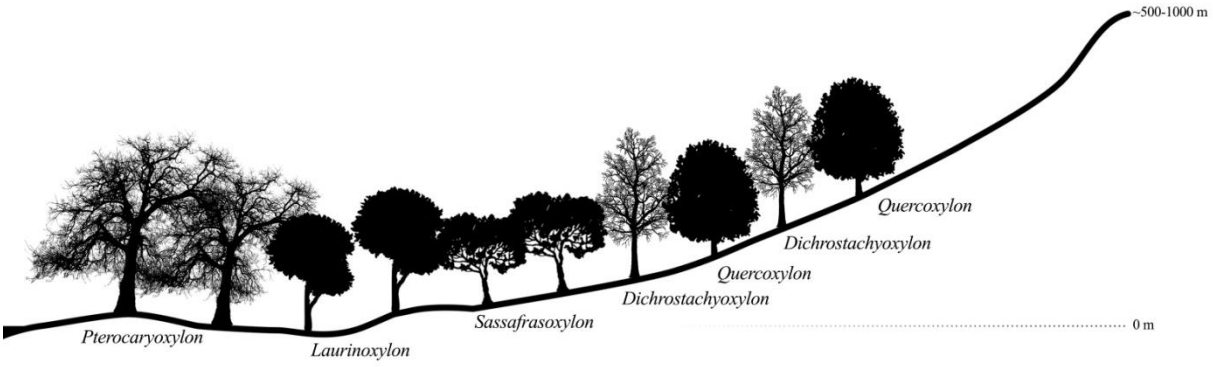
Doktora tezi kapsamında gerçekleştirilen botanik çalışmalarda çeşitli fosil odun cinsleri tayin edilmiş, bu veriler ışığında özellikle Neojen'de zengin ağaç çeşitliliğine sahip ormanların varlığı ortaya koymuştur.

Trakya'da Malkara-Keşan bölgesinde yapılan çalışmada, silisleşmiş ağaçlar hakkında elde edilen bulgular bölge paleobotaniği için önemli katkılar sağlamıştır (Çevik Üner ve diğ., 2020). Bölgede su kenarı-bataklık koşullarını belirten *Glyptostroboxylon rudolphii* (Bataklık servisi) türü Trakya'da Oligosen-Erken Miyosen döneminde ilk defa tanımlanmıştır. Ayrıca, nemli ve sıcak, subtropikal bir iklimi işaret eden cf. *Quercoxylon caucasicum* (Herdem yeşil meşe) ve cf. *Ginkgoxylon lesboense* (Ginkgo) türlerinin varlığı da Türkiye'de ilk defa doktora tezi kapsamında tanımlanmıştır. Diğer tayinlerden olan *Taxodioxylon gypsaceum* (Bataklık servisi) türüne ait ortamsal ve iklimsel özellikler tespit edilen bulguları desteklemektedir (Şekil 5.5).



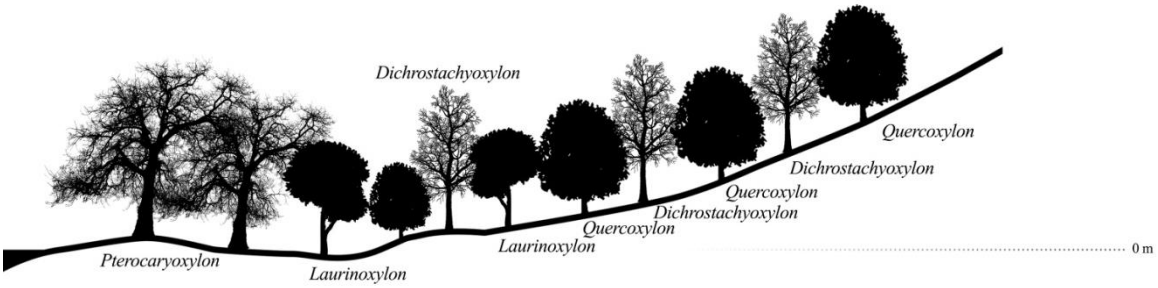
Şekil 5.5: Keşan (üst) ve Malkara (alt) bölgelerinde tayini yapılan ağaçların simgesel dağılımı ve olası orman yapıları.

Silivri bölgesinde, *Laurinoxylon*sp. (Defneler), *Quercus* sect. *Ilex* (Herdem yeşil meşe), cf. *Sassafrasoxylon* sp. (Defneler), *Dichrostachyoxylon zirkelii* (Fosil akasya) ile *Pterocaryoxylon tuncayi* (Cevizler) odun cins ve türleri tayin edilmiştir (Şekil 5.6).



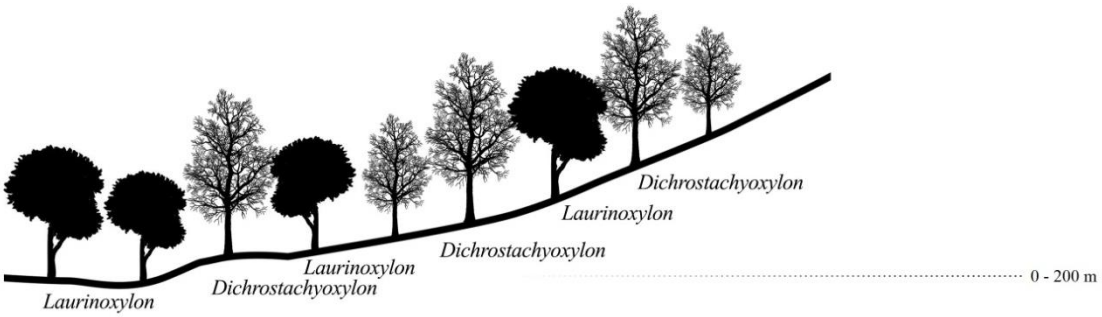
Şekil 5.6: Silivri bölgesinde tayini yapılan ağaçların simgesel dağılımı ve olası orman yapısı.

Yalıköy bölgesinde, *Dichrostachyoxylon zirkelii*, *Pterocaryoxylon (Cevizler)*, *Laurinoxylon* sp. (Defneler), *Quercoxylon* sect. *Ilex* (Herdem yeşil meşe) odun cins ve türleri saptanmıştır (Şekil 5.7).



Şekil 5.7: Yalıköy bölgesinde tayini yapılan ağaçların simgesel dağılımı ve olası orman yapısı.

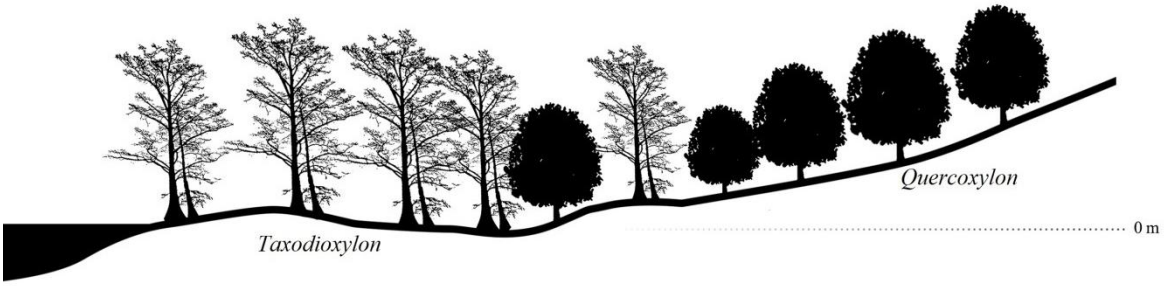
Trakya Bölgesi kapsamında çalışılan son bölge olan Beylikdüzünde ise *Dichrostachyoxylon zirkelii* (Fosil akasya) ile *Laurinoxylon* sp. (Defneler) fosil odunları teşhis edilmiştir (Şekil 5.8).



Şekil 5.8: Beylikdüzü bölgesinde tayini yapılan ağaçların simgesel dağılımı ve olası orman yapısı.

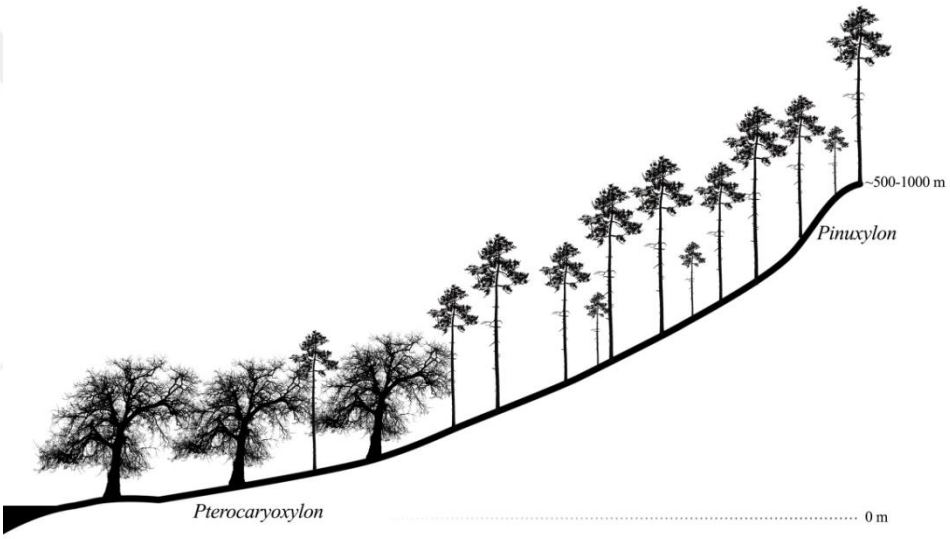
Trakya Bölgesine ait bu veriler ile birlikte yüksek nemli ve bol yağışlı, sıcak subtropik iklimin varlığı ile bataklık, sulak alan ve yamaçlardan oluşan bir arazinin olabileceği saptanmıştır.

Batı Anadolu kapsamında incelenen silisleşmiş ağaç örneklerinde ise; Tavşanlı (Kütahya) bölgesinde, *Taxodioxylon* (Bataklık servisi), *Pinuxylon* (Çam), *Pterocaryoxylon* (Cevizler), *Quercoxylon* (Herdem yeşil meşe) (Şekil 5.9) cins/türleri tespit edilmiştir.



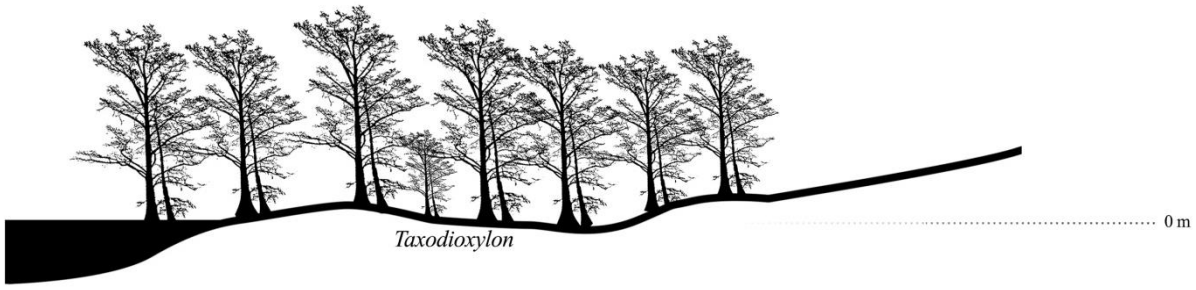
Şekil 5.9: Tavşanlı (Kütahya) bölgesinde tayini yapılan ağaçların simgesel dağılımı ve olası orman yapısı.

Osmancalı (Manisa) fosil alanında, *Pinuxylon* (Çam) *ve Pterocaryoxylon* (Cevizler) cinslerine ait fosil örnekleri tayin edilmiştir (Şekil 5.10).



Şekil 5.10: Osmancalı (Manisa) bölgesinde tayini yapılan ağaçların simgesel dağılımı ve olası orman yapısı.

Banaz (Uşak) bölgesinde ise *Taxodioxylon* (Bataklık servisi) fosil odun cinsi teşhis edilmiştir (Şekil 5.11). Bu ağaçlar tümüyle bataklık koşullarına uyum sağlamış olan bireylerden oluştuğu için silisleşmiş ağaçların bulunduğu alanda taban düzlüğündeki bataklık koşullarının hâkim olduğu, günümüze göre daha sıcak ve subtropikal bir iklimin varlığından söz etmek mümünkündür.



Şekil 5.11: Banaz (Uşak) bölgesinde tayini yapılan ağaçların simgesel dağılımı ve olası orman yapısı.

Batı Anadolu Bölgesinde gerçekleştirilen bu tanımlamalarına göre, Neojen'de günümüze göre daha sıcak ve nemli bir iklimin hâkim olduğu belirlenmiş, bölgedeki bataklık, akarsu kenarları ile yamaçlarda yer alan orman yapısının varlığı ortaya konmuştur.

Miyosen döneminde Ege Havzası genel olarak günümüze göre daha sıcak, tropikal-subtropikal bir iklim ve buna bağlı olarak gelişen bir orman yapısına sahiptir. Konuyla ilgili Denk et al. (2019), defnegiller ailesine ait makrofosillere dayanarak batı ve orta Türkiye'deki Akitaniyen ve Burdigaliyen döneminde baskın defne biyom olduğunu ifade etmiştir (Akkemik ve Çelik, 2022). Öte yandan Güner et al. (2017) ve Denk et al. (2019), Miyosen odunsu bitkilerin vejetasyon birimlerini tartışmıştır. Trakya ve Batı Anadolu'da tespit edilen cinslerden *Glyptostroboxylon ve Taxodioxylon* cinsleri akarsu çevresi, bataklık koşullar ve taban düzlüklerini (VU4) temsil eder; *Taxodioxylon* ayrıca iyi drene edilmiş alçak yükselti ormanlarında da (VU5) yetiştirebilir.

Tespit edilen tüm orman ağaçları birlikte değerlendirildiğinde muhtemelen yüksek arazilerdeki iyi drene edilmiş orman koşullarıyla birlikte, alçak alanlarda nehir kenarı ve bataklık koşullarına sahip bir orman yapısına işaret etmiştir. Bununla beraber, Biltekin (2017) ve Denk et al. (2019) çalışmalarında, tropikal ve subtropikal orman biyomları arasında kuraklıkların yaşandığı ara koşullar olabileceğini belirtmiştir. Akkemik (2021), Türkiye'nin Erken ve Orta Miyosen dönemine ait fosil ağaç türlerinin taksonomik bileşiminin yer yer kurakçıl koşulları içermesine rağmen tropikal/subtropikal türlerin varlığı ve yoğunluğu nedeniyle, dönemin daha sıcak, nemli ve yağışlı olduğunu ifade etmiştir. Akkiraz et al. (2011), palinolojik verilere dayanarak iklimsel açıdan önemli bir değerlendirme yapmıştır. Buna göre; Türkiye'de Erken Miyosen'den (Akitaniyen) Geç Miyosen'e (Orta Tortoniyen) kadar olan zaman dilimini kapsayan otuz beş palinoflora incelenmiş, yıllık toplam yağışın, Akitaniyen ve Erken-Orta Serravaliyen sırasında 1200 mm'yi aştığı, Batı ve Orta Türkiye'de

Geç Serravaliyen-Erken Tortoniyen'de 1000 ile 1300 mm arasında olduğu ileri sürülmüştür. Günümüzde ise bu değerlerBatı Anadolu'da 600-1000 mm olup daha düşüktür. Akgün et al. (2007) ise sıcaklıkla ilgili olarak Batı Anadolu'da Şattiyen ve Akitaniyen döneminde 16.5–21.3 °C yıllık ortalama sıcaklık ve 5.5–13.3 °C en soğuk ayın ortalama sıcaklığı ile sıcak subtropikal iklim koşullarında meydana geldiğini belirtmiştir. Burdigaliyen döneminde denizin gerilemesinden sonra, Geç Burdigaliyen-Langiyen döneminde iklimin soğuduğunu ifade etmiştir. Batı ve Orta Anadolu'da Burdigaliyen döneminde başlayan ve Erken-Orta Serravaliyen dönemine kadar devam eden karasal koşullarda bitki örtüsü geliştiğini belirtmiştir. Akgün et al. (2007) de, Erken-Geç Serravaliyen döneminde Batı ve Orta Anadolu'da iklim subtropikal olduğunu ifade etmiştir. Aynı çalışmada Erken-Orta Tortoniyen sırasında, yıllık ortalama sıcaklıkların 15,6–20,8 °C ve yıllık toplam yağışın 823-1520 mm arasında değiştiğini saptamışlardır. Diğer yandan Orta-Geç Tortoniyen boyunca 823 mm'de uzanan toplam yağış nedeniyle kurak mevsimler yaşandığını tespit etmişlerdir.

Sonuç olarak Miyosen dönemi; sıcaklık ve yağışın günümüze göre daha yüksek, subtropik ve tropikal bir iklimin mevcut ve zaman zaman da kurak koşulların olduğu bir dönemdir. Dr. Thomas Denk (kişisel görüşme) tespit edilen flora elemanlarının günümüz ile kıyaslaması yapıldığında güney-doğu Asya'nın tropikal ve subtropikal koşullarına büyük benzerlikler gösterdiğini ifade etmektedir.

5.4. SİLİSLEŞMİŞ AĞAÇLARIN GEMOLOJİK AÇIDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Silileşmiş ağaçlar üzerinde gerçekleştirilen gemolojik çalışmaları etkileyenen önemli fiziksel faktörlerin kesilebilirlik, dayanım ve renk/desen olduğu sonucuna varılmıştır. Silisifikasyon ile taşlaşmış ağaç örnekleri, oldukça sert ve dayanımlı malzemeler olmalarına karşın iç kısımlarında yer alan çatlak ve kırık yapıları ağaçların düzensiz çatlama, kırılma ve kopmalarına neden olmaktadır. Fosil ağaçlarda bu zayıf zonlar;

- silisleşme esnasında oluşan deformasyona bağlı mikro çatlaklarda,
- odun dokusunda yer alan yapısal farklılıklarda (yıllık halka sınırları, lifler vb.),
- farklı sertliklere sahip silis polimorflarının sınırlarında, (kuvars ve kalsedon sınırı vb. gibi),

- ❖ farklı iz elementlerin oluşturduğu bazı zonlarda dayanım farkılılıklarından (demir içeren kısımlar vb) oluşabildikleri gözlemlenmiştir.

Özellikle, zamanla suyunu kaybetmiş olan opal içerikli ağaçlar, kesim işleminden hasar almadan çıksalar da doplama veya cilalama işlemleri sırasında sıklıkla keskin yüzeyli çok parçalı kırılmalar oluşmaktadır. Bunun nedeninin doplama işleminde kullanılan ateşten ve cilalama işleminde keçe makinesindeki sürtünmeden meydana gelen aşırı ısı olduğu düşünülmektedir. Bu oluşan ısı nedeniyle ağacın içyapısındaki zayıf zonlar dayanımsız hale gelmekte, yapılan fiziksel müdahale ile de hasarlar yaşanmaktadır.

Silisleşmiş ağaçların gemolojik incelemelerinde, dayanım özelliklerinden sonra gelen en önemli özelliği renk ve desenleridir. Türkiye'de bulunan silisleşmiş ağaçlar renk ve desen açısından irdelendiğinde en geniş renk çeşitliliğine sahip örnekler Tokat ve civarında yer almaktadır. Bu çalışmada saptanan silisleşmiş ağaçlarda bazı örneklerin mavi ve yeşil tonlar içermesi sebebiyle Beylikdüzü ve Tavşanlı ağaçları süstaşı olarak nispeten albeni sunmaktadır. Diğer bölgelere ait krem-gri ve kahve tonlarındaki, desen açısından da kısıtlı örneklerin ise süstaşı olabilme potansiyelleri düşüktür. Gemolojik çalışmalarda bir diğer etken ise ağaca form verilmeden önce görülen renk-desenin, işlemden sonra elde edilenle genellikle farklı olmasıdır. Fosil ağaçlardoğal olarak sahip oldukları heterojen yapı sebebiyle işlendikçe iç kısımlarından farklı renk ve desen geçişleri çıkmakta, bundan dolayı her silisleşmiş ağaç parçasından birbirlerine benzemeyen görünümler elde edilmektedir. Bu değişimler, bazı örneklerde pozitif yönde bir gelişme olarak karşılansa da, çoğu zaman nihai sonucun öngörülememesi nedeniyle gemolojik açıdan tartışılabilir bir konudur.

Dünya'da, Tayland, Endonezya, Amerika, Yunanistan, Mısır, Çin gibi birçok ülkede görülen silisleşmiş ağaçlar miktar, renk ve çeşitlilik bakımından ülkemize göre oldukça zengindir. Yüksek sertlik ve dayanımları, içerdikleri zayıf zonlarının azlığı, bolluk oranlarıile renk/desen açısından çok geniş bir çeşitliğe sahip olmalarından dolayı takı, obje ve hatta mobilya ile kaplama malzemesi, olarak kullanılmaları yaygındır. Ancak doktora tez çalışmasında Trakya ve Batı Anadolu Bölgelerindeki silisleşmiş ağaçlar sertlik malzemeler olsalar da, dayanımsız ve renk/desen açısından kısıtlı olmaları açısından yetersiz kalmaktadırlar. Ayrıca, fosil ağaçların ülkemizde sınırlı alanlarda bulunmaları ve jeolojik, paleocoğrafik ve palebotanik çalışmalarda önemli veriler üretmelerinden dolayı, mutlaka korunması gereken jeolojik miras ögeleri olduğu unutulmamalıdır.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Doktora tez çalışması kapsamında incelenen silisleşmiş ağaçlar Trakya ve Batı Anadolu Bölgelerinde klastik ve volkanoklastik birimler içerisinde tespit edilmiş oluşumlardır. Her iki bölgede de Neojen döneminde meydana gelen volkanizma faaliyetlerine bağlı olarak oluşan silisçe zengin hidrotermal çözeltilerin aktif rol aldığı ve ortaç-asidik karakterli bir magmatizmanın ürünleri olabileceği yapılan çalışmalarla tespit edilmiştir. Trakya ve Batı Anadolu Bölgesindeki silisleşmiş ağaçlarla ilgili yapılan bu çalışmada elde edilen sonuçlar ile bu sonuçlara ait karşılaştırma tablosu (Tablo 6.1) aşağıda verilmiştir:

- Trakya Bölgesindeki silisleşmiş ağaçlar, genellikle kumtaşı-silttaşı ve kiltaşı ardalanmasından, yer yer kömür bantları içeren kırıntılı sedimanter kayaçlar içerisinde, kömür oluşumlarına eşlik edecek şekilde oluşurken; Batı Anadolu'daki silisleşmiş ağaçlar bölgedeki Neojen volkanizmasıyla ilşkili, tüflerden oluşan volkanosedimanter birimler içerisinde oluşmaktadır. Batı Anadolu'daki birimlerde kömür oluşumları genellikle gözlenmemiştir.

- Her iki bölgedeki fosil ağaçların petrifikasyonları, silisleşme mekanizması ile gerçekleşmiştir. Silisleşmenin, çok yönlü bir süreç olduğu ve farklı silis formlarının bir arada gelişebileceği sonucuna varılmıştır.

- Ağaçlara ait ince kesitlerin polarizan mikroskop altında incelenmesi sonucu, silisin düşük P-T polimorfları olan opal, kalsedon ve kuvarsların oluşuşumları tespit edilmiştir.

- Anatomik yapıya göre enine, radyal ve teğet yönlerden alınan kesitlerde, mineralizasyonun odun dokusuna uyumlu geliştiği gözlenmiştir. Belirli bir polimorfun oluşması için gerekli bir anatomik yön belirlenmemiş, tüm polimorfların üç anatomik yönde de gelişebileceği saptanmıştır.

- Polarizan mikroskop altında yapılan petrografik çalışmalarda, tanımlanan kuvarslar genellikle orta taneli kristaller şeklinde olup, lümen veya çatlak kısımlar gibi rahat büyüyebilecekleri boşluklu alanlarda oluşurken, opal ve kalsedonlar dar alanları doldurmaktadır. Odun dokusunun korunduğu örneklerde, hücre çeperlerinde mikrokristalen kuvars ve kalsedon, lümenlerde sıklıkla opal ve mikrokristalen kuvars tespit edilmiştir. Odun dokunun korunmadığı örneklerde ise genellikle orta taneli ve eş boyutlu kuvarslar ile mikrokristalen kuvars oluşumları görülmüştür. Özellikle kömür içeren bölgelere yakın olan örneklerde olmak üzere, mikroskop altında bazı hücre çeperlerinde, koyu kahve-siyah renkli olarak görülen kısımlarda organik maddenin varlığı saptanmıştır.

- İnce kesitlerde tanımlanan kuvarsın varlığı, tüm çalışma bölgelerinde gerçekleştirilen XRD analiz sonuçlarında elde edilen %100'lük pik değerleri ile desteklenmiştir. Ayrıca, opal-CT pikleri de XRD difraktogramlarında belirgin şekilde tespit edilmiştir.

- Raman spektoskopisi sonuçlarında, benzer pik değerlerine sahip kuvars-kalsedon ile opal-CT ve moganit tanımlanmıştır. Konfokal Raman cihazı ile Keşan (K14) ve Malkara (M7) örneklerinde gerçekleştirilen noktasal analizde ise hücre çeperlerinde bulunan karbonun ve kuvars/kalsedonun varlığı saptanmış, lümen içinde ise karbona rastlanmayıp moganit, kuvars/kalsedon ve opal-CT polimorfları tespit edilmiştir.

- FT-IR analiz sonuçlarında ise tridimit ve kuvarsın ideal pikleri elde edilmiştir.

- Tüm bölge örneklerinin özgül ağırlık ölçümlerinde elde edilen 1,93-2,56 gr/cm^3 değer aralığı silisleşmiş ağaçların opalden-kuvarsa kadar değişen bir mineralojiye sahip olduklarını görülmüştür. Ayrıca, parlatılmış ağaç örneklerinde gerçekleştirilen refraktif indeks (RI) ölçümlerinde, örneklerin 1,53-1,55 değer aralığında olduğu saptanmıştır.

- Elektron mikroskop incelemelerinde odun dokusunun yapısı ile barındırdığı iri kuvars taneleri, kalsedon, opal-CT ve opal-A'nin görüntülemeleri yapılmıştır.

- Silisleşmiş ağaçların elementer bileşimini saptamak için gerçekleştirilen EDS yarı kantitatif analizinde, tüm bölgelerin örneklerinde temel bileşenler olan oksijen ve silis saptanmıştır. Ayrıca, Keşan bölgesi örneklerinde kalsiyum, kükürt, demir, krom ile Silivri bölgesi örneğinde kalsiyumun varlığı tespit gözlenmiştir.

- Jeokimya çalışmaları kapsamında LA-ICP-MS ve ICP-OES analizleri ile silisleşmiş ağaçların renk içeriğinin temel olarak ana ve iz elementlerin bileşimine, kısmen de organik maddenin varlığına bağlı olduğu görülmüştür. Analizlerde tüm ağaçlarda tespit edilen demir, en önemli renklendirici element olup, konsantrasyonu ve oksidasyon derecesi ile kırmızı rengi ve tonlarını (turuncu, kahve vb) kontrol etmektedir. Bunun haricinde krom, parlak yeşil rengi ve tonlarını oluşturmuştur. İki önemli element dışında, Al_2O_3, MgO, Cu, La, V, Th, Li, Co, Ni değerleri de farklı renk geçişlerine sebep olmaktadır. Silisleşmiş ağaçlardaki renklenmeye neden olan elementler, fosilleşme sırasında bölgedeki riyolitik-andezitik volkanizmanın asidik-ortaç bileşimdeki çözeltilerle ağaçlar içerisinde bulunabileceği ileri sürülebilir.

- Paleobotanik çalışmalar kapsamında Trakya Bölgesi silisleşmiş ağaç örneklerinde tespit edilen *Glyptostroboxylon rudolphii* (Bataklık servisi) bulgusu, Trakya Bölgesi'nde Oligosen-Erken Miyosen döneminde ilk kez tanımlanmıştır. cf. *Quercoxylon caucasicum* (Herdem yeşil meşe) ile cf. *Ginkgoxylon lesboense* (Ginkgo) türleri ise Türkiye'de ilk defa doktora tez çalışması kapsamında yapılan tayinlerde belirlenmiştir. Ayrıca, *Taxodioxylon gypsaceum* (Bataklık servisi), cf. *Sassafrasoxylon* sp. (Defnegil), *Dichrostachyoxylon zirkelii* (Fosil akasya), *Pterocaryoxylon tuncayi* (Cevizler), *Laurinoxylon*sp. (Defnegiller), *Quercus* sect. *Ilex* (Herdem yeşil meşe) odun tür ve cinsleri saptanmıştır. Bu ağaç çeşitliliğine göre, yaşam ortamının genellikle bataklık, sulak alan ve yamaçlardan oluşan bir arazi olabileceği yorumu yapılmıştır.

- Batı Anadolu Bölgesi fosil ağaçların paleobotanik incelemelerinde, Trakya bölgesi ile benzer cinslere sahip olduğu gözlenmiştir. Bölgede, *Taxodioxylon* (Bataklık servisi), *Pinuxylon* (Çam), *Pterocaryoxylon, Quercoxylon* (Herdem yeşil meşe) ve *Glyptostroboxylon* (Bataklık servisi) fosil ağaç cinsleri teşhis edilmiştir Bu verilere göre, bölgede akarsu kenarlarında ve bataklık ortamında yer alan bataklık servisi

ormanları ile büyük olasılıkla alçak yamaçlarda bulunan çam ve meşelerin oluşturduğu bir orman yapısının varlığı söz konusudur.

- Tüm çalışma bölgelerindeki ağaç türlerinin bileşimine dayanarak Neojen döneminde günümüzden daha sıcak, nemli ve bol yağışlı subtropikal bir iklimin egemen olduğu belirlenmiştir.

- Silisleşmiş ağaçlar gemolojik açıdan incelendiğinde genellikle zayıf zonlar içermekte olduğu, bu zayıf zonların taşlaşma esnasında oluşan mikro çatlaklardan, farklı karakterdeki silis polimorflarının sınırlarından, içerdikleri karbon gibi bazı elementlerin yarattığı dayanım farklılıklarından ve/veya odun yapısında bulunan unsurlardan (yıllık halka sınırı, lifler vb) kaynaklanabileceği gözlenmiştir. Bu zayıf zonları içeren örnekler dışında, opalleşme şeklinde oluşan ağaçlarda da, kırılgan özelliğinden dolayı keskin yüzeyli çok parçalı kırılmalar saptanmıştır.

- Tüm çalışma bölgelerine ait örnekler karşılaştırıldığında, Beylikdüzü (İstanbul), Tavşanlı (Kütahya), Banaz (Uşak)'a ait, sırasıyla grimsi mavi, yeşil ve kırmızı renk içeren ağaç örnekleri dışında, diğer tüm bölge örneklerinde krem-gri-kahverengi tonlarda kısıtlı renk içeriği ile zayıf zonları oluşturacak odun desenlerinin varlığı belirlenmiştir. Tüm bu özellikler göz önüne alındığında, her iki bölgede tanımlanan örneklerin, süstaşı olabilme potansiyellerinin düşük olduğu sonucuna varılmıştır.

- Ülkemizde sınırlı alanlarda ve az miktarda bulunan fosil ormanlar, önemli bilimsel verilerin elde edilebileceği nadir alanlardır. Bu alanların yerine konulamayacak değerler olduğu vurgusu yapılarak, korunmasının gerekliliği hakkında farkındalık yaratılmalıdır. Fosil ormanların jeolojik miras kapsamına alınarak, gelecek nesillere aktarılmasının önemi, yapılan çalışmalar vasıtasıyla ortaya konmalıdır.

Tablo 6.1. Trakya ve Batı Anadolu Bölgelerindeki silisleşmiş ağaçların jeolojik-mineralojik-jeokimyasal-botanik ve gemolojik özelliklerinin karşılaştırılması.

	TRAKYA BÖLGESİ		**BATI ANADOLU BÖLGESİ**		
Lokasyon	**Keşan (Edirne) - Malkara (Tekirdağ)**	**Yalıköy-Silivri-Beylikdüzü (İstanbul)**	**Tavşanlı (Kütahya)**	**Osmancalı (Manisa)**	**Banaz (Uşak)**
Formasyon	Danişmen Fm	İstanbul Fm Kıraç Üyesi	Çokköy Fm	Foça Tüfü	Yeniköy Fm
Volkanizma	Hisarlıdağ V.	Hisarlıdağ V.	Karaköy V.	Yuntdağı V.	Karacahisar V.
Yaş	Geç Oligosen-Erken Miyosen	Geç Oligosen-Orta Miyosen	Pliyosen	Erken-Orta Miyosen	Orta-Geç Miyosen
Ortam	Göl, bataklık, taşkın ovası ve akarsu	Akarsu, göl ve lagün	Göl, bataklık	Göl	Akarsu, göl
Litoloji	Kumtaşı, kiltaşı, kömür ara tabakalı	Çakıltaşı, kumtaşı, kiltaşı	Çakıltaşı, kumtaşı, kiltaşı, tüf	Riyolitik piroklastikler - lav, kiltaşı	Konglomera, kumtaşı, kiltaşı, tüf
Botanik Tanımlama	-*Glyptostroboxylon rudolphii* (Bataklık servisi)* -cf. *Quercoxylon caucasicum* (Herdem yeşil meşe)** -cf. *Ginkgoxylon lesboense* (Ginkgo)** -*Taxodioxylon gypsaceum* (Bataklık servisi)	-*Laurinoxylon*sp. (Defneler) -*Quercus* sect. *Ilex* (Herdem yeşil meşe) -cf. *Sassafrasoxylon* sp. (Defneler) -*Dichrostachyoxylon zirkelii* (Fosil akasya) -*Pterocaryoxylon tuncayi* (Cevizler) -*Pterocaryoxylon (Cevizler)*	-*Taxodioxylon* (Bataklık servisi) -*Pinuxylon* (Çam) -*Pterocaryoxylon* (Cevizler) -*Quercoxylon* (Herdem yeşil meşe)	-*Pinuxylon* (Çam) - *Pterocaryoxylon* (Cevizler)	-*Taxodioxylon* (Bataklık servisi)

***** Trakya' da Oligosen-Erken Miyosen döneminde ilk defa tayin tanımlanmıştır.
****** Türkiye' de ilk defa tanımlanmıştır.

Tablo 6.1 (Devam): Trakya ve Batı Anadolu Bölgelerindeki silisleşmiş ağaçların jeolojik-mineralojik-jeokimyasal-botanik ve gemolojik özelliklerinin karşılaştırılması.

Lokasyon	**TRAKYA BÖLGESİ**		**BATI ANADOLU BÖLGESİ**		
	Keşan (Edirne) - Malkara (Tekirdağ)	**Yalıköy-Silivri-Beylikdüzü (İstanbul)**	**Tavşanlı (Kütahya)**	**Osmancalı (Manisa)**	**Banaz (Uşak)**
Mineralojik Tanımlama	Opal-A, Opal-CT, moganit, kalsedon, kuvars				
	Mikrokristalen ve orta tane boylu kuvarslar egemen. Malkara: Organik madde oranı fazla.	Yalıköy: İri ve mikrokristalen kuvars Silivri: İnce-orta taneli kuvars Beylikdüzü: Opal	Orta taneli ve mikrokristalen kuvars, çatlaklarda iri kuvarslar	İnce-orta taneli kuvars, çatlaklarda iri kuvarslar	Mikrokristalen ve orta taneli kuvars
Ana Element İçeriği	Malkara: En düşük SiO_2 değeri	Yalıköy-Silivri: Fe_2O_3 ile Al_2O_3 değerleri nispeten yüksek	En yüksek SiO_2 değeri	Fe_2O_3 nispeten yüksek	Fe_2O_3 nispeten yüksek
İz Element İçeriği	As daha zengin, Keşan: EDS ile Ca, S, Fe, Cr	Silivri: EDS ile Ca	Cr değeri nispeten yüksek	P daha zengin	FeO ve V değeri nispeten yüksek
	Co, Ni, Cr, Cu, Zn, Pb mevcut				
LOI	Malkara: %3,99 ile *en yüksek* değer	Beylikdüzü:%3,79 ile yüksek değer	%0,05 ile *en düşük* değer	%1,05 değerinde	%3,00 yüksek değerde
TC	Malkara: %7,33 ile *en yüksek* değer	Silivri: % 0,04 ile *en düşük* değer	%0,14, %0,31	%0,16-%0,33 değer aralığında	%0,17, %0,22
TS	Malkara:%0,19 ile *en yüksek* değer	Yalıköy-Silivri: - Beylikdüzü:%0,02	-	%0-0,33 değer aralığında	-
Gemolojik Özellikler	Organik kısımlar siyah, diğer kısımlar açık kahve, gri, bej	Kahverengi, gri, siyah, bej Beylikdüzü:Grimsi mavi, gri, beyaz	Yeşil, beyaz, siyah, koyu kahverengi,	Beyaz, bej, gri, kahverengi	Siyah, bordo, koyu kırmızı
	Bol miktarda zayıf zon içeriği - Opal oranı yüksek örneklerde çoklu kırılmalar				

KAYNAKLAR

Acarca Bayam, N.N., Akkemik, Ü., Poole, I., Akarsu, F., 2018, Further contributions to the early Miocene forest vegetation of the Galatian Volcanic Province, Turkey, *Palaeobotanica Electronica*, 21 (3), 1–42.

Akahane, H., Furunob, T., Miyajimac, H., Yoshikawad, T., Yamamotoe, S., 2004, Rapid wood silicification in hot spring water: an explanation of silicification of wood during the Earth's history, *Sedimentary Geology* 169, 219–228.

Akartuna, M., 1953, Çatalca-Karacaköy bölgesinin jeolojisi, *İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Monografileri,* 13, 88.

Akartuna, M., 1968, Armutlu Yarımadasının Jeolojisi. *İ.Ü. Fen Fak. Monografisi*, 120.

Akay, E., Erdoğan, B., 2004, Evolution of Neogene calc-alkaline to alkaline volcanism in the Aliağa-Foça region (Western Anatolia, Turkey), *Journal of Asian Earth Sciences*, 24, 367-387.

Akdeniz, N., Konak, N., 1979, Simav-Emet-Tavşanlı-Dursunbey-Demirci yörelerinin jeolojisi, *Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü, Ankara*, Rapor No: 6547, 168 (Yayınlanmamış).

Akgün, F., Kayseri, M.S., Akkiraz, M.S., 2007, Paleoclimatic evolution and vegetational changes during the Late Oligocene–Miocene period in western and central Anatolia (Turkey), *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol*., 253, 56–90.

Akkemik, Ü., Kose, N., Poole, I., 2005, Sequoioiodae (Cupressaceae) woods from the upper Oligocene of European Turkey (Thrace), *Phytologia Balcanica,* 11, 119-131.

Akkemik, Ü., Sakınç, M., 2013, *Sequoioxylon* petrified woods from the Mid to Late Oligocene of Thrace (Turkey), *IAWA Journal,* 34(2), 177-182.

Akkemik, Ü., Arslan, M., Poole, I., Tosun, S., Köse, N., Karlıoğlu Kılıç, N., Aydın, A., 2016, Silicified woods from two previously undescribed early Miocene forest sites near Seben, northwest Turkey, *Review Palaeobotany Palynology,* 235, 31-50.

Akkemik, Ü., 2018, Odun Tanımı ve Ekolojik Odun Anatomisi, *İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Orman Fakültesi Orman Botaniği Anabilim Dalı*, yayınlanmamış kitap.

Akkemik, Ü., Akkılıç, H., Güngör, Y., 2019a, Fossil wood from the Neogene of the Kilyos coastal area in Istanbul, Turkey, *Palaeontographica, Abt. B: Palaeobotany – Palaeophytology,* Vol. 299, 1–6, 133–185.

Akkemik, Ü., Kıran Yıldırım, D., Sakala, J., Akkılıç, H., Altınışık, A., 2019b, New petrified wood descriptions from west-central Anatolia: contribution to the composition of the Neogene forest of Turkey, *N.Jb. Geol. Palaeontologie Abh*., 292(1), 57-71.

Akkemik, Ü., 2021, A re-examination of the angiosperm wood record from the early and middle Miocene of Turkey and new species descriptions, *Acta Palaeobotanica*, 6(1), 42-94.

Akkemik, Ü., Çelik, H., 2022, Türkiye'de tespit edilen fosil gymnosperm ağaçlarının mekânsal ve zamansal dağılımı, *Turkish Journal of Biodiversity*, 5(1), 57-56.

Akkiraz, M.S., Akgün, F., Utescher, T., Bruch, A.A., Mosbrugger, V., 2011, Precipitation gradients during the Miocene in Western and Central Turkey as quantified from pollen data, *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology,* 304(3-4), 276-290

Akkiraz, M.S, Akgün, F., Utescher, T., Wilde, W., Bruch, A.A., Mosbrugger, V., 2012, Palaeoflora and climate of lignite-bearing lower–middle miocene sediments in the Seyitömer and Tunçbilek subbasins, Kütahya province, Northwest Turkey, *Turkish Journal of Earth Sciences*, 21, 213-235.

Akyol, E., Aygün, F., 1995, Trakya karasal Tersiyer'inde yaş tayinleri, *Trakya Havzası Jeolojisi Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, 28-29.

Alişan, C., 1985, Trakya "I" Bölgesi'nde Umurca-1, Kaynarca-1, Delen-1 kuyularında kesilen formasyonların palinostratigrafisi ve çökelme ortamlarının değerlendirilmesi, *TPAO Araştırma Grubu Arşivi*, yayınlanmamış teknik rapor, 386, 60 s.

Alişan, C., Gerhard, J.E., 1987, Kuzey Trakya havzasında açılan üç kuyunun palinostratigrafisi ve kaynak kaya özellikleri,*Türkiye 7. Petrol Kongresi Bildiriler Kitabı*, 461-474.

Aras, A., Sakınç, M., Yaltırak, C., 2004, Petrified angiosperm woods in the Thrace Formation (Pliocene-E. Quaternary?) in eastern Thrace, NW Turkey, *International Symposium On Wood Sciences Organised by IAWA-IAWS*.

Arıç, C., 1955, İstanbul Paleozoyik arazisinde bulunan oolitli ve fosilli demir madeni, *İTÜ Dergisi*, II, 3-4, 67-68.

Arık, F., 2002, *Gümüşköy (Kütahya) Gümüş Yatağının Jeokimyasal Modellemesi*, Doktora, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Aslaner, M., 1956, Tozaklı, Poyralı linyitleri ve Pınarhisar civarının jeolojisi, *Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Dergisi,* 66, 126-142.

Aydar, E., 1998, Early Miocene to Quaternary evolution of volcanism and the basin formation in Western Anatolia: a review, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 85, 69-82.

Aydın, H., 1997, Uşak-Banaz Yörelerinin Jeoloji ve Kömür Olanakları, *MTA Enerji Hammadde Etüt ve Arama Daire Başkanlığı*, Rapor No: 10260.

Aydoğan, M.S., 2006, *Baklan Graniti (Murat Dağı, Banaz/Uşak) Civarındaki Baz Metal Cevherleşmesinin Mineral Parajenezi, Metal Zonlanması ve Kökenlerinin İzotop Jeokimyası İle Saptanması*, Dokora, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Aysal, N., 1994, *Banaz-Hatipler-Bahadır Köyleri (Uşak) Civarının Jeolojisi*, Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi.

Aysal, N., Yılmaz Şahin, S., Güngör, Y., Peytcheva, I., Ongen, S., 2018, MiddlePermian–early Triassic magmatism in the Western Pontides, NW Turkey: Geodynamic significance for the evolution of thePaleo-Tethys, *Journal of Asian Earth Sciences*, 164, 83-103.

Ballhaus, C., Gee, C.T., Bockrath, C., Greef, K., Mansfeldt, T., Rhede, D., 2012, The silicification of trees in volcanicash–An experimental study, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 84, 62–74.

Bardet, M.,Pournou, A., 2015, Fossil wood from the Miocene and Oligocene epoch: chemistry and morphology, *Magn. Reson. Chem*., 53, 9–14.

Bardet, M., Pournou, A., 2017, *NMR Studies of Fossilized Wood,* Annual Reports on NMR Spectroscopy, In: Graham, W. (ed.), Chapter 2, Elsevier, United Kingdom,1-203.

Baş, H., 1983, Domaniç-Tavşanlı-Kütahya-Gediz Yörelerinin Tersiyer Jeolojisi ve Volkanitlerin Petrolojisi, *Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü*, Rapor no: 7293.

Baş, H., 1986, Domaniç-Tavşanlı-Kütahya-Gediz yöresinin Tersiyer jeolojisi, *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 17, 11–18.

Baş, H., 1987, Tavşanlı-Domaniç (Kütahya) volkanitlerinin özellikleri ve Batı Anadolu Senozoyik volkanizmasındaki önemi, *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 30, 67-80.

Batı, Z., Erk, S., Akça, N., 1993, Trakya Havzası Tersiyer birimlerinin palinomorf, foraminifer ve nannoplankton biyostratigrafisi, *TPAO Araştırma Grubu Arşivi,*Rapor no: 1947, 92 s.

Batı, Z.,1996, *Palynostratigraphy and Coal Petrography of theUpper Oligocene Lignites of the Northern Thrace Basin, NW Turkey,* PhD, Middle East Technical University Graduate School of Natural and Applied Sciences.

Batı, Z., Alişan, C., Ediger, V.Ş., Teymur, S., Akca, N., Sancay, H., Ertuğ, K., Kirici, S., Erenler, M., Aköz, Ö., 2002, Kuzey Trakya Havzası'nın palinomorf, foraminifer ve nannoplankton biyostratigrafisi, *Turkiye Stratigrafi Komitesi Calıştayı Özleri*, s.14.

Batı, Z., Siyako, M., 2005, Hisarlıdağ Formasyonu'nun stratigrafisi, *TPAO Araştırma Daire Başkanlığı Arşivi*, yayınlanmamış teknik rapor, 2974, 7 s.

Baykal, F., 1954, Alaşehir-Uşak mıntıkasının jeolojisi hakkında rapor, *MTA Derleme Rapor*, no: 2296 (Yayımlanmamış).

Baykal, M.F., 1963, İstanbul Boğazı batısındaki sahanın jeolojik etüdü, *Maden Tetkik ve Arama Enstisüsü*, Rapor no 3267.

Biltekin, D., 2017, Palaeovegetational and palaeoclimatic changes during the early Miocene in central Taurus, Turkey, *Bulletin of the Earth Sciences Application and Research Centre of Hacettepe University*, 38, 101–114.

Bingöl, E., 1977, Muratdağı jeolojisi ve ana kayaç birimlerinin petrolojisi, *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni,* 20: 13-66

Blackwell, W.H., Marak, J.H., 1989, The scientific investigation of fosil wood, *Miss. Geol*. 10, 1–11.

Boer, N.P., 1954, Report on a geological reconnaissance in Turkish Thrace, *September, December, G.A.* Report No: 25373.

Boynton, W.V., 1984, *Geochemistry of Rare Earth Elements: Meteorite Studies*, Rare Earth Eelement Geochemistry, In: Henderson, P. (ed.), Elsevier, Newyork, 63-114.

Brinkmann, R., 1966, Geotektonischegliederung von Westanatolien, *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie*, 10, 603-618.

Brown, C.A., 1938,The flora of Pleistocene deposits in the western Florida parishes, West Felicianaparish, and East Baton Rougeparish, Louisiana. *Louisiana Geological Survey Geology Bulletin*,12, 59–96.

Burke, W.F., Uğurtaş, G., 1974, Seismic interpretation of Thrace Basin,*TPAO Internal Report*.

Buurman, P., 1972, Mineralization of fossilwood, *Scr. Geol.,* 12, 1–43.

Chopparapu, C., Rajanikanth, A., 2018, Mesozoic woods from India: Nomenclature review and palaeoclimatic implications, *PalaeoWorld*,27, 211-225.

Chou, C.-L., 2012, Sulfur in coals: a review of geochemistry and origins, *International Journal of Coal Geology*, 100, 1-13.

Çağlayan, M.A., Şengün, M., Yurtsever, A., 1988, Main fault systems shaping the Istranca Massif, Turkey, *Metu Journal of Pure and Applied Sci., Serie A Geosciences*, 21, 145-154.

Çağlayan, M.A., Yurtsever, A., 1998, *Burgaz-A3, Edirne-B2 ve B3; Burgaz-A4 ve Kırklareli-B4; Kırklareli-B5 ve B6; Kırklareli-C6 paftaları,* 1:100 000 ölçekli açınsama nitelikli Türkiye jeoloji haritaları, No: 20, 21, 22, 23. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.

Çelik, Y., 1999. *Domaniç (Kütahya) Neojen Havzasının Sedimantolojisi ve Kömür Potansiyeli*, Doktora, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Çevik Üner, B., Akkemik, Ü., Yılmaz Şahin, S., 2020, Malkara-Keşan (GB Trakya) cevresinde bulunan silisleşmiş ağacların türlerinin tespiti ve mineralojik-petrografik ozellikleri. *Eurasian Journal of Forest Science* 8-4, 309-337.

Çevik Üner, B., Yılmaz Şahin, S., Akkemik, Ü, 2022a, Mineralogical and paleobotanical investigations of Oligo-Miocene petrified wood from the southwest of ThraceBasin (NW Turkey), *Turkish Journal of Earth Sciences*, 31, 49-70.

Çevik Üner, B., Yılmaz Şahin, S., Akkemik, Ü, 2022b, Batı Anadolu'da Silislemiş Ağaç Türlerinin Bazı Mineralojik ve Gemolojik Özellikleri, *Türkiye Jeoloji Bülteni* (Basımda).

Denk, T., Güner, H.T., Bauchal, J.M., 2019, Early Miocene climate and biomes of Turkey: Evidence from leaf fossils, dispersed pollen, and petrified wood, Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 530 (2019) 236–248.

Dernbach, U., Herbst, R., Jung, W., Selmeier, A., Schaarschmidt, F., Velitzelos, E., 1996, Versteinerte Wälder, *D'Oro*,188 s.

Dietrich, D., Lampke, T., Röβler, R., 2013, A microstructure study on silicified wood from the Permian Petrified Forest of Chemitz, *Paläontologische Zeitschift*, 87, 814-834.

Dietrich, D., Viney, M., Lampke, T., 2015, Petrifactions and wood-templated ceramics: Comparisons between natural and artificial silicification, *IAWA Journal*, 36(2), 167-185.

Dietrich, D., Trümper, S., Lampke, T., Röβler, R., 2020, Silica-Modifikationen in fruhpermischen verkieselten Holzern unterschiedlicher Vorkommen, *Veröffentlichungen Museum für Naturkunde Chemnitz*, 43, 131-140.

DiMichele, W.A., Falcon-Lang H., 2011, Fossil forests in growth position (T0 assemblages): origin, taphonomic biases and palaeoecological significance, *Journal of the Geological Society, London*, 168, 585-605.

Dolezych, M., van der Burgh, J., 2004, Xylotomische Untersuchungen an inkohlten Hölzernaus dem Braun kohlentagebau Berzdorf (Oberlausitz, Deutschland), *Feddes Reportorium*, 115(5-6), 397–437.

Doust, H., Arıkan, Y., 1974, The geology of theThrace Basin, *Türkiye İkinci Petrol Kongresi Tebliğleri Kitabı*, 119-136.

Dönmez, M., Türkecan, A., Akçay, A.E., Hakyemez, Y., Sevin, D., 1998, İzmir ve kuzeyinin jeolojisi Tersiyer volkanizmasının petrografik ve kimyasal özellikleri, *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğ,ü* Rapor No: 10181 (yayımlanmamış).

Dönmez, M., Akçay, A.E., Türkecan, A., 2014,*İzmir – K 18 Paftası*, 1:100 000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları, Maden Tetkik ve Arama Müdürlüğü Jeoloji Etütleri Dairesi, No: 213.

Duman, T.M., Keçer, M., Ateş, Ş., Emre, Ö., Gedik, İ., Karakaya, F., Durmaz, S., Olgun, Ş., Şahin, H. ve Gökmenoğlu, O., 2004, İstanbul metropolü batısındaki (Küçükçekmece- Silivri-Çatalca yöresi) kentsel gelişme alanlarının yer bilim verileri, *Özel Yayın Serisi-3*, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.

Ediger, V.Ş., Batı, Z., 1988, Morphological examination of Pediastrum (Chlorophyta) from the Tertiary strata of theThrace basin (NW Turkey), *Pollen et Spores*, 30(2), 203

Ediger, V.Ş., Alişan, C., 1989, Tertiary fungal and algal palynomorph biostratigraphy of the northern Thrace basin, Turkey, *Review of Palaeobotany and Palynology*, 58, 139-161.

Elmas, A., 2012, The Thrace Basin: stratigraphic and tectonic-palaeogeographic evolution of the Palaeogene formations of northwest Turkey, *International Geology Review*,54 (12), 1419-1442.

Erarslan, C., Örgün, Y., Bozkurtoğlu, E., 2014,Geochemistry of traceelements in the Keşan coal and its effect on the physico chemical features of ground-andsurfacewaters in the coalfields, Edirne, Thrace Region, Turkey, *International Journal of CoalGeology*, *133*, 1-12.

Erarslan, C., Örgun, Y., 2017, Mineralogical and geochemical characteristics of coal ash from the Northwest Thrace region, Turkey: a casestudy, *Arabian Journal of Geosciences* 10 (10).

Erarslan, C., 2018, *Saray (Tekirdağ) ve Pınarhisar (Kırklareli) Komurlerinin Sulfur ve İz Element İceriğinin Kokeni ve Komurlerin Cevresel Etkisinin Hidrojeokimyasal Acıdan Değerlendirilmesi*, Doktora, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Ercan, T., Dinçel, A., Metin, S., Türkecan, A., Günay, E. 1978, Geology of the Neogene basins in Uşak region, *Bulletin of the Geological Society of Turkey*, 21, 97–106.

Ercan, T., 1992, Trakya'daki Senozoyik volkanizması ve bölgesel yayılımı, *Jeoloji Mühendisligi*, 41, 37-50.

Ercan, T., Satır, M., Sevin, D., Türkecan, A., 1996, Batı Anadolu'daki Tersiyer ve Kuvaterneryaşlı volkanik kayalarda yeni yapılan radyometrik yaş ölçümlerinin yorumu, *M.T.A. Dergisi*, 119, 103-112.

Ercan, T., Türkecan, A., Gaillou, H., Satır, M., Sevin, D., Şaroğlu, F., 1998, Marmara Denizi Çevresindeki Tersiyer Volkanizmasının Özellikleri, *MTA Dergisi*, 120, 199-222.

Erdei, B., M. Dolezych, Hably L., 2009, The buried Miocene forest at Bükkábrány, Hungary, *Review of Palaeobotany and Palynology 155*, 1-2, 69–79.

Erdoğan, B., 1990, İzmir-Ankara Zonu'nun İzmir-Seferihisar arasındaki bölgede stratigrafik özellikleri ve tektonik evrimi, *Türkiye Petrol Jeologları Derneği Bülteni*, 2/1, 1-20.

Eroskay, S.O., 1978, Kocaeli Yarımadası Güneyindeki Kirectaşlarının Hidrojeolojisi ve Karst Parametrelerinin Analizi, *TUBİTAK TBAG 124 Projesi*.

Ersoy, E., Helvacı, C., 2007, Stratigraphy and geochemical features of the Early Miocene bimodal (ultrapotassic and calc-alkaline) volcanic activity within the NE-trending Selendi Basin, Western Anatolia, Turkey, *TurkishJournal of Earth Science*, 16, 117–139.

Ersoy, E.Y., Dindi, F., Karaoğlu, Ö., Helvacı, C., 2012, Soma Havzası ve Çevresindeki Miyosen Volkanizmasının Petrografik ve Jeokiömyasal Özellikleri, Batı Anadolu, Türkiye, *Yerbilimleri*, 33(1), 59-80.

Ersoy, E.Y., Çemen, İ., Helvacı, C., Billor, Z., 2014, Tectono-stratigraphy of the Neogene basinsin Western Turkey: Implications for tectonic evolution of theAegean Extended Region, *Tectonophysics*, 635, 33–58.

Ersoy, E.Y., Helvacı, C., 2016, Geochemistry and petrology of the lower Miocene bimodal volcanic units in the Tunçbilek–Domaniç basin, western Anatolia, *International Geology Review*, 58(10), 1234-1252.

Falcon-Lang, H.J., 2005, Intra-tree variability in wood anatomy and its implications for fosil wood systematics and palaeoclimatic studies, *Palaeontology*, 48, 171–183.

Folk, R.L.,1968, *Petrology of Sedimentaryrocks*, University of Texas Publication, Austin, 170 p.

Fytikas, M., Innocenti, F., Manetti, P.,Peccerillo A., Mazzuoli, R., Villari, L., 1984, Tertiary to Quaternary evolution of volcanism in the Aegean region, *Geological Society London*, Special Publications, 17, 687-699.

Gedik, İ., Pehlivan, Ş., Timur, E., Duru, Altun, İ., Akbaş, B., Özcan, İ., Alan, İ., 2005, Kocaeli Yarımadası'nın Jeolojisi, *Maden Tetkik ve Arama Enstitütsü,* Rapor No: 10774.

Gedik, İ., Timur, E., Umut, M., Bilgin, A.Z., Bilgin, Z.R., Pehlivan, Ş., Duru, M., Şenturk, K., Ozcan, İ., Celik, Y., 2014, *Kırklareli F20-c ve F20d Paftaları*,1:50000 Ölçekli Turkiye Jeoloji Haritaları,. MTA Jeoloji Etutleri Dairesi, Ankara.

Gerhard, J.E., Alişan, C., 1987, Palynostratigraphy, Paleoecology, and visual organic geochemistry Turgutbey-2, Değirmencik-3 and Pancarköy-1, ThraceBasin, Turkey, *TPAO Araştırma Merkezi Grubu Arşivi*, yayınlanmamış teknik rapor, 983, 33 s.

Gökçen, S., 1967, Keşan bölgesinde Eosen-Oligosen sedimantasyonu, güneybatı Türkiye Trakyası*, MTA Dergisi*, 69, 1-10.

Gregory, M., Poole, I., Wheeler, E., 2009, Fossil Dicot Wood Names: An Annotated List with Full Bibliography, *IAWA J. Suppl*., 6, 1-220.

Güçtekin, A., 2017, Hisarlıdağ (Enez-Trakya) Volkanizması Ortaç ve Asidik Kayaçlarının Jeokimyasal ve Petrolojik Özellikleri, *Hacaettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Bülteni*, 38 (2), 141-160.

Günay, E., Akdeniz, N., Saroglu, F., Çaglayan, A., 1986, Murat Dağı-Gediz Dolaylarının Jeolojisi, *M.T.A. Jeoloji Etüdleri Dairesi*, 74 s.

Güner, H.T., Bouchal, J.M., Köse, N., Göktaş, F., Mayda, S., Denk, T., 2017, Landscape heterogeneity in the Yatağan Basin (southwestern Turkey) during the middle Miocene inferred from plant macrofossils, *Palaeontolographica Abt. B*, 296 (1–6), 113–171.

Güner, H.T., 2019, Tunçbilek havzası erken Miyosen paleoiklimsel rekonstrüksiyonu, *Turkish Journal of Forestry*, 20(2), 93-100 .

Güngör, Y., Akkemik, Ü., Kasapçı, C., Başaran, E., 2019, Geology and woods of a new fosil forest from the EarlyMiocene of Gökçeada (Turkey), *Forestist*, 69(1), 22-34.

Hassan, K.M., 2015, The fosil wood of East Cairo, Egypt: A mineralogical view, *Mineralogia*, 45, 1-2, 47-57

Hassan, K.M., 2019, Stable Isotope Ratios of Carbonate and Organic Carbon from Silicified Tree Trunks, Petrified Forest, New Cairo, Egypt–Possible Interpretations of Palaeoenvironment, *Geochemistry International*, 57 (5), 564–574.

Hatcher, P.G., Lerch, H.E., Verheyen, T.V., 1989, Organic geochemical studies of the transformation of gymnospermous xylem during peatification and coalification to subbituminous coal, *Int. J. CoalGeol.* 13, 65–97.

Hatipoğlu, M., Türk N., 2009, Combined polarizing microscope, XRD, SEM, and specific gravity study of the petrified woods of volcanic origin from the Çamlıdere-Çeltikçi-Güdül fosil forest, in Ankara, Turkey, *Journal of African Earth Sciences*, 141-157.

Helvacı, C., 1983, Türkiye borat yalaklarının mineralojisi, *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 17, 37-54.

Helvacı, C., İnci, U., Yağmurlu, F., Yılmaz, H., 1987, Batı Anadolu'nun Neojen stratigrafisi ve ekonomik potansiyeli, *Akdeniz Üniversitesi Isparta Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 3, 31-45.

Helvacı, C., Yağmurlu, F., 1995, Geological setting and economic potential of lignite and evaporite-bearing Neogene basins of western Anatolia, Turkey, *Israel Journal Earth Science*, 44, 91-105.

Helvacı, C., Orti, F., 1998, Sedimantology and diagenesis of Miocene colemanit eulexite deposits (western Anatolia, Turkey), *Journal of Sedimentary Research*, 68, 1021-1033.

Helvacı, C., Alonso, R.N., 2000, Borate deposits of Turkey and Argentina; A summary and geological comparison, *Turkish Journal of Earth Sciences*, 9, 1-27.

Helvacı, C., 2015, Geological Features of Neogene Basins Hosting Borate Deposits: An Overview of Deposits and Feature Forecast, Turkey, *Bulletin of the Mineral Research and Exploration,* 151, 169-215.

Helvacı, C., Ersoy, E.Y., Billor, Z., 2016, Stratigraphy and Ar/Ar geochronology of the Miocene lignite-bearing Tunçbilek-Domaniç Basin, western Anatolia, *International Journal of Earth Sciences*, 116, 5.

Hoadley, R.B., 1990, Identifying Wood: Accurate Results With Simple Tools, The Taunton Press, USA, 223 s. ISBN 10: 0942391047.

Hochstetter, F., 1870, Diegeologischen Verhaltnisse des östlichen Teiles der europaischen Türkei, *Jahrbuch. Geol. Reichanst*., 20, 365-461.

IAWA Committe, 1989, *IAWA list of microscopic features for hard wood identification*. In: E.A. Wheeler, P. Baas, P.E. Gasson (ed.), IAWA Bulletin, 10, 219-332.

IAWA Committe, 2004, IAWA list of microscopic features for soft wood identification. *IAWA Journal*, 25, 1-70.

Insidewood, 2004, Onwards. Published on the internet. http://insidewood.lib.ncsu.edu/search [20.10.2020].

İmik, M, 1988, *Kırklareli-C2-3 Paftası ve İzahnamesi*, 1:100.000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara, 10 s.

İnci, U., 1983, D*emirci (Manisa) ve Burhaniye (Balıkesir) çevresinin jeolojisi ve bitümlü şeyl olanakları*, Doktora, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 184s.

İslamoğlu, Y., Harzhauser, M., Gross, M., Jiménez-Moreno, G., Coric, S., Kroh, A., ... &van der Made, J., 2010, From Tethys to Eastern Paratethys: Oligocene depositional environments, paleoecology and paleobiogeography of theThrace Basin (NW Turkey), *International Journal of Earth Sciences*, 99 (1), 183-200.

Jahren, A.H., 2007, The Arctic forest of the middle Eocene, *Annual Review Earth Planet Science,*35, 509–540.

Jefferson, T.H., 1982, Fossil forests from the lower Cretaceous of Alexander Island, Antarctica, *Palaeontology,*25, 681–708.

Jones, T.P., Rowe, N.P., 1999, Fossil Plants and Spores: Modern Techniques, *London, Geological Society of London,* 137, 4, 396 p.

Kapan-Yeşilyurt, S., 2000, *İzmir-Manisa-Kütahya yöresi Neojen stratigrafisi ve mollusk faunası*, Doktora, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,187 s.

Karaoğlu, O., Helvacı, C., Ersoy, E.Y., 2010, Petrogenesis and 40Ar/39Ar geochronology of the volcanic rocks of the Uşak–Gurebasin, western Turkey, *Lithos,*119, 193–210.

Karaoğlu, Ö., 2012, *Volcan-Sedimentary Evolution of The Uşak-Güre Basin, Western Antolia*, Doktora, Dokuz Eylül University Graduate School of Natural and Applied Sciences, 186 p.

Karaoğlu, Ö., Helvacı, C., 2012, Structural evolution of the Uşak–Güre supra-detachment basin during Miocene extensional denudation in western Turkey, *Journal of the Geological Society, London*, 169, 627 –642.

Kasar, S., Burkan, K., Siyako, M., Demir, O., 1983, Tekirdağ-Şarkoy- Keşan-Enez bolgesinin jeolojisi ve hidrokarbon olanakları, *TPAO Arama Dairesi Arşivi*, teknik rapor 1771, 71.

Kasar, S., Eren, A., 1986, Kırklareli-Saray-Kıyıköy bölgesinin jeolojisi,*T.P.A.O. Arama Grubu Arşivi*, 386.

Kasar, S., 1987, Edirne-Kırklareli-Saray (Kuzey Trakya) bölgesinin jeolojisi, *Türkiye Petrol Kongresi bildirileri*,281-297.

Kaya, O., 1978, Ege kıyı kuşağı (Dikili-Zeytindağı-Menemen-Yenifoça) Neojen stratigrafisi, *Ege Üniversitesi Fen Fakültesi MonografilerSerisi*, No:17.

Kaya, O., 1981, Batı Anadolu alta bindirmesi: Ultramafik birimin ve Menderes masifinin jeolojik konumu, *Doğa Bilim Dergisi, Atatürk özel sayısı*, 15-35.

Kayacık, H., Aytuğ, B., Yaltırık, F., Şanlı, İ., Efe, A., Akkemik, Ü., İnan, M., 1995, *Sequoiadendron giganteum* (Lindl) Buchh. trees living near Istanbul in Late Tertiary, *Review of Faculty of Forestry*, University of İstanbul, 45, 15-22.

Kaymakçı, N., Aldanmaz, E., Langereis, C., Spell, T.L., Gurer, O.F.,Zanetti, K.A., 2007, Late Miocene transcurrent tectonics in NW Turkey: evidence from paloemagnetism and 40Ar-39 Ar dating alkaline volcanic rocks,*Geoogical Magazine*, 144 (2), 379-392.

Kemper, E., 1961, The Kırklareli Limestone (UpperEocene) of the northern basin rim. Geological report, *Deilman Bergbau GMBH*, T37.

Kesgin, Y., Varol, B., 2003, Gökçeada ve Bozcaada'nın Tersiyer jeolojisi (Çanakkale), *Türkiye Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 126: 49- 67.

Keskin, C.,1971, Pınarhisar alanının jeolojisi, *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*,14, 31-84.

Keskin, C., 1974, Kuzey Trakya Havzası'nın Stratigrafisi, *Türkiye İkinci Petrol Kongresi Tebliğleri Kitabı*, 137 – 163.

Kim, K.W., Yoon, C.J., Kim, P., Lee, M.B., Lim, J., 2009, Fine structure and X-ray micro analysis of silicified woods from a Tertiary basin Pohang, Korea by scanning electron microscopy, *Micron*, 40, 519-525.

Konak, N., 2002, *İzmir Paftası,*1:500.000 ölçekli, Türkiye Jeoloji Harita Serisi, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.

Kopp, K.O., Pavoni, N., Schindler, C., 1969, Geologie Thrakiens IV: Das Ergene-Becken, *Beih zum Geol. Jahrb., Heft,* 76, 136.

Kuşcu, M., 1995, Geological Properties og Gölbaşı (Isparta) Epithermal Arsenic Mineralization, *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 38, 23-38.

Küçükayman A., Genç, Ş., Gök, L., Kar, H., Ateş, M., 1987, Bozüyük-Tavşanlı-Kütahya arasının jeolojisi, *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü,* Derleme No: 8356 (yayımlanmamış).

Kvaček, J., Falcon-Lang, H., Dašková, J., 2005, A new Late Cretaceous ginkgo aleanre productive structure *Nehvizdyella* gen. nov. From the Czech Republic and its whole-plant reconstruction, *American Journal of Botany,* 92(12), 1958-69.

Läbe, S., Gee, C.T., Ballhaus, C., Nagel, T., 2012, Experimental silicification of the tree fern *Dicksonia antarctica* at high temperature with silica-enriched H2O vapor, *Palaios,*27, 835-841.

Lebküchner, R.F., 1974, Orta Trakya Oligosen'inin jeolojisi hakkında, *Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Dergisi*, 83, 1-29.

Lee, N., Mun, S., Horstemeyer, M., Horstemeyer, S.J., Lang, D.J., 2018, A characterization of petrified and mummified wood from an Eocene deposit in Mississippi, *Eighth International Conference on Creationism,*USA, 238–247.

Leo, R.F., Barghoorn, E.S., 1976, Silicification of wood, *Bot. Mus. Leafl. Harv. Univ*. 26, 1-47.

Lewis, B.A., Wrenn, J.H., Lewis, A.J., Alford, J.J., Alford, D., 2003, Middle Wisconsinan and recent wet site mummified wood, humus, peat, andpollen, Santa Rosa Island, Florida, *Rev. Palaeobot. Palynol*., 126, 243–266.

Liesegang, M., Gee, C.T., 2020, Silica Entry and Accumulation in Standing Trees in a Hot-Spring Environment: Cellular Pathways, Rapid Paceand Fossilization Potential, *Palaeontology*, 1-10.

Lukens, W.E., Eze, P., Schubert, B.A., 2019, The effect of diagenesis on carbon isotop evalues of fosil wood,*The Geological Society of America,* 47 (10), 987–991.

Malik, A., Nafiz, H., 1933, Küçükçekmece fosil fıkralı hayvanlar mecmuası, *İstanbul Darülfünunu Fen Fak. Mecmuası*, 9, 1503-1619.

Matysová, P., Leichmann, J., Grygar, T., Rössler, R., 2008, Cathodoluminescence of silicified trunks from the Permo-Carboniferous Basins in eastern Bohemia, CzechRepublic, *EuropeanJournal of Mineralogy,* 20, 217–231.

Matysová, P., 2016, *Study of fosil woodby modern analytical methods: casestudies*, Doctoral Thesis, Charles University in Prague, Faculty of Science Institute of Geology and Palaeontology, 61 p.

Matysová, P., Götze, J., Leichmann, J., Škoda, B., Strnad, L., Drahota, P., Grygar, T.M., 2016, Cathodoluminescence and LA-ICP-MS chemistry of silicified wood enclosing wakefieldite – REEs and V migration during complex diagenetic evolution, *European Journal of Mineralogy*, 28(5), 869-887.

Miehe, G., Graetsch, H., 1992, Crystal structure of moganite: a new structure type for silica, *European Fournal of Mineralogy*, 4(4), 693-706.

Mustoe, G.E., 2003, Microscopy of silicifiedwood, *MicroscopyToday11*, 6, 34–37.

Mustoe, G.E., 2008, Mineralogy and Geochemistry of Late Eocene Silicified Wood from Florissant Fossil Beds National Monument, *The Geological Society of America Special Paper*, Colorado, 127–140.

Mustoe, G.E., 2015, Late Tertiary Petrified Wood from Nevada, USA: Evidence of Multiple Silicification Pathways, *Geosciences*, 5, 286-309.

Mustoe, G.E., Acosta, M., 2016, Origin of Petrified Wood Color, *Geosciences*, 6, 25.

Mustoe, G.E., 2017, Wood Petrifaction: A New View of Permineralization and Replacement, *Geosciences*, 7 (4), 119.

Mustoe, G.E., Viney, M., 2017, Mineralogy of Paleocene Petrified Wood from Cherokee Ranch Fossil Forest, Central Colorado, USA, *Geosciences*, 7 (2), 1-22.

Mustoe, G.E., Viney, M., Mills J., 2019,Mineralogy of EoceneFossilWoodfromthe "Blue Forest" Locality, Southwestern Wyoming, United States,*Geosciences*, 9 (1), 35.

Mustoe, G.E, Dillhoff, T.A., 2022, Mineralogy of Miocene Petrified Wood from Central Washington State, USA, *Minerals*, 12, 131.

Natal'in, B.A., Satır, M., Sunal, G., Toraman, E., 2005a, Structural and metamorphic evolution of the Strandja masif, *Scientific and Technical Research Council of Turkey Project* No: 101Y010.

Natal'in, B.A., Sunal, G., Toraman, E., 2005b, *The Strandja Arc: Anatomy of Collision After Long-Lived Arc Parallel Tectonic Transport*, In: Sklyarov EV (ed.). Structural and Tectonic Correlation Across the Central Asia Orogenic Collage: North-Eastern Segment, Russia: Irkutsk, 240–245.

Nebert, K., 1960, Tavşanlı'nın batı ve kuzeyindeki linyit ihtiva eden Neojen sahasının mukayeseli stratigrafisi ve tektoniği, *BullMinerResExplorTurk*, 54, 7–35.

Nebert, K., 1962, Serpantin kitleleri arasında sıkışmış bir Neojen blokuna misal olmak üzere Alabarda (Tavşanlı) linyit bölgesi, *M.T.A. Dergisi*, 58, 31-3.

Nowak, J., Florek, M., Kwiatek, W., Lekki, J., Chevallier, P., Zieba, E., Mestres, N.,Dutkiewicz, E.M., Kuczumow, A., 2005, Composite structure of wood cells in petrified wood, *Mater. Sci. Eng. C Biomim. Supramol. Syst*., C25, 119–130.

NV Turkse Shell, 1972, Reports on the NV Turkse Shell's license areas AR/NTS 832-836 and 997-998, *Turkish Petroleum Corporation unpubl. techn. report*, 769, 1-63.

Okay, A.İ., Tüysüz, O., 1999, Tethyansutures of northern Turkey, *Geological Society, London*, Special Publications, 156, 475–515.

Okay, A.İ., Satır, M., Tüysüz, O., Akyüz, S., Chen, F., 2001, The tectonics of the Strandja Massif: Variscan and mid-Mesozoic deformation and metamorphism in the northern Aegean, *International Journal of Earth Sciences*, 90, 217-233.

Okay, A.İ., Özcan, E., Cavazza, W., Okay, N., Less, G., 2010, Basement types, Lower Eocene series, Upper Eocene olistostromes and the initiation of the southern Thrace Basin, NW Turkey, *Turkish Journal of Earth.*

Okay, A.İ., Simmon, M.D., Özcan, E., Starkie, S., Bidgood, M.D., Kylander-Clark, A.R.C., 2020, Eocene-Oligocene succession at Kıyıköy (Midye) on the Black Sea coast in Thrace, *Turkish Journal of Earth Sciences*, 29, 139-153.

Ozansoy, F., 1962, Doğu Trakya Alt Oligosen Antrakoterienleri, *Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Dergisi*, 58, 85-96.

Önalan, M., 1982, *Pendik bölgesi ile adaların jeolojisi ve sedimenter özellikleri*, Doçentlik, İ.Ü. Yer Bilimleri Fak. Jeoloji Böl., İstanbul.

Özburan, M., 2009, *Kütahya ve Çevresinin Neotektonik İncelemesi*, Doktora, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 226 s.

Özgül, N., 2005, İstanbul dolayının temel jeolojik özellikleri, *İstanbul Büyükşehir Nazım Planı Doğal Yapı Gurubu*, 57 s.

Özgül, N., 2011, İstanbul İl Alanının Jeolojisi, İstanbul Büyükşehir Belediyesi Deprem Risk Yönetimi ve Kentsel İyileştirme Daire Başkanlığı, Deprem ve Zemin İnceleme Müdürlüğü, *İstanbul Kent Jeolojisi Projesi*, 305s.

Özgüven-Ertan, K., 1971, Sur un boisfossile de Taxodiaceaedans la flore Neogene d'Istanbul (Turquie d 'Europe): *Sequoioxylon egemeni* n.sp., *Revue Facultédes Sciences de l'Universite d'Istanbul*, 36 (B), 89–114.

Öztürk, A., Karadağ, M. M., 2009, Yukarıkaracahisar (Banaz-Uşak) Bölgesinin Stratigrafisi ve Petrografik Özellikleri, *Selçuk Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*,24, 4.

Parham, R.A., Gray, R.L., 1984, Formation and Structure of Wood, The Chemistry of Solid Wood, *Advances in Chemistry*, 207:1, 3-56.

Pe-Piper, G., Imperial, A., Piper, D.J.W., Zouros, N.C., Anastasakis, G., 2019, Mineral data (SEM, electron microprobe, Raman spectroscopy) from epithermal hydrothermal alteration of the Miocene Sigri Petrified Forest and host pyroclastic rocks, Western Lesbos, Greece, *Data in Brief*, 24: 103987.

Perinçek, D., 1987, Trakya Havzası Renç Fay Zonunun Sismik Özellikleri, *Türkiye 7. Petrol Kongresi Bildirileri*, 11-20.

Perinçek, D., 1991, Possible strand of the North Anatolian Fault in the Thrace Basin, Turkey An Interpretation, *AAPG Bulletin*, 75, 241 – 257.

Perinçek, D., Ataş, N., Karatut, Ş., Erensoy, E., 2015, Geological factors controlling potential of lignite beds within the Danişmen Formation in the Thrace Basin, *Bulletin of the Mineral Research and Exploration,* 150, 77-108.

Pettijohn, F..J., Potter, P.E., Siever, R., 1987, Sand and sandstone, 2nd Edition, *Springer*, New York, 553 p. ISBN: 978-0-387-96350-1

Polat, S., Güney, Y., Ege, İ., Akkemik, A., 2019, Banaz'da (Uşak) Yeni Bulunan Petrifiye Alanı ile İlgili İlk Bulgular, *Coğrafi Bilimler Dergisi / Turkish Journal of Geographical Sciences*, 17(2), 384-402.

Poole, I., van Bergen, P.F., Kool, J., Schouten, S., Cantrill, D.J., 2004, Molecular isotopic heterogeneity of fosil organic matter: implications for delta (13)C- biomass and delta (13)C-palaeoatmosphere proxies, *Org. Geochem*., 35, 1261–1274.

Russell, N.J., Barron, P.F., 1984, Gelification of Victorian tertiary soft Brown coal wood, II.Changes in chemical structure associated with variation in the degree of gelification, *Int. J. Coal Geol*. 4, 119–142.

Rückert-Ülkümen, N., 1990, Neue Ergebnisse zum Alter der Miozaenen Fisch-Schichten in Nord-Thrakien (Türkei), *Stratigraphie 1. Mitt. Bayer, Staatsslg. Palaont. Hist, Geol*., 30, 27-37.

Rückert-Ülkümen, N., Özkar-Öngen, İ., Çevik-Üner, B., 2009, Doğu Paratetis'in Ergene Havzası'ndaki (KB Türkiye) Paleobiyocoğrafik Özellikleri, *İstanbul Yerbilimleri Dergisi*, 22:2, 119-140.

Sakınç, M., Yaltırak, C., Örçen, S.,1995, Trakya'nın Neojen Paleocoğrafyası ve Evrimi, *Trakya Havzası'nın Jeolojisi Sempozyumu,* Bildiri Özleri, 35-36.

Sakınç, M., Yaltırak, C., Oktay, F.Y., 2000, Kuzey Batı Türkiye'de (Trakya) Tetis-Paratetis İlişkisi ve Trakya Neojen Havzası'nın Paleocoğrafyası vs Tektonik Evrimi, *Yer Bilimleri ve Madencilik Kongresi,* MTA, Ankara.

Sakınç, M., Aras, A., Yaltırak, C., Batı, Z., Çağatay, N., 2007, Trakya Karasal Tersiyerinde Silisleşmiş Ağaçlar, Paleoflora, Paleoklimatoloji, Paleocoğrafya,*TÜBİTAK Proje* No: 103Y137.

Saminpanya, S., Sutherland, F.L., 2013, Silica phase-transformations during diagenesis within petrified woods found in fluvial deposits from Thailand–Myanmar, *Sedimentary Geology,* 290:15-26.

Saner, S., 1985, Saros Korfezi dolayının çökelme istifleri ve tektonik yerleşimi, Kuzeydoğu Ege Denizi, Turkiye, *Turkiye Jeoloji Kurumu Bulteni,* 28, 1-10.

Saraç, 1987, *Kuzey Trakya bölgesinde Edirne-Kırklareli-Saray-Çorlu-Uzunköprü-Deraikebir yörelerinin memeli paleofaunası,*Yüksek Lisans, Ankara Üni., Fen Bilimleri Enstitüsü.

Sarıfakıoğlu, E., 2011, *Kütahya – İ 23 Paftası*, 1:100 000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları, Maden Tetkik ve Arama Müdürlüğü Jeoloji Etütleri Dairesi, No:157.

Sayar, C., 1976, Haliç ve Civarının Jeolojisi, *Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul, Haliç sorunları ve çözüm yolları ulusal sempozyumu*. 355-374.

Sayar, C., 1977, İstanbul yeni iskan yöreleri geoteknik ve sismik etüdü, *B.Ü. Deprem Araştırma Enstitüsü yayınlanmamış* teknik rapor, 77-14T.

Sayar, C., 1989, İstanbul ve çevresi Neojen çökelleri ve Paratetis içindeki konumu, *İTÜ, Maden Fakültesi, 35. Yıl Sempozyumu Kitabı*, 250-266.

Schopf, J. M., 1975, Modes of fosil preservation, *Rev. Palaeobot. Palynol*. 20, 27–53.

Schweingruber, F. H., Börner, A., Schulze, E. D., 2006, Atlas of Woody plant stems. Evolution, Structure, and Environmental Modification, *Springer-Verlag,* Berlin.

Scott, A.C., Collinson, M.E., 2003, Non-destructive multiple approaches to interpret the preservation of plant fossils: implications forcalcium-rich permineralizations, *J. Geol. Soc.* 160, 857–862.

Scurfield, G., Segnit, E.R., 1984, Petrification of wood by silica minerals, *Sediment,Geol*., 39, 149–167.

Sen, J., 1963, Fine structure in degraded, ancient and buried wood, and in other fossilized plant derivatives, *II, Bot. Rev*., 29, 230–242.

Seyitoğlu, G., 1997, Late Cenozoic tectono-sedimentary development of the Selendi and Uşak–Gurebasins: a contribution to the discussion on the development of east–west and North trending basins in western Turkey, *Geological Magazine*, 134, 163–175.

Sigleo, A.C., 1978, Organic geochemistry of silicified wood, Petrified-Forest-National-Park,Arizona, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 42,1397–1405.

Siurek, J., Chevallier, P., Ro, C.U., Chun, H.Y., Youn, H.S., Zieba, E.,Kuczumow, A., 2004, Studies on the wood tissue substitution by silica and calcite during the preservation of fosil wood, *J. AlloysCompd*., 362, 107–115.

Siyako, M., Bürkan, K.A., Okay, A.İ., 1989, Biga ve Gelibolu Yarımadalarının Tersiyer jeolojisi ve hidrokarbon olanakları, *Türkiye Petrol Jeologları Der. Bült*., 1/3, 183-199.

Siyako, M., 2002, Trakya ve yakın çevresinin Tersiyer litostratigrafisi, *Türkiye Stratigrafi Komitesi Çalıştayı,* Trakya Bölgesi'nin Litostratigrafi Adlamaları, Özler, MTA Genel Müdürlüğü, Ankara, s. 4.

Siyako, M., 2006a, Trakya bölgesi litostratigrafi birimleri, Tersiyer Kaya Birimleri Bölümü, *MTA Genel Müdürlüğü Stratigrafi Komitesi*, 43-66.

Siyako, M., 2006b,LigniticSandstones of the Trakya Basin,*Mineral Res. Exp., Bull.*,123, 63-72.

Siyako, M., Huvaz, O., 2007, Eocene stratigraphic evolution of the Thrace Basin, Turkey, *Sedimentary Geology*,198 (1-2), 75-91.

Spicer, R.A., 1991, *Plant taphonomic processes*, in: D.E.G.B. Peter, A. Allison (ed.), Taphonomy: Releasing the Data Locked in theFossil Record, Plenum Press, New York, NY,pp. 71–113.

Stein, C.L., 1982, Silica recrystallization in petrified wood, *J. Sediment. Petrol*. 52, 1277–1288.

Steur, H., 2020a, *Fossil gymnosperm wood*, https://steurh.home.xs4all.nl/engconif/econhout.html, [Ziyaret tarihi: 15 Mayıs 2021]

Steur, H., 2020b, *Hardwood/Angiospermwood*,https://steurh.home.xs4all.nl/engloof/eloofht.html, [Ziyaret tarihi: 15 Mayıs 2021]

StJohn, R.N., 1927, Replacement vs. impregnation in petrifiedwood, Econ. Geol. 22, 722–729.

Sun, S.S., McDonough, W.E., 1989, *Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes*, Magmatism in the Ocean Basins, In: Saunders, A.D., Norry, M.J. (ed.), GeologicalSociety, London, Special Publications, 118, 313-345.

Sunal, G., Natalin, B.A., Satır, M., Toraman, E., 2006, Paleozoic magmatic events in the Strandja Massif, NW Turkey, *Geodinamica Acta* 19, 283-300.

Sunal, G., Satır, M., Natalin, B.A., Topuz, G., Vonderschmidt, O., 2011, Metamorphism and diachronous cooling in a contractional orogen: the Strandja Massif, NW Turkey, *Geological Magazine*, 148, 1-17.

Sümengen, M., Terlemez, İ. , Şentürk, K. , Karaköse, C. , Erkan, E.N. , Ünay, E. , Gürbüz, M., Atalay, Z., 1987, Gelibolu Yarımadası ve güneybatı Trakya Tersiyer havzasının stratigrafisi, sedimantolojisi ve tektoniği, *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü,* yayınlanmamış teknik rapor, 8218.

Sümengen, M., Terlemez, İ.,1991, Güneybatı Trakya yöresi Eosen çökellerinin stragrafisi, *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 113 (113).

Sweeney, I.J., Chin, K., Hower, J.C.,Budd, D.A., Wolfe, D.G., 2009, Fossil wood from the middle Cretaceous Moreno Hill Formation: unique expressions of wood mineralization and implications for the processes of wood preservation, *Int. J. CoalGeol*. 79, 1–17.

Şanlı, İ., 1982, Trakya'nın Tersiyer florası üzerinde ksilolojik arastırmalar (Linyit analizleriyle), *İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi*, A 1: 84-138.

Şengör, A.M.C., 1984, Türkiye'nin tektonik tarihinin yapısal sınıflaması, *Türkiye Jeoloji Kurultayı*, 37-61.

Şengüler, İ., Toprak, S., Kara, H., Öner, A., Tuncalı, E., Kır, N.,2000, Güney Trakya Bölgesindeki Kömürlerin Petrografik İncelemesi ve Ortamsal Yorumu, *Türkiye 12. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı*, 173-180.

Şengüler, İ., 2013, Ergene (Trakya) Havzası'nın jeolojisi ve kömür potansiyeli, *Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü Doğal Kaynaklar ve Ekonomi Bülteni*, 16, 109-114.

Şentürk, K.,Sümengen, M., Terlemez, İ., Karaköse, C., 1998a, *Çanakkale-D3 Paftası,* 1:100 000 ölçekli açınsama nitelikli Türkiye jeoloji haritaları, 63, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.

Şentürk, K., Sümengen, M., Terlemez, İ., Karaköse, C., 1998b, *Çanakkale-D4 Paftası*, 1:100.000 ölçekli açınsama nitelikli Türkiye jeoloji haritaları, 64, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.

Şentürk, M., 2017, *Banaz (Uşak) Neojen Havzasının Jeolojisi ve Kömür Potansiyeli*, Doktora, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, 113 s.

Taylor, T.N., Taylor, E.L., Krings, M., 2009, Paleobotany, The Biology and Evolution of Fossil Plants, second ed., *Elsevier*, Oxford, UK, p. 1252.

Temel, R.Ö., Çiftçi, N.B., 2002, Gelibolu Yarımadası, Gökçeada ve Bozcaada Tersiyer çökellerinin stratigrafisi ve ortamsal özellikleri, *Türkiye Petrol Jeologları Derneği Bülteni*, 14, 17-40.

Turgut, S., Siyako, M., Dilki, A.,1983, Trakya havzasının jeolojisi ve hidrokarbon olanakları (The geology and the petroleum prospects of theThrace basin), *Türkiye Jeoloji Kongresi Bülteni (Proc Geol Congr Turkey)*,4, 35-46.

Turgut, S., Türkaslan, M., Perincek, D., 1991, *Evolution of the Thrace Sedimentary Basin and Its Hydrocarbon Prospectivity*, In: Spencer AM (editor). Generation, accumulation, andproduction of Europe's hydrocarbons. Special Publication of European Association of Petroleum Geoscientists. Oxford, England: Oxford UniversityPress, 415-437.

Turgut, S., Eseller, G., 2000, Sequence sratigraphy, tectonics and depositional history in eastern Thrace Basin, NW Turkey, *Marine and Petroleum Geology*, 17, 61-100.

Türkecan, A., Yurtsever A., 2002, *İstanbul Paftası*, 1: 500 000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası Serisi, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.

Trümper, Rößler R., Götze J., 2018, Deciphering Silicification Pathways of Fossil Forests: Case Studies from the Late Paleozoic of Central Europe, *Minerals*, 8, 432.

Umut, M., İmik, M., Kurt, Z., Özcan, İ., Sarıkaya ve H., Saraç, G., 1983, Tekirdağ, Silivri (İstanbul), Pınarhisar alanının jeolojisi, *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü*, yayınlanmamış teknik rapor, 7349.

Umut, M., İmik, M., Kurt, Z., Özcan, İ., Ateş, M., Karabıyıkoğlu M., Saraç, G., 1984, Edirne İli-Kırklareli İli-Lüleburgaz (Kırklareli İli)- Uzunköprü (Edirne İli) civarının jeolojisi, *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü*, yayınlanmamış teknik rapor, 7604, 42 s.

Umut, M, 1988a, *Kırklareli-C5 Paftası ve İzahnamesi*, 1:100.000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara 10 s.

Umut, M., 1988b, *Kırklareli-C4 Paftası ve İzahnamesi*, 1:100.000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara 6 s.

Uzel, B., Kuiper, K., Sözbilir, H., Kaymakci, N., Langereis, C. G., Boehm, K., 2020, Miocene geochronology and stratigraphy of western Anatolia: Insights from new Ar/Ar dataset, *Lithos*, 352-353.

Ülkümen, N., 1960, Trakya ve Çanakkale mıntıkalarında bulunan Neojen balıkları formasyonları hakkında, *İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Monografileri*, 16, 80 s.

Ünal, O.T., 1967, Trakya jeolojisi ve petrol imkanları, *TPAO Arama Grubu Arşivi*, teknik rapor, 391: 80

Vassio, E., E. Martinetto, M. Dolezych, J. van der Burgh. 2008, Wood anatomy of the *Glyptostrobus europaeus* "whole-plant" from a Pliocene fosil forest of Italy, *Review of Palaeobotany and Palynology*,151, 3-4, 81–89.

Viney, M., 2008, *Fossils*,The Virtual PetrifiedWoodMuseum, 30p.

Viney, M., Hickey, R. D., Mustoe, G.E., 2019, A Silicified Carboniferous Lycopsid Forest in the Colorado Rocky Mountains, USA,*Geosciences*, 9 (510), 1-18.

Vitruvius, M., 2013,*ThePetrifiedForest*,
https://www.geocaching.com/geocache/GC49JHK_the-petrified-forest?guid=6bcd9fde-a80d-4e73-94d2-df9a182d2941[Ziyaret tarihi: 05 Nisan 2021]

Voudouris, P., Velitzelos, D., Velitzelos, E., Thewald, U., 2007, Petrified wood occurrences in western Thrace and Limnos Island: mineralogy, geochemistry and depositional environment, *Bulletin of the GeologicalSociety of Greece*, 40 (1), 238-250.

Weibel, R., 1996, Petrified wood from an unconsolidated sediment, Voervadsbro, Denmark, *Sedimentary Geology*, 101, 31–41.

Wolfe, A.P., Csank, A.Z., Reyes, A.V., McKellar, R.C., Tappert, R., Muehlenbachs, K., 2012, Pristine early eocene wood buried deeply in kimberlite from northern Canada, *PLoSOne*7, no. 9, e45537.

Yazman, M., Batı, Z., Öztan, Y.H., Yılmaz, M., Özdemir, İ., Sayılı, A., 2000, Kuzey Ege offshore'unun (Saros-Edremit Körfezi arası) jeolojisi ve prospektivitesi, *TPAO Arama Grubu Arşivi*, yayınlanmamış teknik rapor, 4109, 80 s.

Yao, S.P., Xue, C.Y., Hu, W.X., Cao, H., Zhang, C.L., 2006, A comparative study of experimental maturation of peat, Brown coal and subbituminous coal: implications for coalification, *Int. J. CoalGeol*. 66, 108–118.

Yılmaz, Y., Polat, A. 1998,Geology and Evalution of theThrace Volcanism, Turkey, *Acta Volcano Logica*, 10(2), 293-303.

Yılmaz, Y., Genç, S., C., Gürer, F., Bozcu, M., Yılmaz, K., Karacık, Z., Altunkaynak, S., Elmas, A., 2000, *When did the western Anatolian grabens begin to develop?* In: Bozkurt, E., Winchester, J., A., Piper, J., A., D. (ed.) Tectonic and magmatism in Turkey and surrounding area, Geological Society, London, Special Publications, 173, 131-162.

Yılmaz Şahin, S., Aysal, N., Güngör, Y., 2012, Petrogenesis of Late Cretaceous Adakitic Magmatism in the İstanbul Zone (Çavuşbaşı Granodiorite, NW Turkey), *Turkish Journal of Earth Sciences*, 21, 1029-1045.

Yılmaz Şahin, S., Aysal, N., Güngör, Y., Peytcheva, I., Neubauer, F., 2014, Geochemistry and U–Pb zircon geochronology of metagranites in Istranca (Strandja) Zone, NW Pontides, Turkey: Implications for the geodynamice volution of Cadomianorogeny, *Gondwana Research*, 26 (2), 755-771.

Yurtseven, N., 2018, Osmancalı (Manisa) Köyünde Taşlaşmış Ormanlar Üzerine Coğrafi İnceleme, *TÜCAUM 30. Yıl Uluslararası Coğrafya Sempozyumu Bildiri Kitabı*, 875-892.

Yurtsever, A., 1996, İstanbul Yarımadası'nın (1/50.000 ölçekli haritasının) jeolojisi, *Maden Tetkik Arama Enst.*, Rap. No. 9989.

Zouros, N., Velitzelos, E., Valiakos, I., Labaki, O., 2007, The Plaka Petrified Forest Park in Western Lesvos- Greece, *Bulletin of the Geological Society of Greece vol. XXXX, Proceedings of the 11th International Congress*, Athens.

İNTİHAL RAPORU İLK SAYFASI

Burcu Üner

ORİJİNALLİK RAPORU

%20	%19	%14	%10
BENZERLİK ENDEKSİ	İNTERNET KAYNAKLARI	YAYINLAR	ÖĞRENCİ ÖDEVLERİ

BİRİNCİL KAYNAKLAR

1	dctubitak.researchcommons.org İnternet Kaynağı	%2
2	Dergipark.Org.Tr İnternet Kaynağı	%1
3	web.itu.edu.tr İnternet Kaynağı	%1
4	acikbilim.yok.gov.tr İnternet Kaynağı	%1
5	dergipark.org.tr İnternet Kaynağı	%1
6	tez.sdu.edu.tr İnternet Kaynağı	%1
7	Submitted to The Scientific & Technological Research Council of Turkey (TUBITAK) Öğrenci Ödevi	%1
8	www.acarindex.com İnternet Kaynağı	%1
9	polen.itu.edu.tr İnternet Kaynağı	%1