



Batı Anadolu’da Silisleşmiş Ağaç Türlerinin Bazı Mineralojik ve Gemolojik Özellikleri
Some Mineralogical and Gemological Properties of Silicified Wood Species in Western Anatolia

Burcu Çevik Üner^{1*}, Sabah Yılmaz Şahin², Ünal Akkemik³

¹*İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Müzesi, 34500 Büyükçekmece-İstanbul*

²*İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 34500 Büyükçekmece-İstanbul*

³*İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, 34473 Bahçeköy-İstanbul*

• Geliş/Received: 16.03.2022 • Düzeltilmiş Metin Geliş/Revised Manuscript Received: 20.06.2022 • Kabul/Accepted: 20.06.2022
• Çevrimiçi Yayın/Available online: 17.08.2022 • Baskı/Printed: 31.08.2022

Araştırma Makalesi/Research Article

Türkiye Jeol. Bül. / Geol. Bull. Turkey

Öz: Batı Anadolu’da tanımlanan silisleşmiş ağaç örnekleri, Tavşanlı (Kütahya) ve çevresinde Geç Miyosen-Pliyosen yaşlı Çokköy formasyonu içerisinde, Osmanlı (Manisa) ve civarında Erken(?) -Orta Miyosen Yaşlı Foça Tüfünde ve Banaz (Uşak) çevresindeki ağaçlar ise Orta-Geç Miyosen yaşlı Yeniköy formasyonu karasal sedimanları içerisinde yer almaktadır. Silisleşme mekanizması ile taşlaşan ağaçların oluşumu, bölgede Neojen dönemi volkanik faaliyetleri ile eş zamanlı oluşan kırıntılı çökellerin sedimantasyonu ile ilişkilidir. Silisleşmiş ağaç örneklerinde enine, radyal ve teğet olmak üzere üç yönlü ince kesitler üzerinde gerçekleştirilen mineralojik-petrografik incelemelerde silisin polimorflarından yaygın olarak kalsedon ve daha az miktarda kuvars ile opal tespit edilmiştir. Mineralojik yorumlamalar ayrıca X-Işınları Difraktometresi (XRD) analizi ile desteklenmiştir. Botanik mikroskopunda ince kesitler ile gerçekleştirilen paleobotanik tanımlar sonucunda ise; *Taxodioxylon* Hartig 1848 (Bataklık servisi), *Pinuxylon* Gothan 1906 (Çam), *Pterocaryoxylon* Müll.-Stoll et Madel 1960 (Ceviz [Yalankoz]), *Quercoxylon* (Kräusel 1939) Gros 1988 (Herdem yeşil meşe), *Glyptostroboxylon* Conwentz 1884 (Bataklık servisi) fosil ağaç cinsleri tespit edilmiştir. Bu bulgulara göre günümüzden daha sıcak ve nemli bir iklimin hâkim olduğu, bataklık ve akarsu kenarlarında servi ormanları ile yamaçlarda çam ve herdem yeşil meşe ormanlarının varlığı saptanmıştır. Silisleşmiş ağaç örneklerinin gemolojik incelemeleri kapsamında renk/desen açısından zengin örnekler seçilmiş, kabaşon kesilerek şekil verilmiştir. Farklı desen ve şekillerdeki örnekler cilalanarak, takı olarak tasarlanarak gümüş ile montürlenmiştir. Daha tekdüze, desensiz ve tek renk örneklerinden ise az miktarda faset kesim çalışmaları yapılmıştır. Sertlik açısından yüksek değerlere sahip olan silisleşmiş ağaç örnekleri içerdikleri zayıf zonlar nedeniyle dayanımsız bir karakter sergilemekte ve desen/renk açısından istenilen performansı göstermemektedir.

Anahtar Kelimeler: Batı Anadolu, gemolojik özellikler, mineralojik bileşim, paleobotanik, silisleşmiş ağaç.

Abstract: The silicified wood samples that we identified in Western Anatolia are located in: the Late Miocene-Pliocene Çokköy Formation in Tavşanlı (Kütahya) and its surroundings, in Osmanlı (Manisa) and its vicinity in the Early (?) -Middle Miocene Foça Tuff, and in Banaz (Uşak) around the Middle-Late Miocene Yeniköy Formation in the terrestrial sediments. The formation of wood petrified by silicification is associated with clastic sediments formed simultaneously with the Neogene period volcanic activity in the region. In the mineralogical-petrographic examination of three oriented thin sections, including transverse, radial and tangential, chalcedony polymorphs of silica and lesser amounts of quartz and opal were detected in the silicified wood samples. Mineralogical interpretation

was also supported by X-Ray Diffractometry (XRD) analysis. As a result of paleobotanical identification made with thin sections in the a botanical microscope; *Taxodioxylyon* Hartig 1848 (Swamp cypress), *Pinuxylon* Gothan 1906 (Pine), *Pterocaroxylon* Müll.-Stoll et Mädel 1960 (Walnut), *Quercoxylyon* (Kräusel 1939) Gros 1988 (evergreen oak), and *Glyptostroboxylon* Conwentz 1884 (Swamp cypress) fossil wood species were determined. According to these findings, a warmer and more humid climate prevailed than today, and there were cypress forests on the edges of swamps and streams, with pine and evergreen oak forests on the slopes. Within the scope of gemological examination of the silicified wood samples, those which are rich in color/pattern were selected, polished by giving them cabochon forms, then mounted in silver. A small amount of facet cutting was carried out from unpatterned and monochromatic samples. The silicified wood samples, which have high value in terms of hardness, exhibit an unstable character due to the weak zones they contain, and they do not show the desired performance in terms of pattern/color.

Keywords: Gemological properties, mineralogical composition, paleobotany, silicified wood, Western Anatolia.

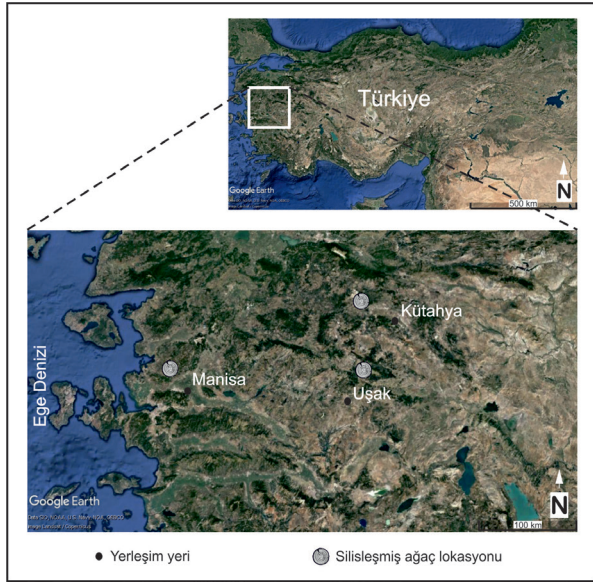
GİRİŞ

Silisleşmiş ağaçlar, karasal kıvrıntılı sedimanlar ile gömülen dal, gövde gibi odun yapılarının, bölgedeki volkanik aktivitelerle eş zamanlı olarak gömülmesi ve bu esnada volkanizmanın çeşitli elementlerce zenginleştirdiği sular ile taşlaşması (petrification) sonucu oluşmaktadır. Odun dokusunda yer alan organik maddelerin bozulmasıyla oluşan boşluklara zenginleşen su içerisindeki inorganik maddelerin yer değiştirme (replacement) ve/veya yeniden kristallenme (permineralization) ile geçmesi sonucu taşlaşma meydana gelmektedir. Birkaç farklı mekanizma ile gerçekleşen petrifikasyonda en sık görüleni silisleşme mekanizması olup, karbonlaşma (kömürleşme), fosfatlaşma, floritleşme, piritleşme, manganlaşma ve karbonatlaşma ile de gerçekleşebilir (Matysová, 2016; Mustoe, 2017; Viney vd., 2019). Fosil ağaçlarda, içerdikleri renk geçişlerinin sebebinin ve dokularında yer alan silisin polimorflarının incelenmesi sonucu taşlaşma süreçleri hakkında bilgiler elde edilmektedir. Ayrıca taşlaşma esnasında odun dokularının çoğu zaman kısmen veya tamamen korunabilmesi cins/tür tayinlerine olanak tanımakta, elde edilen paleobotanik veriler ışığında da günümüz koşulları ile karşılaştırılarak paleocoğrafik ve paleoklimatolojik yorumlar yapılabilmektedir. Silisleşmiş ağaçlar konusunda ülkemizde günümüze kadar yapılan çalışmalarda bu ağaçların İç Anadolu, Kuzeybatı Anadolu, Batı Anadolu, Trakya ve Karadeniz bölgelerinde

Neojen volkanizmasına bağlı olarak oluşan volkano-sedimanter birimler ve daha genç birimler içerisinde konumlandıkları tespit edilmiştir (Özgüven-Ertan, 1971; Kayacık vd., 1995; Aras vd., 2004; Sakınç vd., 2007; Akkemik vd., 2016; Akkemik vd., 2019; Denk vd., 2019; Çevik Üner vd., 2022; Üner, 2022). Özellikle Ankara ve Bolu civarında yer alan silisleşmiş ağaçlar, farklı araştırmacılar tarafından paleobotanik ve jeolojik açıdan incelenmiş olmasına karşın, diğer bölgelerde yer alan ağaçlar üzerindeki çalışmalar oldukça sınırlı kalmıştır (Hatipoğlu ve Türk, 2009; Acarca Bayam vd., 2018). Dünyada ise başta Amerika, Endonezya, Yunanistan, Mısır, Almanya ve Çin olmak üzere farklı bölgelerde ve çeşitli yaşlarda fosil ormanlar yer almaktadır (Voudouris vd., 2007; Dietrich vd., 2013; Mustoe, 2017; Mustoe ve Viney, 2017; Hassan, 2019; Lukens vd., 2019; Mustoe vd., 2019; Pe-Piper vd., 2019). Bunlardan renk/desen açısından en zengini Arizona-Amerika'daki taşlaşmış ağaçlar olup, özellikle mineralojik araştırmalar detaylı olarak yapılmıştır (Mustoe, 2017; Mustoe ve Viney, 2017; Mustoe vd., 2019). Bu çalışmada ise, Kütahya, Manisa ve Uşak bölgelerindeki silisleşmiş ağaçlar ele alınarak incelenmiştir (Şekil 1).

Çalışmaya konu olan Batı Anadolu bölgesindeki silisleşmiş ağaç örnekleri paleobotanik çalışmaların yanında, mineralojik ve jeokimyasal özellikleri bakımından da ele alınarak incelemeler yapılmıştır. Tüm bu çalışmalara ek olarak bölgedeki silisleşmiş ağaçların

özelliği olanları seçilerek, gemolojik açıdan süstaşı olabilirliği irdelenmiştir. Elde edilen tüm sonuçların ışığında silisleşmiş ağaçların oluşumunun bölgenin jeodinamik evrimine katkılarının ortaya konması ve paleobotanik çalışmalarla o dönemin orman ile iklim yapısının yorumlanması amaçlanmıştır.



Şekil 1. Batı Anadolu'da Kütahya, Manisa ve Uşak illerindeki çalışma bölgelerini gösteren yer bulduru haritası.

Figure 1. Location map showing the study areas in Kütahya, Manisa and Uşak provinces in Western Anatolia.

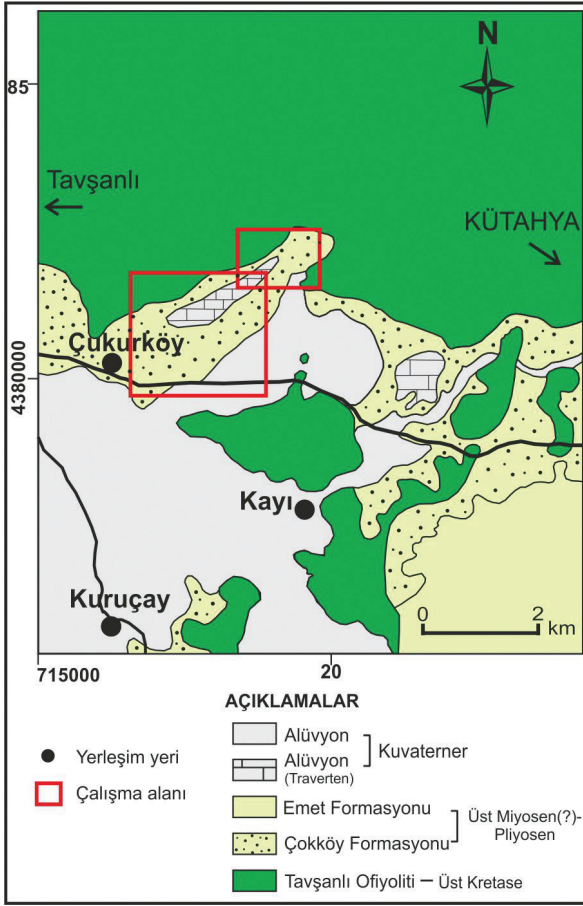
JEOLJİ

Batı Anadolu'da, Paleozoyik-Mezozoyik yaşlı temel üzerinde, çok geniş bir yayılıma sahip Neojen volkanizması ve eşzamanlı olarak oluşan volkano sedimanter kayalar içeren çeşitli formasyonlar bulunmaktadır. Değişik lokasyonlarda yer alan bu benzer yaşta birimler, farklı çalışmalarda farklı isimlerdeki formasyonlar ile tanımlansalar da (Sarıkakıoğlu, 2011; Ersoy vd., 2012; Karaoğlu ve Helvacı, 2012, 2014; Dönmez vd., 2014), bölgede bulunan silisleşmiş ağaçları içeren formasyonlar

benzer litolojilere sahiptir ve Miyosen yaşlı karasal kökenli volkano sedimanter birimler içerisinde konumlanmaktadır.

Tavşanlı (Kütahya)

Çalışma bölgelerinden biri olan Tavşanlı ve civarında, İzmir-Ankara Zonu'nun güneyinde Tavşanlı Zonu'na ait Paleozoyik ve Mesozoyik yaşlı temel birimler üzerinde Neojen dönemine ait karasal volkano sedimanter kayalar bulunmaktadır. Çokköy formasyonu, Miyosen yaşlı kırıntılı ve volkanik kayalardan oluşan Tunçbilek formasyonu ile Karaköy Volkanitlerinin üzerinde uyumsuz olarak yer almakta (Sarıkakıoğlu, 2011; Şekil 2) ve bölgedeki silisleşmiş ağaçları içermektedir (Üner, 2022; Şekil 3). Çokköy formasyonunun üzerine ise kireçtaşları ile temsil edilen Emet formasyonu uyumlu olarak gelir (Sarıkakıoğlu, 2011). Bölgede tüm birimleri örten Kuvartener yaşlı birimler ise eski alüvyon, traverten, yamaç molozu ve alüvyondan oluşmaktadır. Baş (1983) tarafından adlandırılan ve orta kalınlıkta-iyi tabakalanmalı karasal çökellerden oluşan birim, iyi yuvarlaklaşmış çakıl taşları ile başlar, üstte doğru kumtaşı, kiltası ve marnlı killi kireçtaşı seviyeleri ile devam eder (Baş, 1983; Çelik, 2000). Birim, bölgede gerçekleşen volkanizmanın ürünü olan beyaz, açık gri renkli, yer yer kaolenleşmiş riolitik-andezitik tuf ara seviyelerini ve bunların içerisinde yer alan silisleşmiş ağaçları içermektedir. Çokköy formasyonunun yaşını, Baş (1983) tespit ettikleri fosil içeriğine göre Erken-Orta Pliyosen, Küçükayman vd. (1987) Orta Pliyosen, Sarıkakıoğlu (2011) ise stratigrafik konumuna göre Geç Miyosen(?) -Pliyosen olarak değerlendirmiştir. Helvacı vd. (2016) ise Çokköy formasyonu ile yanal ilişkili olarak belirledikleri Karaköy Volkanitlerinin yaşını jeokronolojik yöntemle 19,15-19,77 My arasında tespit etmiş, bu yaşlandırmayı göz önüne alarak Çokköy formasyonuna Erken Miyosen yaşını vermişlerdir.



Şekil 2. Tavşanlı (Kütahya) çalışma bölgesinin jeoloji haritası (Sarrafakioğlu, 2011'den basitleştirilerek alınmıştır).

Figure 2. Geological map of the Tavşanlı (Kütahya) study area (simplified from Sarrafakioğlu, 2011).

Osmançalı (Manisa)

Diğer bir çalışma bölgesi Osmançalı ve civarında, Sakarya Zonu ve İzmir-Ankara Zonu'na (Brinkmann, 1966) ait temel birimleri uyumsuz şekilde örten Geç Oligosen(?)-Kuvaterner yaşlı sedimanter ve volkanik örtü kayaları yer almaktadır. Bölgede silisleşmiş ağaçlar, Osmançalı ve çevresinde geniş yayılımlar sunan Foça Tüfü içerisinde tespit edilmiştir (Üner, 2022; Şekil 3 ve 4). Kaya (1978) tarafından adlandırılan birim, beyaz, açık gri, sarımsı, pembemsi renklere, riyolitik lav, perlit, ignimbiritik düzeyler ile kilaşı,

marn ve tüflerin araldanmasından oluşmaktadır. Birimin açık renkli oluşu, tüflü seviyelerde kaolenleşme-killeşme türü bozulmaların yaygınlığını göstermektedir. Foça Tüfü, bazaltik lavlar ile temsil edilen Samurlu Volkanitleri üzerinde uyumsuz olarak yer alır. Bölgede geniş alanlarda yüzeyleyen ve lav-tüf-aglomeradan oluşan Yuntdağ Volkanitleri ise Foça Tüfü üzerine uyumsuz olarak gelmektedir. İnceleme bölgesinde yer yer kaolenleşmiş şekilde, geniş yayılımlar sunan andezitik-riyolitik tüfler birimin egemen kaya türü olup, karasal-gösel ortamda gerçekleşen bir çökelmeyi temsil etmektedir. Foça Tüfünün yaşı stratigrafik konumu göz önüne alındığında Erken(?)-Orta Miyosen olarak yorumlanmıştır (Dönmez vd., 2014).

Banaz (Uşak)

Üçüncü inceleme bölgesi olan Banaz ve civarında temel birimleri, Paleozoyik-Mesozoyik yaşlı metamorfik kayalar ile ofiyolit melanjı oluşturmaktadır. (Aysal, 1994; Aydoğan, 2006; Öztürk ve Karadağ, 2009). Tüm temel kayalar ile serpantin-peridotit içeren Geç Kretase yaşlı Muratdağı Melanjını, Erken Miyosen yaşlı Baklan Graniti kesmektedir (Aydoğan, 2006). Neojende bölgenin karasal ortama geçiş yapması ile kırıntılı sedimanter birimler çökelmeye başlamıştır. Muratdağı Melanjı üzerinde uyumsuz olarak yer alan, Miyosen yaşlı Kürtköyü formasyonu alüvyon yelpazesi ve nehir yatağı ortamını temsil eden kumtaşı ve çakıltaşından oluşmaktadır. Bölgede silisleşmiş ağaçların içerisinde yer aldığı birim olan Yeniköy Formasyonu, kırmızı-gri-yeşil-krem renkli olarak gözlenen kumtaşı, çakıltaşı, marn kilaşı ve yer her kömür ara tabakalarından oluşmaktadır (Şekil 3). Ercan vd. (1978) tarafından ilk defa adlandırılan birim, Kürtköyü formasyonu üzerine uyumlu olarak gelmektedir. Volkanik aktivitelerin eşlik ettiği dönemde, birimin alt seviyeleri akarsu ortamında çökeldiği, üste doğru ise delta ve göl ortamına geçiş yaptığı belirtilmiştir (Günay vd., 1986; Öztürk ve Karadağ, 2009).



Şekil 3. Çalışma bölgelerinde silisleşmiş ağaç içeren formasyonların görünüşleri **a)** Tavşanlı (Kütahya) (Birim içinde silisleşmiş dal parçasının görünümü), **b)** Osmanlı (Manisa), **c)** Banaz (Uşak).

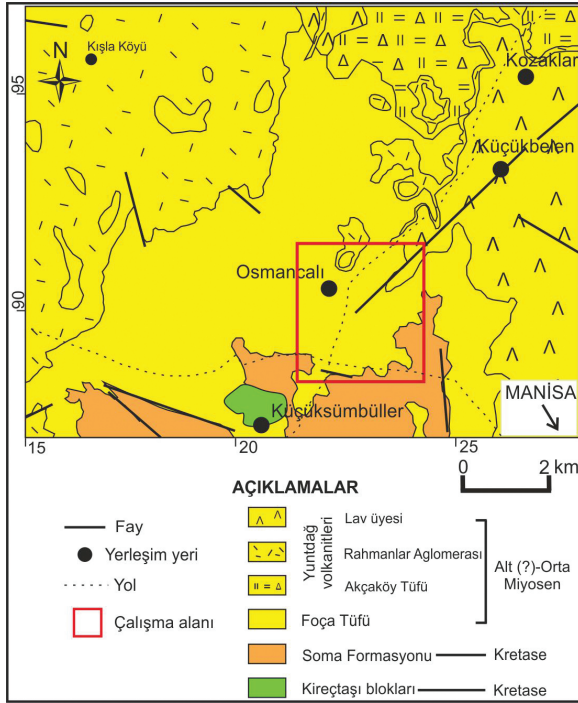
Figure 3. Appearance of formations containing silicified woods in the study areas. **a)** Tavşanlı (Kütahya) (view of silicified branch fragment within unit), **b)** Osmanlı (Manisa), **c)** Banaz (Uşak).

Yeniköy formasyonuna; Ercan vd. (1978), Günay vd. (1986), Seyitoğlu (1997) ile Aslan ve Altay (2021) Orta-Geç Miyosen, Bingöl (1977) Orta Miyosen, Ersoy ve Helvacı (2007) ile Karaoğlu ve Helvacı (2012) Erken Miyosen yaşını vermişlerdir. Kürtköyü ve Yeniköy formasyonları bazı araştırmacılar tarafından Hacıbekir Grup altında çalışılmıştır (Seyitoğlu, 1997; Ersoy ve Helvacı, 2007; Karaoğlu ve Helvacı, 2012). Riyolt, dasit, andezitik piroklastiklerden meydana gelen Karacahisar Volkanikleri Yeniköy formasyonu ile yanall geçişlidir (Öztürk ve Karadağ, 2009). Birime, Bingöl (1977) ile Ercan vd. (1978) Orta-Geç Miyosen yaşını vermişlerdir. Bölgede tüm birimleri uyumsuz olarak alüvyon örtmektedir (Şekil 5).

MATERYAL ve YÖNTEM

Tavşanlı/Kütahya (Kü), Osmanlı/Manisa (Os) ve Banaz/Uşak (U) olmak üzere üç farklı çalışma bölgesinden sistematik şekilde alınan silisleşmiş ağaç örnekleri, ağaç dokusu korunmuş uygun örneklerden seçilerek enine, teğet ve radyal üç yönlü ince kesitleri yapılmıştır. Botanik mikroskobu altında yapılan incelemeler ile silisleşmiş ağaçlar cins bazında teşhis edilmiştir.

Mineralojik çalışmalar kapsamında polarizan mikroskop ile incelenen ağaç dokularının petrifikasyonu sonucunda (taşlaşma) silisleşme olayı ile oluşan silisin farklı polimorfları tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, X-Işınları Difraktometresi (XRD) analizleri ile de desteklenmiştir. Gemolojik çalışmalar kapsamında seçilen silisleşmiş ağaç örneklerinde kaba ve ince dilimleme ile taşlama ve faset makineleri kullanılarak kabaşon (kubbe) ve faset (yüzeyli) kesim teknikleri uygulanmıştır. Çalışma bölgelerini temsilen seçilen taşlaşmış ağaç parçalarının iri boyutlu olanları öncelikle büyük dilimleme makinesinde küçültülmüş (Şekil 6a), elde edilen kaba parçalar daha sonra ince dilimleme makinesinde daha ince dilimlere ayrılmıştır (Şekil 6b).



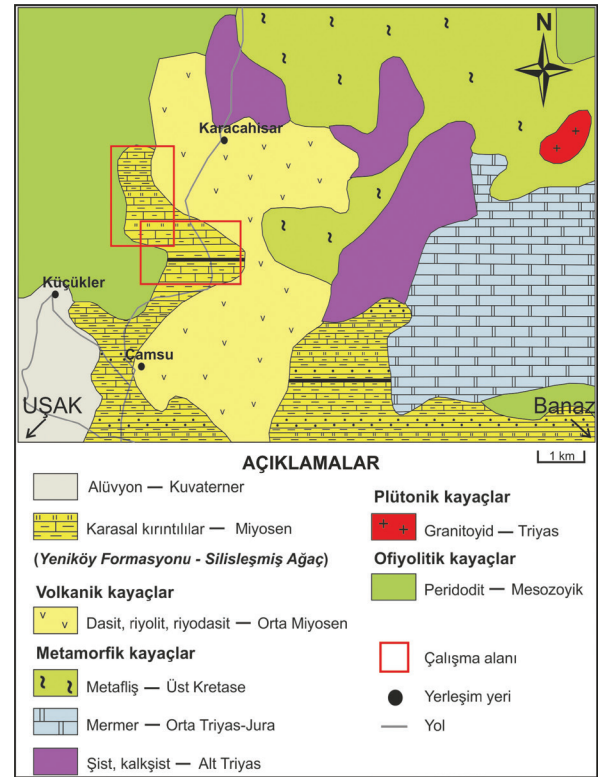
Şekil 4. Osmanlı (Manisa) çalışma alanı ve jeoloji haritası (Dönmez vd., 2014'ten sadeleştirilerek alınmıştır).

Figure 4. Osmanlı (Manisa) study area and geological map (simplified from Dönmez et al., 2014).

Kaba şekilleri elde edilen silisleşmiş ağaç örneklerine doplama yapılarak (reçineli mum veya mühür mumu kullanılarak ısı yardımı ile örneğin dopa yapıştırılması) farklı boyutlarda aşındırmaya sahip taşlama makinesinde ilk kabaşon formları verilmiştir (Şekil 6c). Su yardımı ile gerçekleştirilen işlemde farklı kum boyu disklerde sırayla işlemin gerçekleştirilmesiyle bir önceki aşamadan kalan taşlama izlerinin silinmesi amaçlanmaktadır. En son aşama olarak, silisleşmiş ağaç örnekleri üzerleri üzerindeki desen ve renklerin daha net görülebilmesi için keçe makinesinde cilalama işleminden geçirilmiştir (Şekil 6d). Hazırlanan örnekler daha sonra gümüş ile montürlenerek süs taşı olarak tasarlanmıştır.

MİNERALojİK İNCELEMELER

Petrifikasyon olayı esnasında, oksijensiz bir ortamda hidrotermal çözeltilerden gelen ve ortamda yer alan silis, organik madde ile yer değiştirerek, sırayla opal (amorf), kalsedon ve kuvarsın oluşmasına neden olarak, silisleşmiş ağaçları oluşturmaktadır (Mustoe, 2017; Viney vd., 2019).

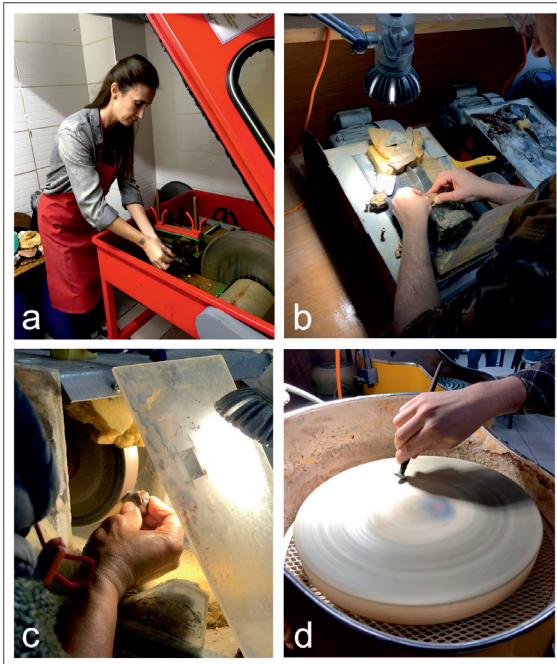


Şekil 5. Banaz (Uşak) bölgesindeki çalışma alanı ve civarının jeoloji haritası (Konak, 2002'den sadeleştirilerek alınmıştır).

Figure 5. Geological map of the study area and its surroundings in Banaz (Uşak) region (simplified from Konak, 2002).

Polarizan mikroskop altında, Batı Anadolu silisleşmiş ağaç örneklerinin odun dokularına ait çeşitli hücre (traheid, trahe, paransim, özışın vb) içlerinde ve çeperlerinde, ayrıca hücreler arası boşluklarda silisin polimorfları olan kalsedon, kuvars ve amorf silis (opal) oluşumları

tanımlanmıştır (Şekil 7a, b ve c). Kristalin kuvarslar inceden iri taneliye kadar geniş bir aralık sunmakta olup, sıklıkla da ince-orta kristallidir. Genellikle kalsedon oluşumları hâkim olduğu örneklerde, amorf silis oluşumlarına daha az oranda rastlanmıştır. Silisleşmiş ağaca ait odun dokusunun iyi korunduğu örneklerde, silis polimorflarının gelişimi söz konusu dokuya ait yapılara çoğunlukla uyumlu olarak gelişmiştir. Ağacın hücreler arası boşluklarında genellikle mikrokristalin kuvars ve opal, hücre içi boşluklarda (lümen) çoğunlukla ince-orta taneli kuvars, geniş lümenlerde ise iri kuvars oluşumları gelişmiştir. Enine, radyal ve teğet yönlerde alınan ince kesitlerde anatomik yöne göre değişen belirli bir polimorf yapısı saptanmamıştır. Bazı ince kesit örneklerinde, düz ve çapraz ışık altında koyu renkli kısımlarda organik maddenin varlığı da gözlenmiştir (Şekil 7a, b ve c).



Şekil 6. a) Büyük dilimleme, b) Küçük dilimleme, c) Taşlama işlemi, d) Cila işlemi.

Figure 6. Stages in turning silicified wood into gems: a) Large slicing, b) Small slicing, c) Grinding, d) Polishing.

Silisleşmiş ağaç örneklerinin ince kesitlerinde tespit edilen silis polimorfları, toz örneklerinden çekilen X-Işını Kırınım Yöntemi (XRD) ile difraktogramları çekilerek değerlendirilmiş ve benzer mineralojik bileşimler elde edilmiştir. Bu bağlamda, Kütahya, Manisa ve Uşak bölgeleri silisleşmiş ağaçlarının polarizan mikroskop incelemelerinde farklı silis polimorflarının bir arada olduğu örnekler seçilmiştir. XRD analizi ile elde edilen difraktogram desenlerinde silisleşmiş ağaç ince kesitlerinde gözlemlenen kuvarsların $3.33 \text{ \AA} \%100$ 'lük pikleri ile opal-CT'ye ait piklerin varlığı saptanmıştır (Şekil 8a, b ve c).

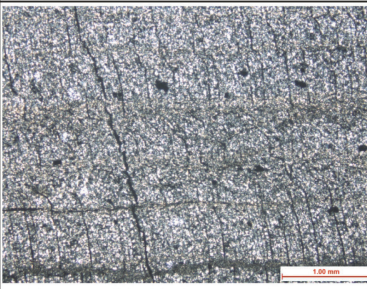
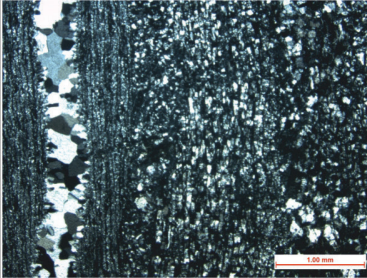
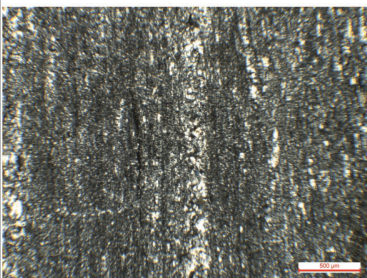
PALEOBOTANİK İNCELEMELER

Fosil ağaç örneklerinden elde edilen üç yönlü ince kesitlerde (enine, radyal ve teğet), ağaçların odun dokularına ait traheid, öz ışını gibi hücresel yapılar tüm kesit yönlerinde incelenerek hangi cinslere ait oldukları belirlenmiştir (Şekil 9). Buna göre *Taxodioxydon* (Bataklık servisi), *Pinuxylon* (Çam), *Pterocaryoxydon* (Ceviz [Yalankoz]), *Quercoxydon* (Herdem yeşil meşe) ve *Glyptostroboxylon* (Bataklık servisi) fosil odun cinsleri teşhis edilmiştir.

Erken Miyosen dönemine ilişkin olan bu çalışmada elde edilen bulgular, ağaç bileşimlerinin subtropikal, günümüze göre daha sıcak ve nemli bir iklimin hâkim olduğu, bataklık ve akarsu kenarlarında yer alan servi ormanları, yalankoz ağaçları ile yüksekliği az olan yamaçlardaki çam ve herdem yeşil meşe ormanlarının var olduğu öngörülmektedir.

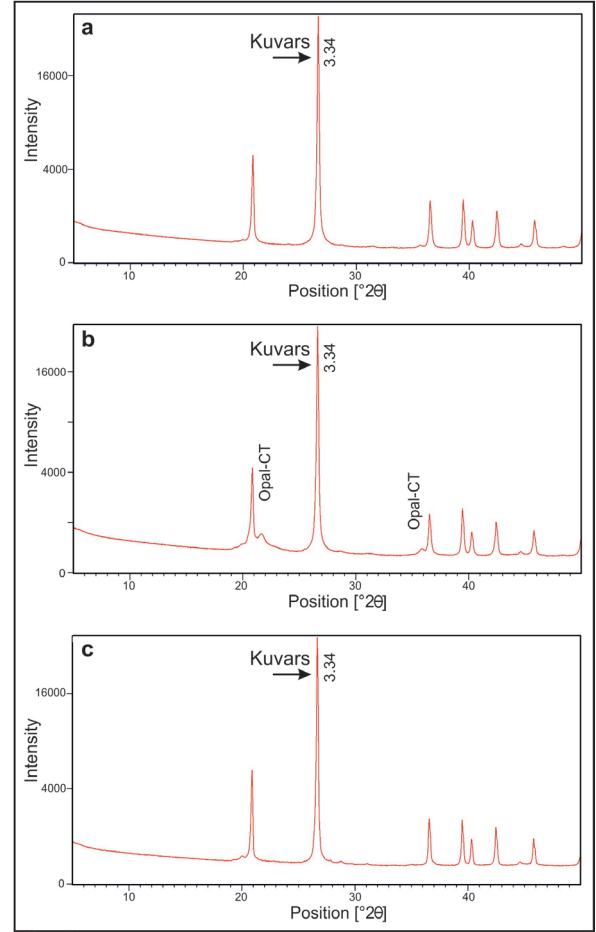
İklim ve vejetasyon (yetiştirme ortamı istekleri aynı olan türlerin oluşturduğu bitki topluluğu) birimlerine (Velitzelos vd., 2014; Denk vd., 2017; Güner vd., 2017) göre bataklık ve ripariyan (akarsu kenarı) koşullarının bitkilerinden bazıları *Taxodioxydon*, *Laurinoxydon*, *Pterocaryoxydon*, *Platanoxydon*, iyi drene olmuş alçak kesim ormanlarının bazı ağaçları *Sequoioxydon*, *Ceratonioxydon*, *Fagoxydon*, *Quercoxydon* sect. *Ilex*, *Pterocaryoxydon*, *Laurinoxydon*,

Platanoxylon, *Prunoidoxylon* ve iyi drene olmuş yüksek arazi ormanlarının ağaçları *Quercoxylon*, *Prunoidoxylon* cinslerinin varlığı Anadolu'da Erken Miyosen'de nemli ve subtropikal bir iklim olduğunu göstermiştir (Akkemik vd., 2009; Akkemik ve Sakıncı, 2013; Akkemik vd., 2016; Acarca Bayam vd., 2018; Akkemik vd., 2019; Üner, 2022).

Mikroskop Görünüm	<u>Lokasyon</u> Mineralojik Tanım
	<u>Tavşanlı-Kütahya</u> (Kü2) Ağaç dokusuna uyumlu olarak gelişmiş kalsedon (mikrokristalin kuvars)
	<u>Osmançalı-Manisa</u> (Os3) Kuvars, kalsedon, az miktarda opal ve organik madde
	<u>Banaz-Uşak</u> (U1) Odunsu yapıya yer yer uyumlu gelişmiş kalsedon ve az miktarda kuvars

Şekil 7. a) Tavşanlı (Kü2), b) Osmançalı (Os3), c) Banaz (U1) bölgelerine ait silisleşmiş ağaç örneklerinin mineralojik bileşimlerinin mikroskop altındaki görüntüleri (polarize ışık).

Figure 7. Mineralogical composition of silicified wood samples from a) Tavşanlı (Kü2), b) Osmançalı (Os3), c) Banaz (U1) regions under the microscope (polarized light).

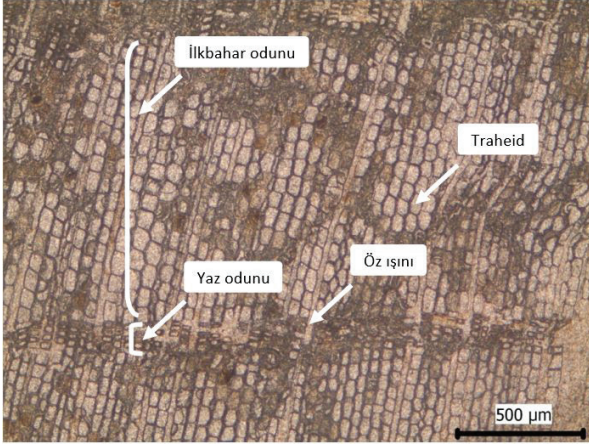


Şekil 8. a) Tavşanlı (Kü6), b) Osmançalı (Os2), c) Banaz (U1) örneğinin XRD diftogramlarında kuvarşın farklı pik değerleri ile opal-CT'ye ait piklerin görünüşleri.

Figure 8. Appearance of different peak values of quartz and the peaks of opal-CT in the XRD diffractograms of a) Tavşanlı (Kü6), b) Osmançalı (Os2), c) Banaz (U1).

Paleopalinojistik sonuçlar da ağaç cinslerinin nemli ve subtropikal bir iklimde yaşadıklarına işaret etmiştir (Akgün vd., 2002; 2007; Kayseri ve Akgün, 2008; Karlıoğlu vd., 2009; Akkiraz vd., 2011). Erken Miyosen'de mevsimselliğin keskin olmadığı koşullardaki bu ağaç bileşiminin önemli bir kısmı günümüzde Çin, Vietnam ve Kore dâhil olmak üzere Doğu ve Güneydoğu Asya'da bulunmaktadır (Velitzelos vd., 2014; Akkemik vd.,

2017; Denk vd., 2017; Güner vd., 2017). Bununla beraber, Erken Miyosen dönemi içerisinde kurak dönem geçişleri de vardır (Biltekin, 2017).



Şekil 9. Kütahya bölgesinden alınan Cupressaceae odununa ait silisleşmiş ağaç örneğinin (Kü4) enine kesitinde yaz odunu ve ilkbahar odunu traheidleri, yıllık halka sınırı ile öz ışınlarının görünümü.

Figure 9. View of summer wood and spring wood tracheids, annual ring border and rays in cross section of a silicified wood sample (Kü4) of Cupressaceae wood taken from Kütahya region.

GEMOLOJİK İNCELEMELER

Batı Anadolu bölgesinde Kütahya, Manisa ve Uşak illerinden alınan silisleşmiş ağaç örnekleri gemolojik açıdan ilk olarak laboratuvar ortamında makro olarak incelenerek desen, renk ve dayanım açısından uygun görülenleri süstaşı çalışmaları için seçilmiştir. Opak malzemeler olmaları nedeni ile kesim tekniği olarak basit kabaşon (bir yüzeyi kubbe, bir yüzeyi düz) kesime ağırlık verilmiş, genellikle yuvarlak ve oval dış formlar seçilmiştir (Şekil 10a ve b). Saydam ve yarı saydam taşlarda tercih edilen faset (yüzeyli) kesim için ise en iyi sonucun alınabileceği sınırlı sayıda desensiz, tek renk, genellikle opalleşmiş ağaç örnekleri seçilmiştir (Şekil 10c). Basit kabaşon form verilen silisleşmiş ağaç örneklerinden en fazla renk ve desen

çeşitliliğine sahip olanlarda, gümüş kullanılarak geleneksel el işçiliği ile takı tasarım çalışmaları yapılmıştır (Şekil 10d). Koyu renklere sahip ve desen açısından fakir örneklerde elde edilen ince dilimlerde ise dış formları tıraşlanmayarak orijinal ağaç görünümünü korumuş, en fazla deseni veren yüzeyleri cilalanarak süs eşyası olarak kullanımı tasarlanmıştır (Şekil 10e).

Gemolojik çalışmalarda silisleşmiş ağaçların kullanılmasına etki eden faktörlerden en önemlileri kesilebilirlik ve dayanımdır. Silisifikasyon mekanizması ile taşlaşmış örnekler, oldukça sert ve dayanımlı malzemeleri oluşturmaktadır. Ancak buna karşın iç kısımlarında yer alan çatlak ve kırıklar nedeniyle zayıf zonlar oluşmakta ve kesimler esnasında örneklerde düzensiz kırılmalara, çatlaklara ve kopmalara neden olmaktadır.

Fosil ağaçlarda bu zayıf zonlar; taşlaşma esnasında oluşan deformasyona bağlı mikro çatlaklardan, farklı silis polimorflarının sınırlarından, farklı elementlerin oluşturduğu zonların dayanım farklarından veya ağacın doğal yapısındaki yıllık halka sınırı, lif gibi farklı hücrelerden oluşan odun yapısından kaynaklanmaktadır. Özellikle, zamanla suyunu kaybetmiş ve kırılgan bir yapı kazanmış olan opalleşmiş ağaçlarda, keskin yüzeyli kırılmalar gözlemlenmiştir. Ayrıca, dilimleme ve taşlama işleminden hasar almadan geçen silisleşmiş ağaç örneklerinde doplama ve keçe makinesindeki cilalama işlemi sırasında çok parçalı kırılmalar meydana gelmiştir. Öncelikle ince çatlaklar şeklinde başlayan deformasyonlar, işlemlerin devam etmesiyle kalıcı hasarlara dönüşmüştür. Bunun nedeninin doplama işleminde kullanılan ateş ile keçe makinesindeki sürtünmeden meydana gelen aşırı ısının zayıf zonları daha da dayanımsız hale getirmesi olduğu düşünülmektedir.



Şekil 10. a) Tavşanlı (Kü6) silisleşmiş ağaç örneğinin yuvarlak kabaşon, b) Banaz (U1) örneğinin cilalı oval kabaşon, c) Tavşanlı bölgesi silisleşmiş ağaç örneğinin cilalı faset kesim görünümü ile d) damla kabaşon formdaki Osmançalı örneği kullanılarak tasarlanan kolye ucu, e) Osmançalı (Os2) silisleşmiş ağaç örneğine ait kesilmiş ince dilimin cilalanmış görünümü.

Figure 10. a) Round cabochon of Tavşanlı (Kü6) silicified wood specimen. b) Polished oval cabochon of Banaz (U1) specimen. c) Polished facet cut appearance of Tavşanlı region silicified wood specimen. d) Osmançalı specimen designed in drop cabochon form. e) Polished appearance of cut thin slice of silicified wood sample from Osmançalı (Os2).

Süstaşı olabilme potansiyeline etki eden bir diğer faktör ise kesilen ince dilimler üzerindeki renk ve desenin, genellikle taşlamadan sonra elde edilenle genellikle farklı olmasıdır. Ağaç işlendikçe iç kısmından farklı renk ve desen

geçişleri çıkmakta, böylelikle her silisleşmiş ağaç parçasından birbirlerine benzemeyen görünüm elde edilmektedir. Tespit edilen bir diğer etken ise kesim yönünün önemidir. Kabaşon form verilmeden önce, alınan ince dilimler üzerindeki desenlere göre bir planlama yapılarak kesim yönü belirlenmesi ile farklı yönlerde farklı desenler ve renkler elde edilebilmektedir. Bu değişimler, bazı örneklerde pozitif yönde bir gelişme olarak karşılanırsa da bazı kesim işlemlerinde olumsuz sonuçlara neden olmaktadır.

TARTIŞMA ve SONUÇLAR

Batı Anadolu'da, Kütahya, Manisa ve Uşak civarında yapılan çalışmalar sonucu her üç bölgede de fosil ağaç ormanlarının oluşumunda, Neojen volkanik faaliyetlerine bağlı olarak oluşan silisçe zengin hidrotermal çözeltilerin aktif olarak eşlik ettiği sonucuna varılmıştır. Bu volkanik faaliyetler esnasında kırıntılı çökellerin biriktiği karasal ortamların varlığı saptanmıştır. Silisleşmiş ağaç örneklerinde silisin polimorfları olan orta-iri taneli kuvars kristalleri, mikrokristalin kalsedon ve opal oluşumları hem mikroskop altında hem de XRD çalışmalarında saptanmıştır. Üç yönlü olarak alınan kesitlerde belirgin bir yönde oluşmayı tercih eden silis polimorfu tespit edilmemiş, fakat geniş hücre yapıları içerisinde silisin orta-iri kristalli kuvars şeklinde yer aldığı gözlemlenmiştir. Bazı örneklerde ise koyu kahve-siyah renkli olarak görülen kısımlar organik maddenin yoğunlaştığı alanlar olarak tanımlanmıştır. Tüm çalışma ve analizler sonucu; petrifikasyon olayını meydana getiren silisleşme mekanizmasının çok yönlü bir olay olduğu ve farklı silis formlarının gelişebileceği sonucuna varılmıştır.

Batı Anadolu'daki silisleşmiş ağaçlar, Ege kıyılarının hemen batısında, Yunanistan-Lesbos (Midilli) adasında yer alan Miyosen yaşlı Sigri Taşlaşmış Ormanı'na benzerlik sunmaktadır. Kalın bir istif sunan Sigri Piroklastiklerinin içerdiği volkanik camın silikaya dönüşümü

ve silisçe zengin hidrotermal suların dolaşımı, formasyon içinde gömülü halde bulunan ağaçların silisleşmesine, ağaç dokusunu oluşturan hücrelere kuvars, kalsedon ve opal dolarak organik dokunun inorganik hale dönüşmesine neden olmuştur (Voudouris vd., 2007; Zouros vd., 2007; Pe-Piper vd., 2019). Batı Anadolu'da Miyosen döneminde volkanik aktiviteler eşliğinde oluşan birimler, özellikle Manisa yöresindeki asidik-ortaç bileşimli tüflü birimler, Sıgri Piroklastik formasyonlarını oluşturan kayalarla paralellik göstermektedir. Her iki bölgede (Batı Anadolu–Lesbos) yer alan silisleşmiş ağaçların oluşum mekanizmaları, volkanik aktivitelerle doğrudan bağlantılı olmaları bakımından, ayrıca oluşum yaşları ile paleobotanik-paleocoğrafik özellikleri açısından da benzerlik sunmaktadır (Velitzelos ve Zouros, 1997; Zouros vd., 2007; Velitzelos vd., 2014).

Her üç bölgeye ait fosil ağaçların paleobotanik incelemelerinde, *Taxodioxyton*, *Pinuxylon*, *Pterocaryoxylon*, *Quercoxylon* ve *Glyptostroboxylon* fosil ağaç cinsleri teşhis edilmiştir. Bu ağaçlara göre Batı Anadolu bölgesinde Neojen'de günümüze göre daha sıcak ve nemli bir iklimin hâkim olduğu belirlenmiştir. Ayrıca bölgedeki bataklık ve akarsu kenarlarında yer alan servi ormanları ile yamaçlarda çam ve meşelerin bulunduğu bir orman yapısının varlığı ortaya konmuştur.

Dünya üzerinde; Amerika, Endonezya, Yunanistan, Mısır, Çin gibi farklı birçok farklı bölgede yer alan silisleşmiş ağaçlar miktar ve çeşitlilik bakımından zengindir. Bu bölgelerde tanımlanan silisleşmiş ağaçlar yüksek sertlik dereceleri ve dayanımları ile çok fazla desen/reng çeşitliği sahip olmalarından dolayı takı, süs eşyası, mobilya ve hatta duvar-zemin kaplaması olarak kullanılmaktadırlar. Ancak Batı Anadolu bölgesindeki çalışmalarda tespit edilen silisleşmiş ağaçlar sertlik açısından uygun olsalar da içerdikleri zayıf zonlar nedeniyle atölye aşamasında zorluklarla karşılaşmaktadır.

Özellikle opal oranı yüksek ağaçlarda yaşanan çoklu kırılmalar ile cilalama işlemi sırasında oluşan kayıplar süstaşı olma potansiyelini düşürmektedir. Ayrıca, çalışma bölgesi örneklerinin Dünyadaki diğer taşlaşmış ağaçlar ile karşılaştırıldığında, renk/desen açısından yetersiz kalmaları süstaşı ve/veya süs objesi olarak kullanılmalarını kısıtlamaktadır. Diğer yandan taşlaşmış ağaçların ülkemizde çok az sayıda ve sınırlı alanlarda bulunmaları, jeolojik ortamın evrimini ortaya koymada önemli veriler sunmaları, bulunduğu dönemin iklim ve orman durumunu paleobotanik özellikler olarak yansıtmaları, bu ağaçların yüksek bilimsel öneme sahip, yerine konulamaz değerler olduğunu göstermektedir. Bu nedenle, söz konusu fosil ormanların, jeolojik miras olarak yerlerinde korunmaları gerekliliği ortaya konulmuştur.

EXTENDED SUMMARY

Silicified woods are fossil formations formed by the emplacement of silica-rich waters in woody tissues buried with clastic sediments. As a result of this silicification mechanism, which is directly related to simultaneous volcanic activity in their region, the tissues of the wood are fully or partially preserved. By examining the silica polymorphs and other inorganic parts contained in the silicified wood samples, information was obtained about the petrification process. Data was also gathered about the paleo forest and paleoclimate structure of the region by determining the species.

Silicified woods in Western Anatolia, which are the subject of this study are located in the Late Miocene-Pliocene aged Çokköy Formation in Tavşanlı (Kütahya) and its surroundings, in Osmanlı (Manisa) and its vicinity in the Early(?)–Middle Miocene aged Foça Tuff and in Banaz (Uşak) around in the Middle-Late Miocene aged Yeniköy Formation within the clastic terrestrial sediments of the. Silicified woods detected within the terrestrial clastic sediments in the Neogene basins were formed simultaneously with volcanic

activity occurring in different locations in the region.

Three oriented thin sections, including transverse, radial and tangential, were taken from the silicified wood samples from all three regions, in accordance with the woody texture. It was observed that polymorphs of silica such as chalcedony, quartz and opal developed in the samples which were examined mineralogically and petrographically under a polarizing microscope. Silica, which mostly settles in harmony with the woody tissue, generally formed microcrystalline quartz and opal in the intercellular spaces, and large quartz grains in the large cells. No systematic formation of silica polymorphs according to a certain anatomical direction was observed in the three oriented sections. In addition, the different formations of silica detected by the polarizing microscope were also supported by X-Ray Diffractometry (XRD) analysis.

As a result of the examining of silicified woods under a botanical microscope for our paleobotanical studies; *Taxodioxydon* Hartig 1848 (Swamp cypress), *Pinuxylon* Gothan 1906 (Pine), *Pterocaroxylon* Müll.-Stoll et Mädel 1960 (Walnut), *Quercoxylon* (Kräusel 1939) Gros 1988 (evergreen oak), and *Glyptostroboxylon* Conwentz 1884 (Swamp cypress), the fossil wood species was determined. Considering the habitats of these wood species, the presence of cypress forests located on the edges of swamps and streams, and pine and evergreen oak forests on the slopes, were determined from the Miocene period in Western Anatolia which had a warmer and more humid subtropical climate than today,


Within the scope of gemological studies, firstly, samples of silicified wood rich in color/pattern and high strength were cut into thin slices. Due to the opaque structure of the silicified wood samples, cabochon (dome) cuts were preferred, and single color and unpatterned wood samples were chosen for the facet (surface) cut, which


was performed in small amounts. Afterwards, the polished samples were turned into jewelry by mounting them with silver. It has been determined various studies that the most important factors in the use of silicified wood as gemstones are their cuttability and strength properties. Although silicified wood samples are quite hard and durable, they may also contain weak zones due to their natural texture. In some examples, breaks and ruptures may occur during surface forming or polishing processes. When the colors and patterns of silicified woods are evaluated from a gemological point of view; transitions on different cutting surfaces have been observed. Therefore, the same sample may present a dissimilar color/pattern before and after cutting. All gemological studies have shown that since they are unstable, contain weak zones, and have a limited diversity in terms of color/pattern. The final result cannot be predicted at the cutting stage; therefore, they should be preferred as a geological heritage rather than being used as gemstones, although silicified woods are materials with high hardness.


KATKI BELİRTME

Bu çalışma, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Birimi tarafından desteklenen 33806 numaralı, 'Trakya ve Batı Anadolu Bölgeleri Silisleşmiş Ağaçlarının Jeolojik, Jeokimyasal ve Gemolojik Özelliklerinin Karşılaştırılması' başlıklı Doktora Tez Projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir. Yazarlar, Tavşanlı (Kütahya) ve civarında gerçekleştirilen arazi çalışmalarına katkıda bulunan Tuncay KAHRAMAN (Kütahya Jeoloji Müzesi)'a, silisleşmiş ağaç örneklerinin kesiminde destekleri için Bahar ÇİÇEK ile Osman SARIKAYA (Mücevher İhracatçıları Birliği Taş Kesim Atölyesi)'ya ve makaleye yapıcı eleştirileriyle katkı sağlayan hakemlere teşekkür ederler.

ORCID

Burcu Çevik Üner  <https://orcid.org/0000-0003-2235-7337>

Sabah Yılmaz Şahin  <https://orcid.org/0000-0002-6928-0923>

Ünal Akkemik  <https://orcid.org/0000-0003-2099-5589>

KAYNAKLAR / REFERENCES

- 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.
- Akgün, F., Akay, E. & Erdoğan, B. (2002). Terrestrial to shallow marine deposition in Central Anatolia: a palynological approach. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 11, 1–27.
- 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). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 253(1–2), 56–90.
- Akkemik, Ü., Türkoğlu, N., Poole, I., Çiçek, I., Köse, N. & Gürgen, G. (2009). Woods of a Miocene petrified forest near Ankara, Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 33, 89–97.
- Akkemik, Ü. & Sakıncı, M. (2013). *Sequoioxylon* petrified woods from the Middle 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., Acarca, N. N. & Hatipoğlu, M. (2017). The first *Glyptostroboxylon* from the Miocene of Turkey. *IAWA Journal*, 38(4), 561–570.
- Akkemik, Ü., Akkılıç, H. & Güngör, Y. (2019). Fossil wood from the Neogene of the Kilyos coastal area in Istanbul, Turkey. *Palaeontographica Abteilung B*, 299(1–6), 133–185.
- 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, 276–290.
- Aras, A., Sakıncı, M. & Yalıtırak, 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, France, 4.
- Aslan, İ. ve Altay, T. (2021). Banaz Havzasındaki (Uşak, B-Türkiye) Neojen Yaşlı Sedimanter Birimlerin Mineralojik ve Jeokimyasal Özellikleri. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 21, 449–461.
- Aydoğan, M. S. (2006). *Baklan Graniti (Murat Dağı, Banaz/Uşak) Civarındaki Baz Metal Cevherleşmesinin Mineral Parajenezi, Metal Zonlanması ve Kökenlerinin İzotop Jeokimyası ile Saptanması* [Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi]. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta.
- Aysal, N. (1994). *Banaz-Hatıpler-Bahadır Köyleri (Uşak) civarının jeolojisi* [Yayımlanmamış Lisans Tezi]. İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi.
- Baş, H. (1983). *Domaniç-Tavşanlı-Gediz-Kütahya yörelerinin tersiyer jeolojisi ve volkanitlerinin petrolojisi* (Rapor no: 7293). Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü.
- Biltekin, D. (2017). Palaeo vegetational and palaeo climatic 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 kayac birimlerinin petrolojisi. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 20(2) 13–66. https://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/e2265684fe2d0d6_ek.pdf
- Brinkmann, R.(1966). Geotektonische Gliederung von Westanatolien. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie*, 10, 603–618.
- Çelik, Y. (2000). Domaniç (Kütahya) Neojen Havzasının stratigrafisi ve depoloma ortamları, Batı Anadolu. 53. *Türkiye Jeoloji Kurultayı*,

- (s.177-178), Ankara. http://tjk.jmo.org.tr/bildiri_ozleri.php?kod=13&bildiriKod=468
- Çevik Üner, B. & Yılmaz Şahin, S. Akkemik, Ü. (2022). Mineralogical and paleobotanical investigations of Oligo-Miocene petrified wood from the southwest of Thrace Basin (NW Turkey). *Turkish Journal of Earth Sciences*, 31, 49-70.
- Denk, T., Güner, T.H., Kvaček, Z. & Bouchal, M. J. (2017). The early Miocene flora of Güvem (Central Anatolia, Turkey): a window into early Neogene vegetation and environments in the Eastern Mediterranean. *Acta Palaeobotanica*, 57, 237-338.
- Denk, T., Güner, H. T., Bouchal, M. J. (2019). Early Miocene climate and biomes of Turkey: Evidence from leaf fossils, dispersed pollen, and petrified wood. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 530, 236-248.
- Dietrich, D., Lampke, T. & Rößler, R. (2013). A microstructure study on silicified wood from the Permian Petrified Forest of Chemitz. *Paläontologische Zeitschrift*, 87, 814-834.
- Dönmez, M., Akçay, A. E. ve Türkecan, A. (2014). *İzmir – K 18 Paftası, 1:100 000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları*. Maden Tetkik ve Arama Müdürlüğü Jeoloji Etütleri Dairesi, No:213.
- Ercan, T., Dinçel, A., Metin, S., Türkecan, A. ve Günay, E. (1978). Uşak yöresindeki neojen havzaların jeolojisi. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 21(2), 97-106. https://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/bc7d9c600d61c08_ek.pdf
- Ersay, 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. *Turkish Journal of Earth Science*, 16, 117-139.
- Ersay, E. Y., Dindi, F., Karaoğlu, Ö. ve Helvacı, C. (2012). Soma Havzası ve Çevresindeki Miyosen Volkanizmasının Petrografik ve Jeokimyasal Özellikleri, Batı Anadolu, Türkiye. *Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Bülteni*, 33(1), 59-80.
- Günay, E., Akdeniz, N., Saroglu, F. ve Çağlayan, A. (1986). *Murat Dağı-Gediz Dolaylarının Jeolojisi*. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Jeoloji Etütleri 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. *Palaeontographica Abteilung B*, 296(1-6), 113-171.
- 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.
- 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* 53(4-5), 141-157. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2009.01.001>
- 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*, 106(5), 1797-1814.
- Karaoğlu, O. & Helvacı, C. (2012). Structural evolution of the Uşak-Güre supra-detachment basin during Miocene extensional denudation in western Turkey. *Journal of the Geological Society*, 169, 627-642.
- Karaoğlu, O. & Helvacı, C. (2014). Isotopic evidence for a transition from subduction to slab-tear related volcanism in western Anatolia, Turkey. *Lithos*, 192-195, 226-239. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2014.02.006>
- Karlıoğlu, N., Akkemik, Ü. & Caner, H. (2009). Detection of some woody plants in Late Oligocene forests of Istanbul. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 33, 577-584.
- Kaya, O. (1978). *Ege kıyı kuşağı (Dikili-Zeytinadağı-Menemen-Yenifoça) Neojen stratigrafisi*. Ege Üniversitesi Fen Fakültesi Monografiler Serisi No:17.
- Kayacık, H., Aytuğ, B., Yaltırık, F., Şanlı, İ., Efe, A., Akkemik, Ü. & Inan, M. (1995). *Sequoiadendron*

- giganteum* (Lindl) Buchh. trees living near Istanbul in Late Tertiary. *Review of Faculty of Forestry, University of Istanbul*, 45, 15-22.
- Kayseri, M. S. & Akgün, F. (2008). Palynostratigraphic, palaeovegetational and palaeoclimatic investigations on the Miocene deposits in Central Anatolia (Çorum Region and Sivas Basin). *Turkish Journal of Earth Sciences*, 17, 361–403.
- Konak, N. (2002). *1/500.000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları, İzmir Paftası*, (Şenel, M., (Ed.)). Maden Tetkik ve Arama Müdürlüğü Jeoloji Etütleri Dairesi, No:7.
- Küçükayman A., Genç, Ş., Gök, L., Kar, H. ve Ateş, M. (1987). *Bozüyük-Tavşanlı-Kütahya arasının jeolojisi*. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Derleme No: 8356 (yayımlanmamış).
- Lukens, W. E., Eze, P. 6 Schubert, B. A. (2019). The effect of diagenesis on carbon isotope values of fossil wood. *The Geological Society of America*, 47(10), 987–991.
- Matysová, P. (2016). *Study of fossil wood by modern analytical methods: case studies* [Phd Thesis] Charles University in Prague, Faculty of Science Institute of Geology and Palaeontology, Prague.
- Mustoe, G. (2017). Wood Petrification: A New View of Permineralization and Replacement. *Geosciences*, 7(4), 119.
- Mustoe, G. & Viney, M. (2017). Mineralogy of Paleocene Petrified Wood from Cherokee Ranch Fossil Forest, Central Colorado, USA. *Geosciences*, 7(2), 1-22.
- Mustoe, G., Viney, M. & Mills J. (2019). Mineralogy of Eocene Fossil Wood from the “Blue Forest” Locality, Southwestern Wyoming, United States. *Geosciences*, 9(1), 35.
- Özgüven-Ertan, K. (1971). Sur un bois fossile de Taxodiaceadans la flore Neogene d'Istanbul (Turquie d'Europe): *Sequoioxylon egemeni* n.sp. *Revue Faculté des Sciences de l'Université d'Istanbul*, 36(B), 89–114.
- Öztürk, A. ve Karadağ, M. M. (2009). Yukarıkaracahisar (Banaz-Uşak) Bölgesinin Stratigrafisi ve Petrografik Özellikleri. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 24(4), 1-22.
- Pe-Piper, G., Imperial, A., Piper, D. J. W., Zouros, N. C. & Anastasakis, G. (2019). Mineral data (SEM, electron microprobe, Ramanspectroscopy) from epithermal hydrothermal alteration of the Miocene Sigri Petrified Forestland host pyroclastic rocks, Western Lesbos, Greece. *Data in Brief* 24, Article 103987. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2019.103987>
- Sakıncı, M., Aras, A., Yalıtırak, C., Batı, Z. ve Çağatay, N. (2007). *Trakya Karasal Tersiyerinde Silisleşmiş Ağaçlar, Paleoflora, Paleoklimatoloji, Paleocoğrafya* (Proje no: 103Y137). TÜBİTAK.
- Sarıfakioğlu, E. (2011). *Kütahya – İ 23 Paftası, 1:100 000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları*. Maden Tetkik ve Arama Müdürlüğü Jeoloji Etütleri Dairesi, No:157.
- Seyitoğlu, G. (1997). Late Cenozoic tectono-sedimentary development of the Selendi and Uşak–Güre basins: a contribution to the discussion on the development of east–west and north trending basins in western Turkey. *Geological Magazine*, 134, 163–175.
- Üner, B. (2022). *Trakya ve Batı Anadolu Bölgeleri Silisleşmiş Ağaçlarının Jeolojik, Jeokimyasal ve Gemolojik Özelliklerinin Karşılaştırılması* [Yayımlanmamış Doktora Tezi]. İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Lisansüstü Eğitim Enstitüsü.
- Velitzelos, E. & Zouros, N. (1997). The Petrified Forest of Lesbos – Protected Natural Monument. *Proc. Internat. Sympos. On Engineering Geology and the Environment, Athens*, 3037–3043.
- Velitzelos, D., Bouchal, J. M. & Denk, T. (2014). Review of the Cenozoic floras and vegetation of Greece. *Review Palaeobotany and Palynology* 204(2), 56–117.
- Viney, M., Hickey, R. D. & Mustoe, G. E. (2019). A Silicified Carboniferous Lycopside Forest in the Colorado Rocky Mountains, USA. *Geosciences*, 9(510), 1-18. <https://doi.org/10.3390/geosciences9120510>

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 Geological Society of Greece*, 40(1), 238-250.

Zouros, N., Velitzelos, E., Valiakos, I. & Labaki, O. (2007). The Plaka Petrified Forest Park in Western Lesvos - Greece. Proceedings of the 11th International Congress, *Bulletin of the Geological Society of Greece*, 40, 1880–1891.