

Taşlaşmış/Silisleşmiş Ağaç Oluşumu: Türkiye'den ve Dünya'dan Örnekler

Sabah Yılmaz Şahin

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Mühendislik
Fakültesi, Jeoloji Müh. Bölümü, 34500
Büyüçekmece-İstanbul
sabahys@iuc.du.tr

Burcu Çevik Üner

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Mühendislik
Fakültesi, Jeoloji Müzesi, 34500
Büyüçekmece-İstanbul
bcevik@iuc.edu.tr

Ünal Akkemik

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Orman
Fakültesi, Orman Müh. Bölümü, 34473
Bahçeköy-İstanbul
uakkemk@iuc.edu.tr



Jeolojide, “Günümüz bilimsel gözlemlerimizde işleyen aynı doğal yasaların ve süreçlerin, geçmişte evrende her zaman işlediği ve her yerde uygulandığı”^{*} varsayımından yola çıkarak; farklı jeolojik dönemlerde, volkanizma ve gömülme gibi süreçlerin etkisinde nadiren ve sınırlı alanlarda oluşan taşlaşmış ağaçlar, buldukları bölgenin paleocoğrafik, paleobotanik ve paleoklimatolojik özelliklerini yansıtır. Çok özel bir fosil grubunu temsil eden taşlaşmış ağaçlar, milyonlarca yıllık yaşları, çok farklı doğal renkleri ve ağaç dokusunu içermeleri ile insanlık tarihi boyunca merak uyandırmışlardır.

^{*}<https://tr.wikipedia.org/wiki/%C3%9Cniformitaryanizm>

Taşlaşmış ağaçlar, volkanlardan ve çevre ortamlardan gelen çeşitli boylarda kırıntılı malzeme, çamur ve kül katmanlarının altına gömülerek oluşurlar. Sürecin başlaması için, fosilleşmenin en önemli şartlarından olan oksijensiz/anaerobik bir ortamın oluşması ve gömülen ağaçlara havanın temas etmemesi gereklidir. Böylece, oksijen olmadan ağaçta çürüme süreci başlamaz ve ağacın dokularında yer alan organik maddelerin (hemiselüloz, selüloz, lignin) çok yavaş bir şekilde tümü veya bir kısmı çözülerek bozulmaya başlar. Bozuldukça boşluklar oluşur ve binlerce yıl boyunca bu boşluklar yavaş yavaş ortamdaki başta silis olmak üzere, su içerisinde yer alan diğer inorganik maddeler (karbonat, fosfat, demir, bakır vb.) ile dolarak taşlaşırlar. Birkaç farklı mekanizma ile gerçekleşen taşlaşma (petrifikasyon), en sık görülen silisleşme süreci olup, karbonatlaşma, karbonlaşma (kömürleşme), fosfatlaşma, floritleşme, manganlaşma ve piritleşme gibi süreçlerle de gerçekleşebilir [1, 2, 3]. Bu şekilde oluşan fosil ağaçlarda, odun yapısına ait hücre dokular kısmen veya tamamen korunarak tür tayinleri yapılabilir. Taşlaşmış ağaçlar, olduğu dönemdeki ağaç ve bitki türlerini, iklim ve coğrafik yapıyı ortaya koyması ve günümüzle karşılaştırma olanağı yaratması bakımından önemli tarihsel kayıtlar olarak değerlendirilebilirler. Bilimsel değerlerinin yanı sıra, milyonlarca yıllık yaşları, ağaç dokusunu bazı örneklerde neredeyse tamamen, bazılarında ise kısmen korumuş olmaları, oldukça sert ve farklı renkler sunan albenisi ile insanların ilgisini uyandırmaktadırlar.

Ağaçlarda önemli bir bölümü oluşturan odun dokusu, oldukça dayanıklı bir yapıya sahip olan bir komplekstir[4] ve uğradığı değişim, organik yapıları (büyük oranda selüloz, hemiselüloz ve lignin) fosile dönüştüren karmaşık bir süreçtir [5, 6, 7]. Bu süreç, iki veya daha fazla benzer ya da farklı sürecin kombinasyonu olarak oluşabilir [8, 9].

Türkiye’de fosil ağaçlar, öncelikle Ankara ve Bolu civarında Miyosen yaşlı sedimanter kayalar içerisinde tespit edilmiştir. Günümüzde ise, Türkiye’nin Trakya Bölgesi’nde (Çanakkale, Edirne, Tekirdağ, İstanbul), Batı Anadolu’da (Balıkesir, Manisa, Kütahya, Uşak), İç Anadolu’da (Yozgat, Amasya, Tokat), Karadeniz’de (Gümüşhane) ve

Doğu Anadolu Bölgesi’nde (Erzincan, Erzurum) Jura’dan Miyosen-Pliyosen’e kadar çeşitli yaşlara ait sedimanter kayalar içerisinde fosilleşmiş ağaçlara rastlanmaktadır [10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17]. Dünyada pek çok yerde fosil ağaçlar bulunmaktadır, ancak bu ağaçların sedimanlar içerisinde belli seviyelerde olduğu ve çok sınırlı alanlarda bulunduğu göz önünde bulundurulmalıdır. Yunanistan (Midilli), Amerika, Endonezya, Mısır, Almanya, Çekya, Japonya ve İran’da Permiyen’den - Pliyosen’e kadar farklı yaşlarda fosil ormanlara rastlanmaktadır. Amerika Arizona’da bulunan fosil ağaç ormanları en renkli ve en ünlü olanıdır [1, 2, 3, 18, 19].

Taşlaşma/Fosilleşme Süreci

Taşlaşmış/Fosilleşmiş ağaçlar farklı isimlerle anılmaktadır. Bunlardan en yaygın olarak kullanılanı “silisleşmiş ağaç” başta olmak üzere, petrifikasyon sürecini de tanımlayan “petrifiye ağaç” ve/veya “taşlaşmış ağaç” ile “fosil ağaç” tanımlamalarına da sıklıkla rastlanmaktadır (Şekil 1).

Ağaçlarda taşlaşma mekanizması, esas olarak çökelme ortamı ve odunun durumu tarafından kontrol edilen multiparametrik bir süreçtir [20]. Çevresel parametreler, ortamın Eh ve pH değerleri, gömülme sıcaklığı ve süresi ile içinde yer aldığı sedimanın kimyasal ve hidrolik özelliklerini (porozite, permabilite vb gibi) içerir [20]. Ağaç ile ilgili değişkenler ise, odunun geçirgenliği, yoğunluğu, nem içeriği ile anatomik farklılıklarıdır [20]. Taşlaşma sürecinde rol oynayan temel faktörleri şu şekilde sıralanır [1];

- | | |
|--|------------------------|
| ➔ Sedimentlerin fiziksel karakterleri | ➔ Çevre koşulları |
| ➔ Su, SiO ₂ ve diğer minerallerin varlığı | ➔ Sıcaklık |
| ➔ Basıncı | ➔ 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 perminalizasyon yolu ile bir mineral hücre çeperi katmanlarına yerleşirken, diğer bir mineral ise lümeni (hücre içi boşluk) doldurabilir. Örneğin hücre çeperleri ilk önce kuvars ile doldurulurken, ikinci aşamada, lümen başka bir mineral olan kalsit ile

dolabilir ([8, 21], Şekil 3). Sonuç olarak, fosilleşmiş ağaçlar çok çeşitli taşlaşma modellerinde oluşabilir (Şekil 2) ve değişik mineralojik bileşimler içerebilir [20].

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 ([4, 22, 23, 24], Şekil 2).



Şekil 1. a) Beylikdüzü-İstanbul'daki tuf ara katlı birim içerisinde silisleşmiş ağaç mostrası [25]; b) Tavşanlı-Kütahya bölgesindeki silisleşmiş ağaç parçası [26].

1. Kömürleşme; Ağacın kömürleşmesi, odunu kısımların turbaya (turbalaşma) ve ardından aerobik ve anaerobik reaksiyonlar ile linyite dönüştürüldüğü biyokimyasal süreçle başlar. Yüksek sıcaklık ve basınç koşullarında linyitin antrasite dönüşmesiyle, jeokimyasal süreçlerle kömürleşme gerçekleşir [1, 7]. Mineralizasyon ve kömürleşme, fosilleşmenin herhangi bir aşama-

sında birlikte gerçekleşmekte ve böylelikle aynı fosil oluşumunda dokusu korunmuş mineralize odun kısımları ile kömürleşmiş kısımlar birlikte bulunabilmektedir ([8, 27], Şekil 2). Bu ortak süreçte, odun dokusunun mineralizasyonunun kömürleşmeden önce gerçekleştiği, aksi takdirde taşlaşmak için yeterli odun dokusunun kalmayacağı kabul edilmektedir [8].

2. Mumyalaşma; Hüresel boyuttaki selüloz, hemiselüloz ve karbonhidratların tahrip edilip yerlerine lignin polimerlerinin geçtiği ve yumuşak dokunun korunduğu bu süreç [24] oldukça karmaşık bir yapıda olup, diğer süreçler gibi detaylı olarak henüz çalışılmamıştır ([25], Şekil 2).

3. Taşlaşma (Petrifikasyon); Fosil ağaçların en sık rastlanan oluşum mekanizması olan ve Yunanca 'petro (taş)' kelimesinden gelen taşlaşma (petrifikasyon), bir organizmanın organik kısmının mineralize olduğu ve orijinal yapısının üç boyutlu olarak korunduğu bir süreçtir ([25], Şekil 2). Petrifikasyon temel olarak iki şekilde gerçekleşir. Bunlar;

1) İnorganik maddeler (silis, karbonat, fosfat, vb) ile organik malzemenin yer değiştirmesi (replacement);

2) İnorganik malzemelerin dokular içine gömülerek yeniden kristallenmesidir (permineralization) [2, 3, 8, 20, 28, 29].

Taşlaşma (petrification) süreçleri içinde en yaygın olanı silisleşme sürecidir. Yüzey koşullarına yakın basınç ve sıcaklıklarda, düşük pH değerlerinde silis çökeler, yüksek pH değerlerinde ise kalsit çökeler. Ortamda her iki element de mevcut olduğunda, kararlılık aralıklarına bağlı olarak fosilleşmiş ağaçlarda kuvars polimorfı ile kalsit olacak şekilde, her iki mineralin de içerilmesi mümkün olmaktadır. Kalsit dışında, pirit ve pirotit gibi sülfidlerin çökmesi için kükürt (S), vivianit çökeli için de fosfor gerekmektedir [30]. Dolayısıyla taşlaşmış ağaçlarda ortamda bulunan elementlerin türüne göre silisleşme ve karbonatlaşmanın yanı sıra fosfatlaşma, floritleşme, piritleşme ve manganlaşma türü oluşumları da görmek mümkündür (Şekil 2).



Şekil 2. Fossilize olmuş/taşlaşmış ağaçların farklı fossilleşme süreçleri.

Bunlar içerisinde en yaygın gerçekleşen silisleşmiş ağaçların oluşabilmesi için;

Bölgede aktif bir volkanizma,

Hidrotermal çözelti,

Hızlı gömülme (oksijensiz ortam),

Uygun sedimanlar,

Fossilleşmeye uygun ağaç gerekmektedir.

Silisleşmiş ağacın petrifikasyonunda rol oynayan elementler, çoğunlukla odun dokularına uyumlu bir şekilde mineral oluşumları meydana getirirler [31]. Bu olay sonucu oluşan, opal, opal-CT, kalsedon ve kuvars gibi silis polimorflerinin ayrıntılı mineralojik-petrografik ve jeokimyasal incelemeleri ile, volkanik aktivitenin etkileri ve silisleşme mekanizmasının işleyişi hakkında yorumlar yapılabilmektedir [1, 20]

Silisleşme, doğal koşullar altında çok kompleks bir süreçtir ve henüz çok iyi anlaşılamayan pek çok fiziksel, termodinamik ve biyolojik faktörlerden etkilenir. Silisleşmeyi etkileyen iki anahtar faktör;

a) Silisleşme için gerekli silika kaynağı (SiO_2 veya silisik asit, H_4SiO_4) [32],

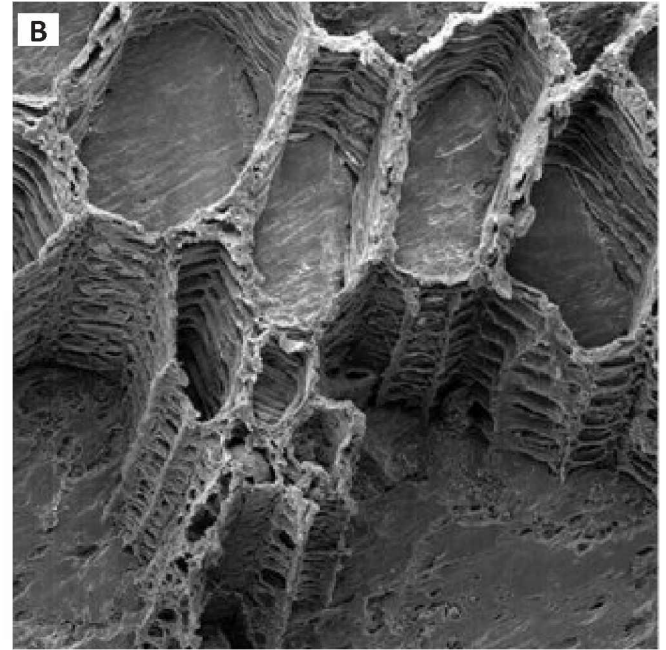
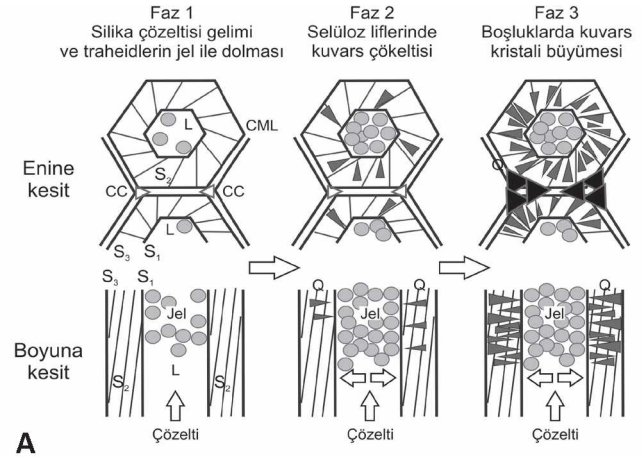
b) Sedimanter / tortul ortamın karakteridir.

Silis, su ile reaksiyona girerek çözeltideki silisik asidi oluşturur;



Silisik asit çözeltide doygun hale geldiğinde ise jelatinimsi görünüşlü amorf silis lümene ve karbonu çözererek hücre çeperlerine çökmeye başlar (Şekil 3).

Silisleşme sürecinde; silika solüsyonu veya kolloid, ağaçtaki hücre çeperlerinin gözeneklerine nüfuz eder; hücre çeperlerinin aşamalı olarak çözünmesi, ağaç yapısının şablonunu oluşturarak mineral bir çerçeve oluşturur. Öncelikle boşluklarda çökelen silika, daha sonra hücreler arası boşluklarda ve son olarak hücre lümeninde birikir. Sonrasında ise su kaybedildikçe taşlaşma meydana gelir (Şekil 3).



Şekil 3. a) Silisifikasyon aşamalarının şematik gösterimi (CC: hücre köşeleri, CML: orta lamel birleşimleri, L: lümen, Q: sütunsal kuvars kristalleri, S1, S2, S3: ikincil duvar katmanları) [31'den değiştirilerek alınmıştır]; b) Silisleşmiş ağaç dokusunun elektron mikroskop görüntüsü [19].

Çökelen amorf silis, zamana bağlı olarak kristallenir (Şekil 5). Silika, bir formdan diğerine şu şekilde dönüşebilir:

Opal-A → Opal-CT → Kalsedon → Kuvars

Silisleşmiş ağaçlarda, silisin yarı kararlı polimorfu olan moganit de yaygın görülebilir.

Silisleşmiş/Taşlaşmış Ağaçların İnceleme Yöntemleri

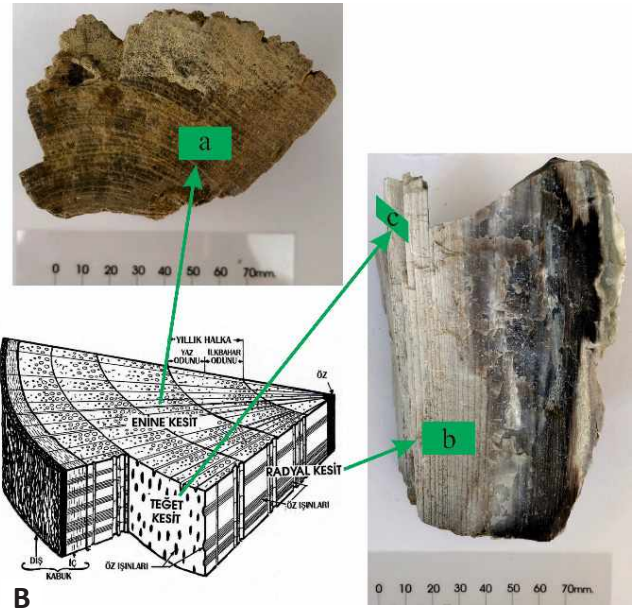
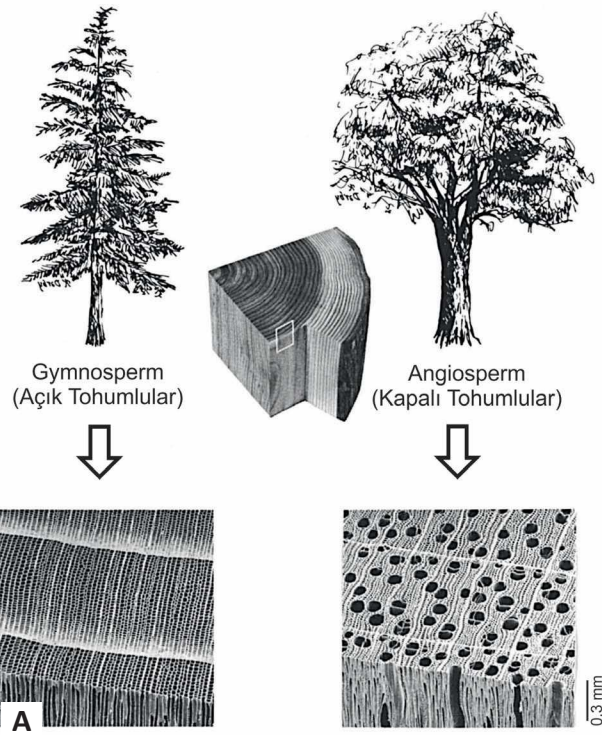
Silisleşmiş ağaçların botanik, mineralojik-petrografik, jeokimyasal, izotop ve jeokronolojik olarak pek çok inceleme yöntemleri vardır. Ancak burada sınırlı birkaç yöntemden bahsedilecektir. Bunlar, paleobotanik, mineralojik-petrografik ve gemolojik incelemelerdir.

1. Botanik İncelemeler

İnsanlık tarihinden çok daha eski bir dönem olan Geç Devoniyen dönemde (370 My) damarlı bitkiler suyu ağacın üst bölgelerine taşıyabilmek için ikincil bir büyümenin ardından ksilem üretmeye başlamışlardır [33]. Ağaçların odun kısımları oluşturan ksilem dokusu fosilleşmeye uygundur ve fosil odun dünya çapında yalnızca Devoniyen sonrası istiflerde yer almaktadır [7, 34]. Fosil ağaçlar jeolojik zamanlarda yaşamış olsalar da, günümüz ağaçlarına benzer odun anatomisine sahiptirler. Maruz kaldıkları farklı fosilleşme mekanizmaları (silisleşme, kömürleşme vb.) olsa da, sonuç olarak anatomik dokularını tamamen veya kısmen koruyabilirler. İster günümüz ağaçlarından olsun, isterse fosil ağaçlar olsun fark etmeksizin ağaçlar mikroskopik olarak incelendiklerinde farklı anatomik özellikler sunan iki ana gruba ayrılırlar ([35], Şekil 4a).

Gymnospermler (açık tohumlular, iğne yapraklılar (Çam, Ladin, Sekoya gibi),

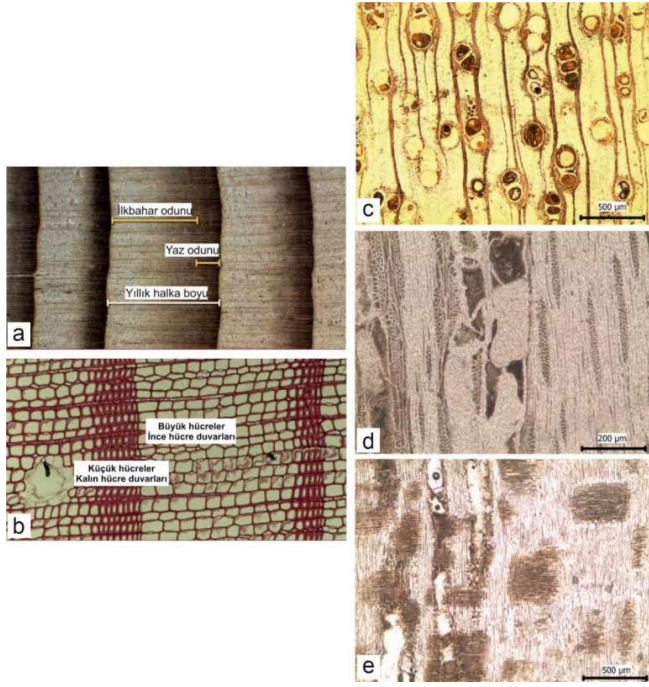
Angiospermler (kapalı tohumlular, geniş yapraklılar (Meşe, Kayın, Kavak gibi)



Şekil 4. a) Anatomik özelliklerine göre, açık ve kapalı tohumlular olarak iki ana gruba ayrılan odun dokularının şematik görünümü [35'den değiştirilerek alınmıştır]; b) Mikroskopik incelemeler için enine, radyal ve teğet kesit alım yönleri [25].

Botanik çalışmalar kapsamında fosil ağaç örneğinden odun anatomisine uygun bir şekilde enine, radyal ve teğet yönlerde ince kesitler alınır (Şekil 4b). Yıllık halkaların durumları ile birlikte trahe, traheid, öz ışın, paranzim, reçine kanalı, yağ hücreleri gibi çeşitli yapıların boyutları, formları ve sıklıkları incelenmektedir. Tüm veriler ışığında örneğin yukarıda bahsi geçen hangi ağaç

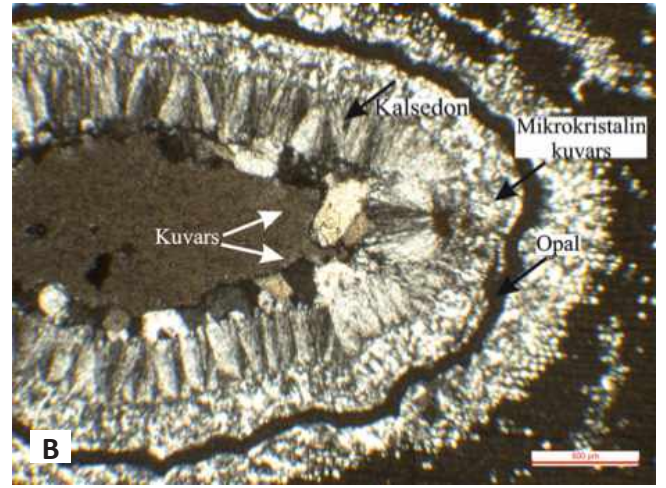
grubuna ait olduğu cins/tür mertebesinde tayin edilir (Şekil 5).



Şekil 5. Güncel iğne yapraklı ağaca ait kesitte ilkbahar - yaz odunu ile yıllık halka boyunun (a) ve hücrelerin yapısal farklılıklarının görünüşleri (b). Silisleşmiş (opalleşmiş) ağaç örneğinin enine (c), teğet (d), radyal kesit (e) görünüşleri (Beylikdüzü-İstanbul, G4 numaralı).

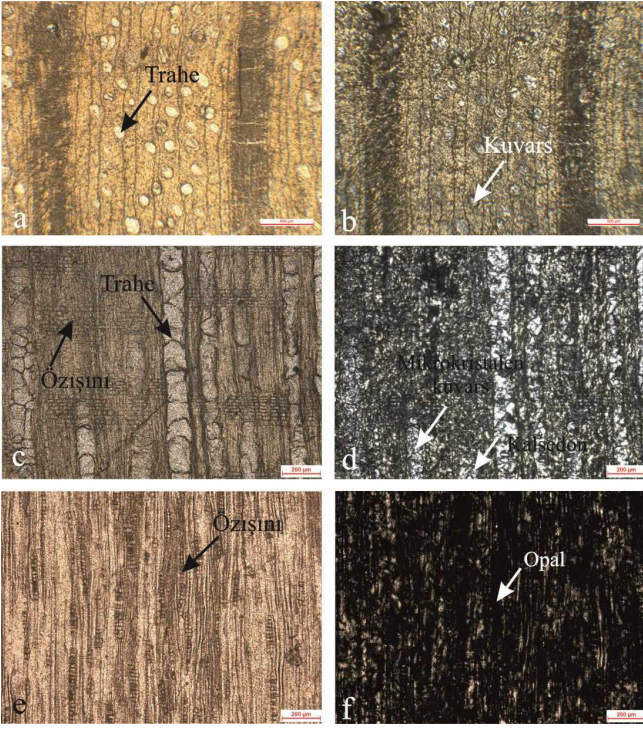
2. Mineralojik-Petrografik İncelemeler

Botanik mikroskopta incelenen kesitler aynı zamanda polarizan mikroskop altında da çalışılarak, taşlaşmış ağaçların mineralojik-petrografik incelemeleri gerçekleştirilir. Çeşitli araştırmalarda ağaç örneklerinin odun dokusuna yerleşen silisin, dört farklı polimorfu olan opal, Opal-CT, kalsedon ve kuvars tespit edilmiştir (Şekil 6a). Metastable (yarı kararlı) formları kuvarstan farklı stokiyometriye sahiptir. Moganit, SiO_2 'nin kendine özgü yarı kararlı bir polimorfudur ve lifli, sferülitik, mikrokristalin özelliklidir (Şekil 6b). Gri kalsedon olarak, ilk olarak Mogan'dan (Güney Gran Canaria, İspanya) ignimbritte tanımlanmıştır. Silisleşmiş ağaçların polarizon mikroskopta incelenmesi sonucu, odun dokusuna ait trahe, traheid, özışını gibi çeşitli hücre yapıları incelenmekte ve bu yapılardan hücre çeperlerinde ve lümenlerinde, ayrıca hücreler arası boşluklar kuvars, kalsedon ve amorf silis (opal) tarafından doldurulmaktadır. ([9], Şekil 6a, 7).



Şekil 6. Silisin polimorflarından; a) Bir boşluk yapısında gelişen opal, kalsedon, kuvars oluşumlarının enine kesitteki görüntüleri (Tavşanlı (Kü9) örneği; Çift nikol; 25), b) Yarı kararlı Moganit polimorfu.

Kristalin kuvarslar inceden iri taneliye kadar geniş bir aralık sunmakta olup, kalsedon oluşumları ve daha az miktarda amorf silis gözlenmektedir. Tek nikol altında tespit edilen odun dokusunun korunduğu örneklerde, silisin polimorflarının yanı sıra bir miktar organik madde varlığı da tanımlanmaktadır (Şekil 7).



Şekil 7. Batı Anadolu silisleşmiş ağaçlarından alınan bir örnekte (Tavşanlı-Kü11) odun dokusu (trahe ve özışını) görünümü ile uyumlu gelişmiş kuvars, mikrokristalen kuvars ve opal oluşumlarının tek nikolde (a,e,c) ve çift nikolde (b,d,f) görünüşleri. (a,b) enine kesit, (b,c) radyal kesit, (d,e) teğet kesit).

Mineralojik-petrografik incelemeler kapsamında, silisleşmiş ağaçlarda ayrıca, X-Işınları Difraktometresi, Konfokal Raman Spektroskopisi ve FT-IR analizleri yapılarak, silisin polimorflarına ait tayinler yapılabilmektedir.

3. Gemolojik İncelemeler

Silisleşmiş ağaçların renkli ve opalleşmiş olanları gemolojik çalışmalar için de kullanılmaktadır (Şekil 8). Sundukları desen çeşitliliği ve renk geçişleri nedeniyle yüksek görsellik değerine sahip ağaçlar, sert malzemeler olmaları nedeniyle de tercih edilmektedirler (Şekil 8). Takı, süs objesi, dekoratif amaçlı ve hatta mobilya yapımında kullanılan fosil ağaçlar, olumlu olarak görülen özelliklerinin yanı sıra kırık ve çatlaklara sahip olmaları, odun anatomisinden ve farklı silis polimorflarından kaynaklanan zayıf zonlarının olması, işlem sonunda elde edilecek desenin tahmin edilememesi, güzel cila almaması gibi çeşitli olumsuzluklar da gösterebilmektedir. Özellikle opalden oluşan

silisleşmiş ağaçların gemolojik işlemler sırasında meydana gelen ısıya karşı oldukça hassas olmaları, istenmeyen sonuçlar oluşturmaktadır.

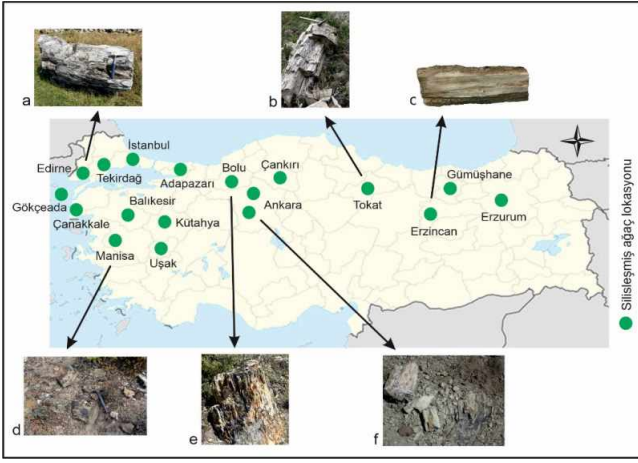


Şekil 8. Silisleşmiş ağaçların takı ve dekoratif amaçlı kullanımına örnekler.

Türkiye’de Taşlaşmış /Silisleşmiş Ağaçlar

Türkiye’de fosil ağaçlar, günümüzde modern hale dönüşmüş herdem yeşil meşe, bataklık serisi, çam, defnegiller, selvi, sekoya, sığla, söğüt, palmiye, gibi türlerin atalarını oluşturmaktadır. Türkiye’deki fosil orman alanları, farklı yaşlara sahiptir. Bunlardan Trakya ve Batı Anadolu’da olan silisleşmiş ağaçlar, geç Oligosen - Orta Miyosen yaş aralığındadır. Güncel çalışmalarda, Beypazarı-Ankara bölgesindeki fosil ağaçların Erken-Orta Miyosen (18-23 My) öncesine kadar bir yaşa sahip olabileceği; Tokat - Zile’de yaklaşık 41 My (geç Eosen) öncesinde yaşamış olan tropik yağmur ormanlarının fosil ağaçları ile Erzurum ve Gümüşhane arasında 160 My (Orta-Geç Jura) öncesine ait arokarya ağacına ait taşlaşmış ağaçlar tespit edilmiştir ([36], Şekil 9).

Türkiye’deki Miyosen volkanizmasıyla ilişkili silisleşmiş ağaç ormanları, Bolu-Seben, Ankara-Çamlıdere ile Trakya bölgesinde Ergene havzasında Edirne-Malkara-Keşan, Çanakale-Gökçeada, Batı Anadolu’da Manisa-Osmancalı, Kütahya-Tavşanlı, Uşak-Banaz yörelerinde saptanmıştır. Son yıllarda yapılan çalışmalar ile oldukça dikkat çekici hale gelen silisleşmiş ağaçların önümüzdeki zamanlarda daha detay çalışacağı ve farklı yaş ve türlerde fosil ormanların ortaya konulacağı öngörülmektedir.

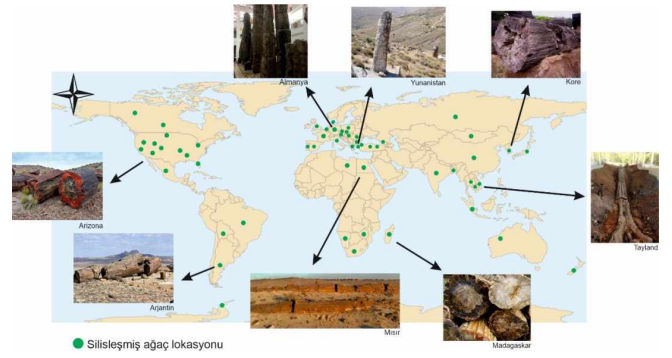


Şekil 9. Türkiye'de bulunan bazı ağaç lokasyonlarının dağılımları (a. [25]; b. [37]; c. [38]; d. [14]; e. [39]; f. [40]).

Dünyadaki Taşlaşmış/Silisleşmiş Ağaçlar

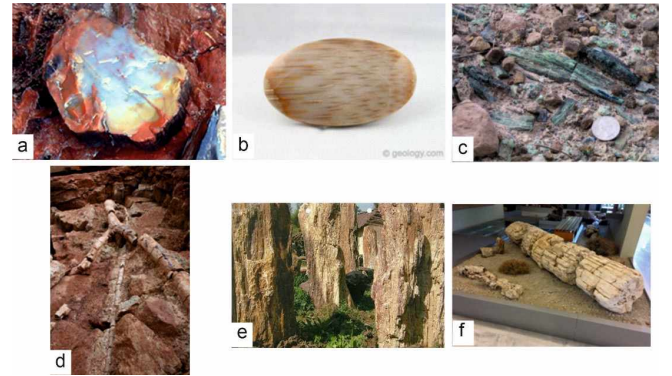
Yapılan Literatür çalışmasına göre, dünyadadaki en yaşlı taşlaşmış ağaçlar Permien (251-299 My) yaşlı olup bunlar, Brezilya, Çin, Amerika Birleşik Devletleri, Almanya ve Çekoslavakya'da tespit edilmiştir (Şekil 10).

Dünya'da en renkli ve en tanınmış olan Arizona-USA'daki silisleşmiş ağaçlar, 225 My (Triyas) yaşlı, genellikle 5-10 m uzunlukta, 1-2 m çapta olup, iz elementlerden Fe, Mn, Cu ve Li elementleri içermesiyle çok renkli taşlaşmış ağaçları oluşturmaktadırlar (Şekil 11a, b). Oklohoma'daki Permien yaşlı silisleşmiş ağaçlarda, mavi renk tonlarında malahit-azurit oluşumları gözlenmiştir (Şekil 11c). Permien yaşlı Matfield Seyli içinde, Malahit ve azurit ile sıvanmış taşlaşmış ağaç Pawnee yakınlarında Wolfcampian'de bulunmuştur ([18], Şekil 11c). Almanya-Chemnitz bölgesindeki Permien yaşlı taşlaşmış ağaçlar, 15 m uzunluğunda ağaç dalına sahip olması ile dünyanın en uzun taşlaşmış ağacını oluşturmaktadır (Şekil 11d). Triyas (201 - 251 My) yaşlı olanlar ise, Amerika Birleşik Devletleri, Brezilya Madagaskar'da bulunmuştur. Kretase dönemine ait verilere (210-145 My) Amerika Birleşik Devletleri'nde, Belçika'da ve Güney Afrika'da rastlanmıştır. Tersiyer zamanının farklı jeolojik dönemlerinde oluşan taşlaşmış orman alanları oldukça yaygın olarak bulunmaktadır.



Şekil 10. Taşlaşmış/silisleşmiş ağaçların Dünyadaki bazı lokasyonlardaki dağılımları [41].

Örneğin; Bulgaristan ve Mısır'da (Şekil 11e) Oligosen döneminde, Peru'da ve Kanada'da Eosen döneminde; Tersiyer-Miyosen döneminde oluşan taşlaşmış orman alanları özellikle Amerika Birleşik Devletleri, Yunanistan ve Türkiye'de yaygın bir şekilde gözlenmektedir. Amerika Birleşik Devletleri'nde Washington eyaletinde, Miyosen volkanizmasıyla ilişkili Ginkgo taşlaşmış orman alanı, Yunanistan'da Midilli adasında Miyosen volkanizmasıyla ilişkili Lesvos taşlaşmış orman alanı yer almaktadır (Şekil 11f).



Şekil 11. a) Arizona Taşlaşmış Ormanından çok renkli, opalleşmiş silisleşmiş ağaç örneği, b) Louisiana palm ağacı, kabaşon kesilmiş örnekte vezüküler yapının görünüşü; c) Oklohoma'daki Permien yaşlı Matfield Seyli içinde, malahit ve azurit ile sıvanmış taşlaşmış ağaç (Wolfcampian; 18); d) Almanya-Chemnitz bölgesindeki Taşlaşmış ağaç ormanındaki dünyadaki en uzun Calamite (Arthropitys bistriata) ağacı (bir dalının uzunluğu 15 m'nin üzerindedir); e) Mısır'ın konuşan ağaçları; f) Midilli Taşlaşmış Ağaç Ormanı.

Taşlaşmış/Silisleşmiş/ Fosilleşmiş Ağaç Alanları Nasıl Korunmalı?

Taşlaşmış/ silisleşmiş ağaçlar "2863 Sayılı Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Kanunu" kapsamında değerlendirildiğinden, bunların korunması ta-

şınır ve taşınmaz kültür ve tabiat varlıkları kapsamına girmektedir. Jeolojik ortam ve paleobotanik yorumlamalara kazandırdıkları katkıları, ender bulunmaları, yerlerine yenisinin konulamaması, özellikleri ve güzellikleri bakımından, ayrıca da gelecek nesillere aktarılmalari açısından korunması gerekli değerlerdir. Ülkemizde, ilk tanımlanan Ankara (Çamlıdere) ve Bolu (Seben) civarındaki silisleşmiş ağaç ormanları başta olmak üzere, yeni tanımlanan pek çok fosilleşmiş ağaç alanları, çok nadiren rastlanan oluşumlar olup, bilimsel anlamı ve görsel özelliklerinden dolayı, korunmaları gereken “jeolojik miras” alanları olarak tanımlanmalıdır. Türkiye, Dünya üzerinde ender görülen «jeositler» bakımından çok zengin bir konuma sahiptir. UNESCO’nun koruma listesinde bulunan Göreme Milli Parkı ve Kapadokya (1985) ve Hierapolis (Pamukkale) (1988) gibi pek çok alanlar, hem kültürel hem de doğal miras olarak korunma altına alınmıştır. Dünya jeolojik mirası olarak listelere girebilecek «Taşlaşmış/Silisleşmiş Ağaç Ormanları» da mutlaka koruna altına alınmalı ve UNESCO Global Jeopark Ağı’na dahil edilmelidir. Türkiye’de, konunun son dönemlerdeki takipçisi olan Türkiye Jeolojik Mirası Koruma Derneği (JEMİRKO), 2005 yılından beri taşlaşmış/silisleşmiş ağaçlar konusunda da girişimlerde bulunmuş olup, bu konuya ayrı bir önem vermektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Matysová, P., 2016, Study of fossil wood by modern analytical methods: case studies. Doktora Tezi, Charles University in Prague, Faculty of Science Institute of Geology and Palaeontology, 61 s.
- [2] Mustoe, G.E., 2017, Wood Petrification: A New View of Permineralization and Replacement. *Geosciences*, 7, 119.
- [3] Viney, M., Hickey, R. D. ve Mustoe, G.E., 2019, A Silicified Carboniferous Lycopoid Forest in the Colorado Rocky Mountains, USA. *Geosciences*, 9, 1-18.
- [4] Poole, I., van Bergen, P.F., Kool, J., Schouten, S. ve Cantrill, D.J., 2004, Molecular isotopic heterogeneity of fossil organic matter: implications for delta (13)C-biomass and delta (13) C-palaeoatmosphere proxies. *Org. Geochem.*, 35, 1261-1274.
- [5] Dernbach, U., Herbst, R., Jung, W., Selmeier, A., Schar Schmidt, F. ve Velitzelos, E., 1996, Versteinerte Wäl-

der, D’Oro, 188 s.

- [6] Jones, T.P. ve Rowe, N.P., 1999, *Fossil Plants and Spores: Modern Techniques*, London, Geological Society of London, 137, 396 p.
- [7] Taylor, T.N., Taylor, E.L. ve Krings, M., 2009, *Paleobotany, The Biology and Evolution of Fossil Plants*. second ed., Elsevier, Oxford, UK, 1252 s.
- [8] Sweeney, I.J., Chin, K., Hower, J.C., Budd, D.A. ve 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. Coal Geol.* 79, 1-17.
- [9] DiMichele, W.A. ve 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.
- [10] Selmeier, A., 2001, Silicified Miocene woods from the North Bohemian Basin (Czech Republic) and from Kuzuluk, district Adapazarı (Turkey). *Mitt. Bayer. Staatslg. Palaont. Hist. Geol.*, 41, 111-144.
- [11] Kutluk, H., Kır, O. ve Akkemik, Ü., 2012, First Report of Araucariaceae wood (Agathoxylon sp.) from the Late Cretaceous of Turkey. *International Association of Wood Anatomists*, 33, 319-326.
- [12] Kaydu Akbudak, İ., Başbüyük, Z. ve Gürbüz, M., 2017, Zile Silisleşmiş Ağaçlarının Mineralojik ve Gemolojik İncelemesi, Tokat-Türkiye. 70. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiri Kitabı, 136-137.
- [13] Polat, S., Güney, Y., Ege, İ. ve Akkemik, Ü., 2019, Banaz’da (Uşak) Yeni Bulunan Petrifiye Alanı ile İlgili İlk Bulgular. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 17, 384-402.
- [14] Yurtseven, N., 2018, Osmanlı (Manisa) Köyünde Taşlaşmış Ormanlar Üzerine Coğrafi İnceleme. TÜCAUM 30. Yıl Uluslararası Coğrafya Sempozyumu Bildiri Kitabı, 875-892.
- [15] Çevik Üner, B., Akkemik, Ü. ve Yılmaz Şahin, S., 2020, Malkara-Keşan (GB Trakya) çevresinde bulunan silisleşmiş ağaçların türlerinin tespiti ve mineralojik-petrografik özellikleri. *Eurasian Journal of Forest Science*, 8, 309-337.
- [16] Çevik Üner, B., Yılmaz Şahin, S. ve Akkemik, Ü., 2022a, 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.
- [17] Akkemik, Ü. ve Çelik, H., 2022, Türkiye’de tespit edilen fosil gymnosperm ağaçlarının mekânsal ve zaman-sal dağılımı. *Turkish Journal of Biodiversity*, 5, 57-66.

- [18] Suneson, N.H., 2010, Petrified Wood In Oklahoma. Oklahoma Geological Survey, Information Series 14.
- [19] Mustoe, G.E., 2015, Late Tertiary Petrified Wood from Nevada, USA: Evidence of Multiple Silicification Pathways. *Geosciences*, 5, 286-309.
- [20] Bardet, M. ve Pournou, A., 2017, NMR Studies of Fossilized Wood, Annual Reports on NMR Spectroscopy. In: Graham, W. (ed.), Chapter 2, Elsevier, United Kingdom, 1-203.
- [21] Nowak, J., Florek, M., Kwiatek, W., Lekki, J., Chevalier, P., Zieba, E., Mestres, N., Dutkiewicz, E.M. ve Kuczumow, A., 2005, Composite structure of wood cells in petrified wood. *Mater. Sci. Eng. C Biomim. Supramol. Syst.*, C25, 119-130.
- [22] Schopf, J. M., 1975, Modes of fossil preservation. *Rev. Palaeobot. Palynol.* 20, 27-53.
- [23] Blackwell, W.H. ve Marak, J.H., 1989, The scientific investigation of fossil wood. *Miss. Geol.* 10, 1-11.
- [24] Spicer, R.A., 1991, Plant taphonomic processes. in: D.E.G.B. Peter, A. Allison (ed.), *Taphonomy: Releasing the Data Locked in the Fossil Record*, Plenum Press, New York, NY, 71-113.
- [25] Üner, B., 2022, Trakya ve Batı Anadolu Bölgeleri Silislemiş Ağaçlarının Jeolojik, Jeokimyasal ve Gemolojik Özelliklerinin Karşılaştırılması. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, 223 s.
- [26] Çevik Üner, B., Yılmaz Şahin, S. ve Akkemik, Ü., 2022b, Batı Anadolu'da Silislemiş Ağaç Türlerinin Bazı Mineralojik ve Gemolojik Özellikleri. *Türkiye Jeoloji Bült.*, 65, 217-232.
- [27] Sen, J., 1963, Fine structure in degraded, ancient and buried wood, and in other fossilized plant derivatives. II, *Bot. Rev.*, 29, 230-242.
- [28] 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.
- [29] Mustoe, G.E. ve Viney, M., 2017, Mineralogy of Paleocene Petrified Wood from Cherokee Ranch Fossil Forest, Central Colorado, USA. *Geosciences*, 7, 1-22.
- [30] Mustoe, G.E., 2018, Non-Mineralized Fossil Wood. *Geosciences*, 8, 223.
- [31] Dietrich, D., Lampke, T. ve Röhl, R., 2013, A microstructure study on silicified wood from the Permian Petrified Forest of Chemitz. *Paläontologische Zeitschrift*, 87, 814-834.
- [32] Ash, R.S. 1998. *Petrified Forest, The story behind the scenery*. Tenth Printing, Petrified Forest Museum Association, Las Vegas.
- [33] Schweingruber, F. H., Börner, A. ve Schulze, E. D., 2006, *Atlas of Woody plant stems. Evolution, Structure, and Environmental Modification*. Springer-Verlag, Berlin.
- [34] Falcon-Lang, H.J., 2005, Intra-tree variability in wood anatomy and its implications for fossil wood systematics and palaeoclimatic studies. *Palaeontology*, 48, 171-183.
- [35] Parham, R.A. ve Gray, R.L., 1984, Formation and Structure of Wood, *The Chemistry of Solid Wood. Advances in Chemistry*, 207, 3-56.
- [36] Akkemik, Ü., Kandemir, R., Philippe, M., Güngör, Y. ve Köroğlu, F., 2022, Palaeobiogeographical implications of the first fossil wood flora from the Jurassic of Turkey. *Acta Palaeontologica Polonica*, 67, 745-766.
- [37] Akkemik, Ü., Mantzouka, D., Tunç, U. ve Koçbulut, E., 2021, The first paleoxylotomical evidence from the Mid-Eocene Climate Optimum from Turkey. *Review of Paleobotany and Palynology*, 285, 104-356.
- [38] Akkemik, Ü., Mantzouka, D. ve Kiran Yıldırım, D., 2020, The first report of *Lesbosoxylon Süss&Velitzelos* from the early-middle Miocene of eastern Anatolia. *Geodiversitas*, 42, 427-441.
- [39] Akkemik, Ü., Arslan, M., Poole, I., Tosun, S., Köse, N., Karlıoğlu Kılıç, N. ve Aydın, A., 2016, Silicified woods from two previously undescribed early Miocene forest sites near Seben, northwest Turkey. *Review of Paleobotany and Palynology*, 235, 31-50.
- [40] Akkemik, Ü., Atıcı, G., Poole, I. ve Çobankaya, M., 2018, Three new silicified woods from a newly discovered earliest Miocene forest site in the Haymana Basin (Ankara, Turkey). *Review of Paleobotany and Palynology*, 254, 49-64.
- [41] <https://www.mindat.org/min-8018.html>